



VERBUNDPROJEKT FLOTTENVERSUCH ELEKTROMOBILITÄT TEILPROJEKT NUTZUNGSPOTENZIAL

SCHLUSSBERICHT JULI 2013



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Institut für Verkehrsforschung

Stefan TROMMER, Angelika SCHULZ,
Michael HARDINGHAUS, Johannes GRUBER
Alexander KIHM, Kathrin DROGOSCH

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Forschungsvorhaben

„Verbundprojekt Flottenversuch Elektromobilität – Teilprojekt Nutzungspotenzial“

Förderkennzeichen 0325071B

Zuwendungsempfänger

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

51170 Köln

Ausführende Stelle

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Institut für Verkehrsforschung

Rutherfordstr. 2

12489 Berlin

Projektleiter

Stefan Trommer

Projektlaufzeit

1.7.2008 – 31.12.2012

Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor(inn)en.

Zitierhinweis

DLR (2013): Verbundprojekt Flottenversuch Elektromobilität – Teilprojekt Nutzungspotenzial. Schlussbericht. Bearbeitung: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)/ Stefan TROMMER, Angelika SCHULZ, Michael HARDINGHAUS, Johannes GRUBER, Alexander KIHM, Kathrin DROGOSCH. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Förderkennzeichen 0325071B.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	iv
1 Aufgabenstellung	1
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	7
4 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde	13
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	16
6 Darstellung der erzielten Ergebnisse	17
6.1 Profil der Teilnehmer(innen).....	17
6.2 Fahren mit dem TwinDRIVE	34
6.2.1 Mobilitätskennziffern	34
6.2.2 Nutzung der Betriebsmodi.....	42
6.2.3 Verändertes Mobilitätsverhalten	44
6.2.4 Aktionsräume	49
6.3 Laden	54
6.3.1 Ladeorte und Ladegelegenheiten	55
6.3.2 Ladezeiten (Tagesgang)	60
6.3.3 Intelligentes Laden	65
6.3.4 Potenziale für weitere elektrische Kilometer bei anderem Ladeverhalten/ Infrastruktur.....	69
6.3.5 Energiemanagement.....	70
6.4 Nutzung von Anzeigen im Fahrzeug.....	72
6.4.1 Verwendung der Kombi- und Multifunktionsanzeigen	72
6.4.2 Verwendung des Fahrer-Information-Systems (FIS)	74
6.4.3 Informationsbedarf beim Laden	77
6.5 Anforderungen an zukünftige Fahrzeuge.....	80
6.5.1 Gesamtzufriedenheit mit dem TwinDRIVE	80
6.5.2 Wichtige Kaufkriterien	84
6.5.3 Kaufbereitschaft eines Elektroautos	86
6.5.4 Aufpreisbereitschaft	87
6.5.5 Bewertung von Markteinführungsmaßnahmen	91
6.5.6 PHEV vs. BEV.....	91
6.5.7 Bedeutung für zukünftige Elektrofahrzeuge.....	92
6.6 Zukünftiges Nachfragepotenzial für Elektromobilität in Deutschland	95
6.6.1 Abstimmung der Energie- und Verkehrsszenarien	96
6.6.2 Berechnung des Nachfragepotenzials für Elektromobilität	108
6.6.3 Ergebnisdarstellung	113
6.6.4 Tabellenanhang (Abschnitt 6.6)	128
6.7 Fazit.....	130
7 Nutzung und Verwertung der Ergebnisse	134
7.1 Verkehrssystemische Elektromobilitätsforschung (Laufzeit 2011 bis 2015).....	134

7.2	SELECT (Laufzeit Juli 2012 bis Juni 2015)	135
7.3	„Ich ersetze ein Auto“ (Laufzeit März 2012 bis Mai 2014)	136
7.4	WiMobil (Laufzeit September 2012 bis August 2015).....	137
8	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	138
9	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	142
10	Literatur	142

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Untersuchungsebenen des Verbundprojektes.....	1
Abb. 2-1:	Einbindung des Teilprojektes in das Verbundprojekt.....	3
Abb. 2-2:	Plausibilitätsüberlegungen zur voraussichtlichen Nutzungsneigung privater Haushalte und Personen nach verschiedenen Merkmalen	5
Abb. 3-1:	Ablauf der Feldphase: Nutzer, Nutzungszeiträume und Erhebungsbestandteile	7
Abb. 3-2:	Einsatz verschiedener Erhebungsinstrumente	11
Abb. 3-3:	Haushaltsfragebogen (Ausschnitt).....	11
Abb. 6-1:	Übersicht Profilgruppen „PRIVAT“, „MIX“, „GEWERBE“	18
Abb. 6-2:	Haushaltstypen	18
Abb. 6-3:	Alter der Fahrer(innen).....	19
Abb. 6-4:	Höchster allgemeinbildender Schulabschluss der privaten Fahrer(innen)	20
Abb. 6-5:	Arbeitszeitorganisation der Fahrer(innen)	20
Abb. 6-6:	Durchschnittliches monatliches Haushaltsnettoeinkommen.....	21
Abb. 6-7:	Durchschnittliches monatliches Haushaltsnettoeinkommen nach Haushaltsgröße	21
Abb. 6-8:	Verfügbare Haushaltsfahrzeuge nach Fahrzeugsegment	22
Abb. 6-9:	Übliche Nutzung verschiedener Verkehrsmittel durch private Fahrer(innen)	24
Abb. 6-10:	Übliche Nutzung verschiedener Verkehrsmittel durch betriebliche Fahrer(innen) (nur dienstliche/ geschäftliche Zwecke)	25
Abb. 6-11:	Dominierende Tourenmuster der Betriebe	25
Abb. 6-12:	Aussagen zum motorisierten Verkehr.....	26
Abb. 6-13:	Umweltbewusstsein der Haushalte (Selbsteinschätzung).....	27
Abb. 6-14:	Klimaschutzmaßnahmen in privaten Haushalten	27
Abb. 6-15:	Umweltbewusstsein der Betriebe (Fahrereinschätzung)	28
Abb. 6-16:	Vorkenntnisse zu und praktische Erfahrungen mit verschiedenen Fahrzeugtypen*	29
Abb. 6-17:	Aussagen zu Elektromobilität – Sicherheit	30
Abb. 6-18:	Aussagen zu Elektromobilität – Umstellung auf Plug-In-Hybridauto	30
Abb. 6-19:	Aussagen zu Elektromobilität – Reichweite und Aufladung.....	31
Abb. 6-20:	TwinDRIVE-Fahrten: Fahrtenlänge nach Segment	36
Abb. 6-21:	TwinDRIVE-Fahrten: Mittlere Fahrtenlänge nach Versuchsfahrzeug.....	37
Abb. 6-22:	TwinDRIVE-Fahrten: Tagesgang nach Nutzungssegment.....	38
Abb. 6-23:	TwinDRIVE-Fahrten: Mittlere Tagesstrecke und Fahrtenzahl nach Nutzungssegment und Wochentagen	38
Abb. 6-24:	TwinDRIVE-Fahrten: Anteil der Tagesfahrleistung an Fahrtagen nach Nutzungssegment	39
Abb. 6-25:	Modal Split nach Wegezweck im Flottenversuch (EMOBIL) und der Gesamtbevölkerung (MiD 2008)	40

Abb. 6-26: Modal Split nach Wegelänge im Flottenversuch (EMOBIL) und der Gesamtbevölkerung (MiD 2008)	41
Abb. 6-27: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahrleistungsanteile an der Gesamtfahrleistung nach Nutzungssegment	42
Abb. 6-28: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahrleistungsanteile an der Gesamtfahrleistung nach Straßentyp* und Wochentag	43
Abb. 6-29: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahranteile an der Tagesfahrleistung je Nutzer(in)	44
Abb. 6-30: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der mittleren Fahrtenlänge nach Nutzer(in)	47
Abb. 6-31: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der mittleren Tagesfahrleistung nach Nutzer(in)	47
Abb. 6-32: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit nach Nutzer(in)	48
Abb. 6-33: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Tagesfahrleistungen und Fahrten pro Fahrtag nach Nutzungssegment	49
Abb. 6-34: TwinDRIVE-Fahrten: Gesamtfahrleistungsanteile der einzelnen Straßentypen nach Versuchsfahrzeug	50
Abb. 6-35: Aufenthaltsorte der TwinDRIVE-Nutzer(innen) in den Regionen Braunschweig-Wolfsburg und Berlin-Brandenburg (Potsdam)	51
Abb. 6-36: Elektrisch realisierte Wegeanteile auf Relationen in den Regionen Braunschweig-Wolfsburg und Berlin-Brandenburg (Potsdam)	52
Abb. 6-37: Intelligente Ladesäule	54
Abb. 6-38: Bevorzugter Ladeort nach Nutzungssegment	56
Abb. 6-39: Bevorzugte Gelegenheit zum Aufladen der Batterie (nur PRIVAT)	56
Abb. 6-40: Entwicklung der bevorzugten Ladeorte im Versuchsverlauf	57
Abb. 6-41: Ladevorgänge nach Ortstypen und Segmenten	60
Abb. 6-42: Subjektiv bevorzugte und tatsächlich realisierte Ladezeitfenster nach Nutzungssegment	61
Abb. 6-43: Tagesganglinie des Ladens (Initialisierung)	62
Abb. 6-44: Tagesgang laufender Ladevorgänge nach Zeitpunkt von Ladestart und Ladende	62
Abb. 6-45: Tagesgang des Energieflusses aufgrund laufender Ladevorgänge	63
Abb. 6-46: Praktikabilität der nächtlichen Ladung	64
Abb. 6-47: Zufriedenheit mit Lademöglichkeiten an verschiedenen Orten	65
Abb. 6-48: Intelligentes vs. konventionelles Laden am Beispiel eines Tagladers	66
Abb. 6-49: Intelligentes vs. konventionelles Laden am Beispiel eines gewerblichen Nutzers	67
Abb. 6-50: Tagesgang des intelligenten Ladens bei hoher Verfügbarkeit des Fahrzeugs am Netz	67
Abb. 6-51: Tagesgang des Ladens eines Privatinutzers mit Nachstromtarif	68
Abb. 6-52: Potenziale für elektrische Kilometer	69
Abb. 6-53: Bedeutung regenerativer Energiequellen	70
Abb. 6-54: TwinDRIVE: Kombi- und Multifunktionsanzeige (MFA)	72
Abb. 6-55: Häufigkeit der bewussten Nutzung der Kombi- und Multifunktionsanzeigen	73
Abb. 6-56: Subjektiv empfundene Nützlichkeit der Kombi- und Multifunktionsanzeigen	73
Abb. 6-57: TwinDRIVE: Ausgewählte Anzeigen des Fahrer-Informations-Systems (FIS)	74
Abb. 6-58: Häufigkeit der bewussten Nutzung des Fahrer-Informations-Systems (FIS)	75
Abb. 6-59: Subjektive Nützlichkeit des Fahrer-Informations-Systems (FIS)	76
Abb. 6-60: Wichtigkeit von Informationen beim Laden	78
Abb. 6-61: Zufriedenheit der Teilnehmer mit technischen Aspekten des TwinDRIVE	80
Abb. 6-62: Wichtige Kaufkriterien und deren Veränderung über den Versuchsablauf (nur PRIVAT)	84

Abb. 6-63: Veränderung der Bedeutung der elektrischen Reichweite während des Flottenversuchs	85
Abb. 6-64: Szenariokarten	88
Abb. 6-65: Erwartungen der Nutzer an zukünftige Elektrofahrzeuge	93
Abb. 6-66: Modellkopplung zur Abbildung der energiewirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen der Elektromobilität	95
Abb. 6-67: Überblick über die Verwendung der Parameter in den Modellen	98
Abb. 6-68: Aufbau des Prognosemodells ECCO.....	109
Abb. 6-69: Geschätzte maximale jährliche Produktionsvolumina von Elektrofahrzeugen für den deutschen Markt.....	113
Abb. 6-70: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Nische“	114
Abb. 6-71: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ ...	115
Abb. 6-72: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Forcierte Marktentwicklung“	117
Abb. 6-73: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ ...	118
Abb. 6-74: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand nach Haltergruppen im Szenario „Moderate Marktentwicklung“	119
Abb. 6-75: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand* nach Fahrzeuggrößenklassen im Szenario „Moderate Marktentwicklung“	122
Abb. 6-76: Elektrische Fahrzeugkilometer im Szenariovergleich	123
Abb. 6-77: Anteile von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen im Jahr 2020 auf Kreisebene.....	124

Tabellenverzeichnis

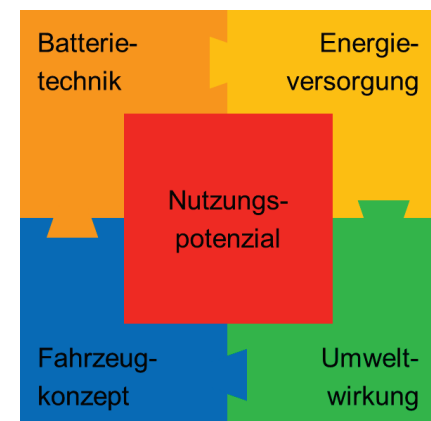
Tab. 2-1: Flottenversuch Elektromobilität – Beteiligte Projektpartner	3
Tab. 2-2: Typisierung potenziell elektromobilitätsaffiner Haushalte	6
Tab. 3-1: Objektive und subjektive Fragebereiche und methodisches Instrumentarium	9
Tab. 6-1: Vorläufige Segmentierung der Stichprobe anhand vorherrschender Wegezwecke	17
Tab. 6-2: Zusammensetzung der Stichprobe	17
Tab. 6-3: Branchenzugehörigkeit der Unternehmen	19
Tab. 6-4: Anzahl der Autos in privaten Haushalten 2008 nach Bundesländern	22
Tab. 6-5: TwinDRIVE-Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegment: Überblick	34
Tab. 6-6: TwinDRIVE-Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegment: Verteilung der Parameter (Bezug: Einzelfahrt).....	35
Tab. 6-7: Zentrale Mobilitätskennziffern des TwinDRIVEs gegenüber dem Vergleichsfahrzeug	46
Tab. 6-8: Zentrale Kennziffern der Ladevorgänge nach Nutzungssegment	55
Tab. 6-9: Elektrische Wunschreichweite für PHEV und BEV	82
Tab. 6-10: Elektrische Wunschreichweite für PHEV	82
Tab. 6-11: Zentrale Kennziffern der Aufpreisbereitschaft nach Nutzersegment	89
Tab. 6-12: Kategorisierung der Parameter des Energie- und Verkehrssektors	97
Tab. 6-13: Szenarienstruktur	100
Tab. 6-14: Entwicklung der deutschen Bevölkerung und der fahrfähigen Bevölkerung (≥17Jahre).....	101
Tab. 6-15: Fahrzeugbestand in Deutschland	102
Tab. 6-16: Fahrzeuggrößenklassen	102
Tab. 6-17: Ausprägungen des Parameters Ladesteuerung	103
Tab. 6-18: Ausprägungen des Parameters Ladeinfrastruktur	104
Tab. 6-19: Ausprägungen des Parameters Ladeleistung	104
Tab. 6-20: Endverbraucherpreise für Batterien in [€ / kWh ₂₀₀₅]	105

Tab. 6-21: Staatliche Förderung für Elektromobilität in [€ / Fahrzeug].....	106
Tab. 6-22: Entwicklung von Kraftstoffkosten für unterschiedliche Antriebstypen [€ ₂₀₀₅ /Liter].....	106
Tab. 6-23: Dienstwagenbesteuerung bei privater Nutzung	107
Tab. 6-24: Wertverlust der elektrischen Antriebskomponenten	107
Tab. 6-25: Entwicklung des elektrischen Verbrauchs für Pkw [kWh/100 km]	108
Tab. 6-26: Entwicklung des elektrischen Verbrauchs für leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) [kWh/100 km] ...	108
Tab. 6-27: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Nische“	114
Tab. 6-28: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Moderate Marktentwicklung“	115
Tab. 6-29: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“	116
Tab. 6-30: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand in allen Szenarien	118
Tab. 6-31: Bestand von Elektrofahrzeuge je Haltergruppe in den Szenarien	121
Tab. 6-32: Verbrauchsentwicklung konventioneller Fahrzeuge [l/100km]	128
Tab. 6-33: Entwicklung des durchschnittlichen Hubraums von konventionellen Fahrzeugen [1 000 ccm].....	128
Tab. 6-34: Elektrische Reichweite von Elektrofahrzeugen [km].....	129
Tab. 6-35: Wartungskostendifferenz von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen [€/km]	129
Tab. 6-36: Entwicklung der CO ₂ -Steuergrenze [g CO ₂ /km].....	129
Tab. 6-37: Differenz des Anschaffungspreises eines Elektrofahrzeuges im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeuge (exklusive der Batterie) [€]	129

1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt „Flottenversuch Elektromobilität“ orientierte sich an der Intention des „Integrierten Energie- und Klimaprogramms“ (BMW, BMU 2007), indem im Sinne einer Systembetrachtung verschiedene Einzelfragestellungen zur Elektromobilität in geeigneter Form miteinander verknüpft wurden. In den am Verbundprojekt beteiligten Teilprojekten wurden demnach verschiedene Fragen untersucht, etwa zur Technologie von Hochspannungsbatterien, zur Einbindung solcher Batterien in alternative Antriebskonzepte wie z. B. dem Versuchsfahrzeug TwinDRIVE, zur Energieversorgung unter expliziter Berücksichtigung regenerativer Energiequellen oder zu Möglichkeiten einer netzstabilisierenden Einbindung der Fahrzeugbatterien in das Stromnetz. Flankiert wurden diese vorrangig technologischen Forschungsfragen zudem durch eine ökologische Begleitforschung, die die Umweltwirkungen von Plug-In-Hybridfahrzeugen von der Fahrzeugherstellung über die Bereitstellung von Kraftstoff und Strom, den Energieverbrauch unter Berücksichtigung verschiedener Fahrzeugnutzungsmuster sowie die damit verbundenen CO₂-Minderungspotenziale für Deutschland untersuchte.

Abb. 1-1: Untersuchungsebenen des Verbundprojektes



Darüber hinaus wurde im Teilprojekt „Nutzungspotenzial“ des DLR besonderes Augenmerk auf individuelle Nutzungsvoraussetzungen sowie den praktischen Einsatz von Plug-In-Hybridfahrzeugen gelegt. Dabei galt es, sowohl das tatsächliche Nutzungsverhalten als auch das theoretisch mögliche Nutzungspotenzial stets im Sinne der übergeordneten Zielsetzung „Nutzung regenerativer Energien“ zu betrachten. Zwar wird das Nutzungsverhalten zunächst ganz entscheidend von den fahrzeugtechnischen und infrastrukturellen Gegebenheiten beeinflusst, andererseits bestimmen Profil und Umfang des Fahrzeugeinsatzes letztlich die Größenordnung der angestrebten Reduzierung der Nutzung nicht-regenerativer Energiequellen und damit der Reduktion von Treibhausgasen. Basierend auf aktuellen und zukünftigen technologischen, infrastrukturellen und sozio-demographischen Rahmenbedingungen wurde das zukünftige Nachfragepotenzial für Elektromobilität in Form von Einsatzszenarien quantifiziert.

Ungeachtet eines objektiv gegebenen Nachfrage- und Nutzungspotenzials hängt dessen Realisierung jedoch entscheidend von der subjektiven Akzeptanz dieser Fahrzeug- und Mobilitätskonzepte durch die Endverbraucher ab, die Elektrofahrzeuge nicht nur nachfragen sondern auch optimal im Sinne eines effizienten Energieeinsatzes nutzen müssen.

Im Zentrum des Teilprojektes „Nutzungspotenzial“ stand somit einerseits die subjektive Sicht *normaler* Nutzer, andererseits deren alltäglicher Umgang mit einem Elektrofahrzeug über einen längeren Zeitraum hinweg: Welche Erwartungen und Einstellungen prägen die individuelle Sicht auf Elektromobilität? Welche Anforderungen werden aus Nutzerperspektive an Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur gestellt? Inwieweit verändern sich Einstellungen, Erwartungen und Anforderungen durch langfristige Nutzungserfahrungen? In welchen alltäglichen privaten oder betrieblichen Kontexten erweist sich das Fahrzeugkonzept des TwinDRIVE (Plug-In-Hybridfahrzeug) als praxistauglich?

Somit wurden im Teilvorhaben „Nutzungspotenzial“ die folgenden wissenschaftlichen Ziele formuliert:

- (1) Ermittlung der aktuellen Rahmenbedingungen für „Elektromobilität mit Plug-In-Hybridfahrzeugen“ anhand ausgewählter Parameter
- (2) Quantifizierung des zukünftigen Nachfragepotenzials für das Verkehrsegment „Elektromobilität mit Plug-In-Hybridfahrzeugen“ für die Bundesrepublik Deutschland: Darstellung der Potenzialbandbreite in Form von Einsatzszenarien

- (3) Einsatzanalyse für Plug-In-Hybridfahrzeuge: Fahrzeug- und Batteriemanagementkonzepte aus Nutzerperspektive, Detailanalyse der individuellen Fahrzeugnutzung, Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der Schnittstelle „Fahrzeug – Energieversorgung“
- (4) Nutzungsanalyse Flottenversuch: Erfassung und Analyse des tatsächlichen Mobilitätsverhaltens der Versuchsteilnehmer während des Flottenversuchs sowie ihrer individuellen Einstellungen und Präferenzen vor und nach dem Flottenversuch
- (5) Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für Begleitmaßnahmen zur Markteinführung von Plug-In-Hybridfahrzeugen

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Am Verbundprojekt waren insgesamt sieben Projektpartner beteiligt (Tab. 2-1).

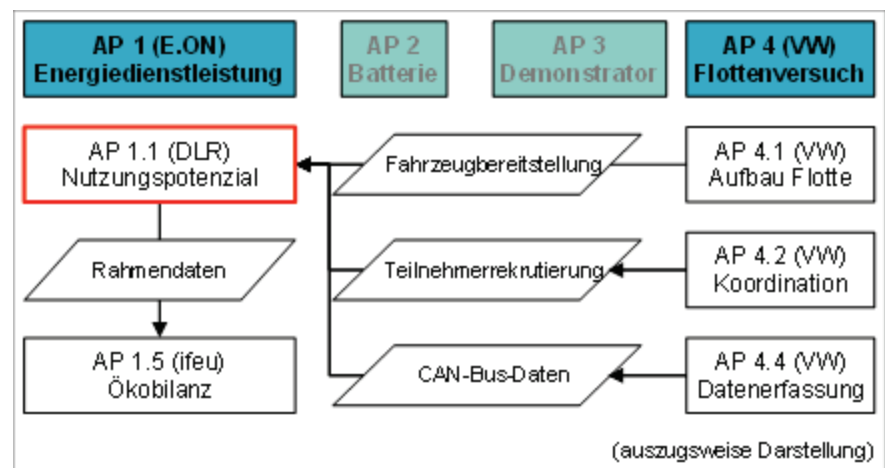
Tab. 2-1: Flottenversuch Elektromobilität – Beteiligte Projektpartner

Projektpartner	Arbeitsschwerpunkte
Volkswagen AG	Gesamtkoordination, Fahrzeugentwicklung, Flottenaufbau/ -betreuung
E.ON Energie	Energieerzeugungsportfolio, Verteilernetztechnik, Fahrzeug am Netz / Intelligentes Laden
DLR – Verkehrsforschung	Nutzerbefragung, Nachfragepotenzial / -szenarien
ifeu	ökologische Begleitforschung
Evonik Litarion GmbH	Batterieentwicklung
Fraunhofer ISIT	Batterieentwicklung
Westfälische Wilhelms-Universität Münster	Batterietest

Projektorganisatorisch war das Teilprojekt „Nutzungspotenzial“ im AP 1 „Energiedienstleistungen“ des Verbundprojektes verankert, welches durch den Projektpartner E.ON koordiniert wurde (Abb. 2-1).

Direkte inhaltliche Verknüpfungen gab es zum AP 1.5 „Ökobilanz“ sowie zum gesamten AP 4 „Flottenversuch“.

Abb. 2-1: Einbindung des Teilprojektes in das Verbundprojekt



Die Analyse des zukünftigen Potenzials von Elektrofahrzeugen für Deutschland war integriert in die Arbeiten von IFEU, Fraunhofer ISI und ISE, der RWTH Aachen und dem Karlsruher Institut für Technologie, welche im AP 1.5 in einer begleitenden Analyse die Energieversorgung der nächsten Jahrzehnte unter Einbezug der Elektromobilität sowie die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen untersuchten und hieraus Empfehlungen für Ladestrategien und Ladetarife ableiteten. Zu diesem Zweck wurden im Projektkontext von den Partnern verschiedene Modelle der Ökobilanzierung, Energiewirtschaft und Fahrzeugnachfrage entwickelt oder optimiert und miteinander gekoppelt.

Voraussetzung für die umfassende Befragung der Nutzer war die Bereitstellung der Fahrzeugflotte (Vergleichsfahrzeuge und TwinDRIVES) sowie die Rekrutierung der teilnehmenden Haushalte, Unternehmen

und öffentlichen Einrichtungen¹ durch den Projektpartner VW, der zudem über die gesamte Versuchslaufzeit bei technischen Fragen oder Problemen die Betreuung der Nutzer gewährleistete (z. B. Organisation regelmäßiger Fahrzeugwartungstermine, bei Bedarf Bereitstellung von Ersatzfahrzeugen) (AP 4.1 und AP 4.2).

Darüber hinaus wurde in allen Fahrzeugen während der gesamten Feldzeit automatisiert eine Vielzahl technischer Parameter über das fahrzeugseitige CAN-Bus-System erhoben und dem DLR nach vorheriger Abstimmung übergeben (AP 4.4). Bestandteil dieser Daten waren beispielsweise typische Merkmale der Fahrten und Ladevorgänge (z. B. Start- und Endzeitpunkt, Start- und Zielort, zurückgelegte Wegstrecke, Durchschnittsgeschwindigkeit, Kraftstoff- und Stromverbrauch, geladene Strommenge), aber auch weitere fahrzeugunabhängige Parameter (z. B. Außentemperatur, Benutzereingaben). Diese Daten dienen zum einen der inhaltlichen Ergänzung der Befragungsdaten, zum anderen erlauben sie eine Spiegelung von subjektiver Wahrnehmung der Fahrer(innen) und ihrem tatsächlichen Verhalten (z. B. antizipierte und tatsächliche Ladezeitpunkte).

Als Untersuchungsräume wurden die beiden Regionen Berlin-Brandenburg und Braunschweig-Wolfsburg ausgewählt. Dies erfolgte vor allem aufgrund von durchführungspraktischen Erwägungen:

- Bei den Flottenfahrzeugen (TwinDRIVE) handelte es sich um eigens für den Versuch aufgebaute, nicht serienreife Fahrzeuge, bei denen prinzipiell mit technischen Störungen oder Ausfällen gerechnet werden musste. Zwei extra geschulte Servicewerkstätten in Wolfsburg und Potsdam standen im Notfall für zeitnahe technische Unterstützung zur Verfügung.
- Da über die gesamte Versuchslaufzeit hinweg verschiedene Veranstaltungen mit allen Teilnehmern geplant waren (z. B. Fahrsicherheitstraining, Fahrzeug- und Versuchseinweisung, Gruppendiskussionen), sollten die Wohn- und Betriebsstandorte der Teilnehmer in relativer räumlicher Nähe zu den Standorten jener Projektpartner angesiedelt sein, die mit der praktischen Durchführung dieser Veranstaltungen betraut waren (VW, DLR). Auf diese Weise konnten Reise- und Zeitaufwand vor allem für die Teilnehmer so gering wie möglich gehalten werden.
- Im Rahmen des Flottenversuchs war vorgesehen, Möglichkeiten des intelligenten Ladens über entsprechende Ladesäulen zu erproben, die vom Projektpartner E.ON entwickelt wurden. Um eine reibungslose Installation und Abrechnung zu gewährleisten, sollten die Wohn- und Betriebsstandorte der Teilnehmer deshalb idealerweise im Versorgungsgebiet von E.ON liegen. Bei den im Berliner Stadtgebiet und damit außerhalb des E.ON-Versorgungsgebietes wohnenden Teilnehmern wurden individuelle Lösungen vereinbart.

Die Rekrutierung der Teilnehmer übernahm der Projektkoordinator VW auf Grundlage von Empfehlungen des DLR (TROMMER 2009). Basis dieser Empfehlungen waren Plausibilitätsüberlegungen (Abb. 2-2), erweitert um empirisch gestützten Aussagen zum theoretischen Rahmenpotenzial für Elektromobilität, welche aus den repräsentativen Mobilitätserhebungen „MiD 2008“ (infas & DLR 2010c) sowie „KiD 2002“ (IVS et al. 2003) abgeleitet wurden.

Für den Bereich der privaten Nutzer wurden ausgehend von wenigen Minimalkriterien (Pkw-Besitz, weitreichende individuelle Pkw-Verfügbarkeit im Alltag, Pkw-Stellplatz) mit Hilfe einer Sonderauswertung des Basisdatensatzes der Erhebung „MiD 2008 – Mobilität in Deutschland“ (infas & DLR 2010c) weitere soziodemographische Eigenschaften für diese Nutzergruppe ermittelt.

1 Der Einfachheit halber wird im Folgenden nicht mehr zwischen privatwirtschaftlichen Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen unterschieden, da nicht die Organisationsform als solche, sondern der betriebliche Kontext das charakterisierende Moment des Fahrzeugnutzungsverhaltens ist.

Abb. 2-2: Plausibilitätsüberlegungen zur voraussichtlichen Nutzungsneigung privater Haushalte und Personen nach verschiedenen Merkmalen

Merkmal	Ausprägungen									
	5 4 3 2 1 0 abnehmende Nutzungsneigung für Elektromobilität									
Alter	< 18	18-29 J.	30-49 J.	50-59 J.	60-64 J.	> 64 J.				
Lebensphase des HH	alleinstehende Rentner	Rentner-HH	Alleinlebende	Zusammenlebende	Erw.-HH	HH m. Schulkind	HH m. Kleinkind	Alleinerziehende	Studenten	Azubis, Schüler
HH-Netto-Einkommen (€/ Monat)	< 500	500-900	900-1500	1500-2000	2000-2600	2600-3000	3000-3600	>3600		
verhaltenshomogene Gruppe	Erwerbstätige mit Pkw	Nichterwerbstät. mit Pkw	Erwerbstätige ohne Pkw	Nichterwerbstät. ohne Pkw	Student/ Azubi mit Pkw	Student/ Azubi ohne Pkw	Kinder < 6J.	Schüler <10 J.	Schüler ab 10 J. mit Pkw	Schüler ab 10 J. ohne Pkw
Anteil Pkw-Wege	81-100%	61-80%	41-60%	21-40%	1-20%					
Tagesfahrleistung Pkw	< 20 km	20-30 km	30-40 km	40-50 km	50-60 km	60-70 km	70-80 km	80-90 km	90-100 km	> 100 km
Wegezzweck	Beruf	Ausbildung	dienstlich	Begleitung	priv. Erledigung	Einkauf	Freizeit	nach Hause	sonstiges	
zusammenhängende Standzeit zwischen Wegen (Aktivitäten)	< 2 h	2-4 h	4-6 h	6-8 h	> 8 h					

Für die Bestimmung potenzieller gewerblicher Nutzer wurde die Erhebung „KiD 2002 – Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ herangezogen, das Pendant zur „MiD“ für den Wirtschaftsverkehr. Bei der Analyse der „KiD 2002“ wurden im Hinblick auf potenziell elektromobilitätsgeeignete Fahrprofile einerseits Charakteristika berichteter Einzelfahrten und Fahrtenketten betrachtet (z. B. Start- und Ankunftszeiten, Fahrtzwecke, Fahrtlänge, Beschaffenheit der transportierten Ladung), andererseits die Eigenschaften der für diese Fahrten genutzten Fahrzeuge. Analog zur soziodemographischen Typisierung der privaten Haushalte wurden zudem Eigenschaften der Unternehmen ausgewertet.

Insgesamt wurden folgende Kriterien herangezogen, die bei der Auswahl der Teilnehmer berücksichtigt werden sollten:

- Die Haushalte müssen bereits im Vorfeld des Versuches mindestens einen Pkw besitzen, Betriebe sollten am Standort eine Flotte von mindestens 3 Pkw und/oder Lkw bis 3,5 t zulässiger Gesamtmasse im Einsatz haben.
- Die voraussichtlichen Fahrer(innen) müssen jederzeit oder gelegentlich über einen Pkw verfügen können.
- Auf dem privaten oder betrieblichen Grundstück muss ein Stellplatz zur Verfügung stehen, um ggf. die Installation einer (Schnell-)Ladesäule zu ermöglichen.
- Die Haushalte sollten eher über ein mittleres bis hohes Haushaltsnettoeinkommen verfügen.
- Rund 80% der Haushaltsstichprobe sollten aus Mehrpersonen-Haushalten bestehen.
- Die Haushalte und Betriebe sollten eine minimale Jahresfahrleistung von mindestens 9 000 km aufweisen.
- Die maximalen Tagesfahrleistungen sollten zwischen 50 und 100 km liegen, dabei sollten typischerweise mindestens 2 Fahrten täglich absolviert werden.
- Die Nutzer sollten hinsichtlich ihrer Vorerfahrungen mit ähnlichen Fahrzeug(typ)en (z. B. als Halter eines VW Golf) und hinsichtlich ihres voraussichtlichen Einsatzbedarfs (z. B. benötigte Transportkapazität, typische Tagesfahrleistung) eine gewisse Affinität zum Fahrzeugtyp des Versuchsfahrzeugs (= Golf

VI Variant als Basis für TwinDRIVE) mitbringen, um Verhaltensänderungen allein aufgrund eines völlig fremden oder ungeeigneten Fahrzeugs zu minimieren.

Typische Haushaltsprofile, die aufgrund der Datenanalyse als potenziell elektromobilitätsgeeignet angesehen wurden, sind in Tab. 2-2 dargestellt.

Tab. 2-2: Typisierung potenziell elektromobilitätsaffiner Haushalte

1-Personen-Haushalt: „Single“	2-Personen-Haushalt: „DINKS – Double Income, No Kids“ oder „Rentner“
▪ vollzeitberufstätig ▪ Altersgruppe 25-44 Jahre ▪ Wohnort eher im Agglomerationsraum ▪ eher keinen Universitäts-/ Fachhochschulabschluss	▪ Paare (noch) ohne Kinder oder Rentnerhaushalte ▪ beide Partner mehrheitlich vollzeitberufstätig (zum Teil auch Hausfrau/ Hausmann, teilzeitbeschäftigt oder Rentner) ▪ Altersgruppen 25-59 Jahre sowie 65 Jahre und älter ▪ Wohnort im Agglomerationsraum oder im verstäderten Raum ▪ mittlerer Anteil der Haushaltsmitglieder mit Universitäts-/ Fachhochschulabschluss ▪ großer Anteil von Haushalten mit zwei Pkw (VW Golf dabei tendenziell Erstfahrzeug)
3-Personen-Haushalt: „Junges Glück“	4-Personen-Haushalt: „Paar mit Kindern“
▪ Haushalte mit Kind (vorwiegend unter 5 Jahre) ▪ hoher Anteil der Haushalte mit einem vollzeitberufstätigen Partner, während der zweite Partner in Elternzeit, Hausfrau/ Hausmann oder teilzeitbeschäftigt ist ▪ Altersgruppe 25-44 Jahre ▪ Wohnort eher im Agglomerationsraum als im verstäderten Raum ▪ hoher Anteil einfacher Beschäftigung der Erwerbstätigen bei Haushalten mit einem Pkw ▪ Haushalte mit zwei Pkw (VW Golf sowohl als Erstwagen als auch als Zweitwagen neben einem Fahrzeug der Mittel- oder Oberklasse)	▪ Haushalte mit 2 Kindern (alle Altersklassen, auch erwachsene Kinder über 18 Jahre) ▪ mehrheitlich berufstätige Partner ▪ Wohnort eher im verstäderten oder ländlichen Raum ▪ eher ohne Universitäts-/ Fachhochschulabschluss ▪ eher einfache Beschäftigung der Erwerbstätigen bei Haushalten mit VW Golf als Erstfahrzeug ▪ Haushalte mit zwei oder mehr Pkw (VW Golf sowohl als Erstwagen als auch als Zweitwagen neben einem Fahrzeug der Mittel- oder Oberklasse)

Für den gewerblichen Bereich wurde die Rekrutierung vor allem kleiner und mittlerer Unternehmen aus den Wirtschaftszweigen „Verkehr und Nachrichtenübermittlung“, „Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen“, „Energie- und Wasserversorgung“ und „Verarbeitendes Gewerbe“ empfohlen. Aufgrund ihrer Einsatzprofile wurden die Bereiche „Facility Management“ und „Technischer Kundendienst“ (z. B. für Weiße Ware oder Kopierer) als besonders geeignet angesehen, die häufig folgende Charakteristika aufweisen:

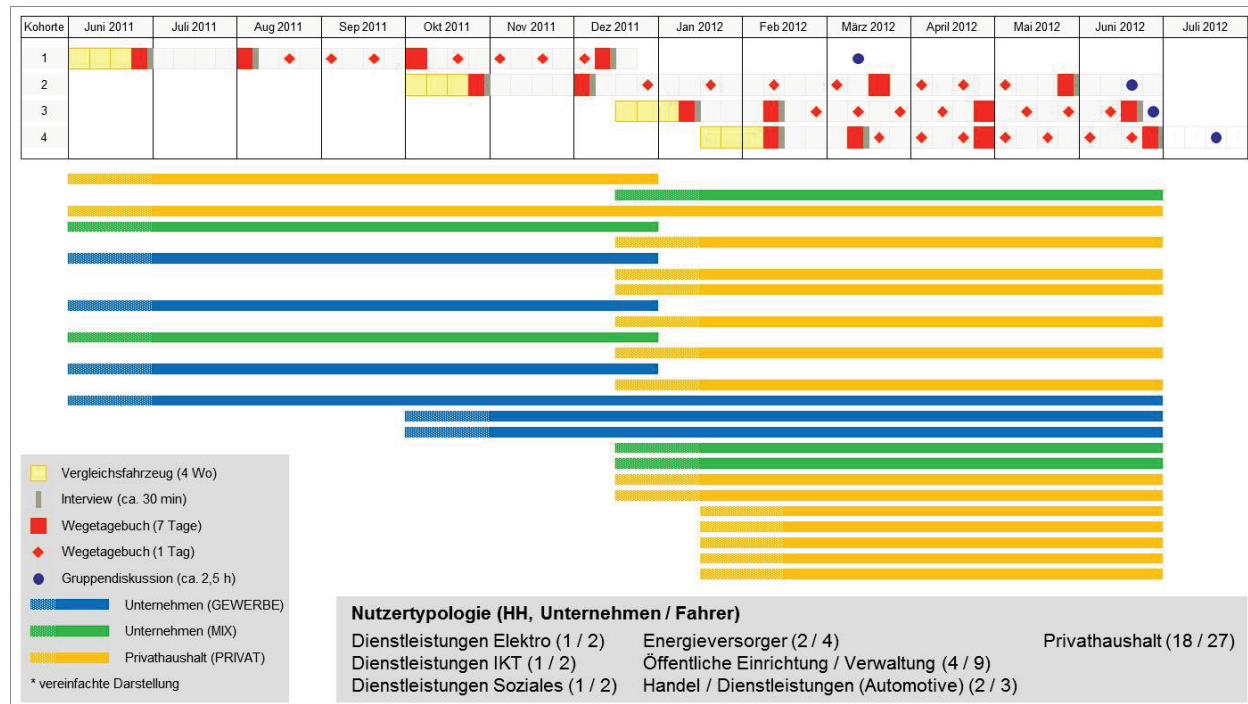
- Die betreuten Objekte/ Kunden befinden sich im näheren Betriebsumfeld,
- die Anzahl der pro Tag angefahrenen Ziele/ Kunden ist überschaubar,
- die Tagesfahrleistungen liegen unter 150 km,
- der Betriebsstandort ist sowohl Ausgangs- als auch Endpunkt der täglichen Fahrten und
- es werden überwiegend Fahrzeuge der Kleinwagen- und/oder Kompaktklasse genutzt.

Die gegebenen Empfehlungen skizzierten lediglich den Rahmen für die endgültige Auswahl der Teilnehmer, da die Erfüllung einzelner Kriterien im Vorfeld nicht oder nur ansatzweise ermittelt und verifiziert werden konnte. Ein Überblick über die schließlich zusammengestellte Teilnehmerstichprobe ist in Abschnitt 6.1 dieses Berichtes enthalten

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war als Langzeitversuch angelegt (Abb. 3-1): Während eines gut einjährigen Zeitraumes (28.6.2011 bis 24.7.2012²) wurden sukzessive 20 TwinDRIVE-Versuchsfahrzeuge sowohl an private Haushalte als auch gewerbliche Betriebe zur Nutzung übergeben, wobei die Fahrzeuge im Schnitt sechs Monate bei den Nutzern verblieben (Bandbreite: 4 bis 12 Monate). Dabei wurden die Fahrzeuge in der Mehrheit der Fälle von zwei Fahrer(innen) genutzt, in Ausnahmefällen von nur einem/ einer Fahrer(in) oder aber von vier Fahrer(inne)n eines Haushaltes oder Betriebes.

Abb. 3-1: Ablauf der Feldphase: Nutzer, Nutzungszeiträume und Erhebungsbestandteile



Unmittelbar vor dem TwinDRIVE erhielten alle Nutzerhaushalte und -betriebe für rund vier Wochen Vergleichsfahrzeuge (Golf VI Variant), welche sich lediglich durch den fehlenden Elektroantrieb von den späteren Versuchsfahrzeugen unterschieden. Mit Beginn des Flottenversuchs im Juni 2011 wurden zunächst acht elektrobetriebene Versuchsfahrzeuge Haushalten und Betrieben zur Verfügung gestellt. Im Oktober 2011 folgten zwei weitere Fahrzeuge. Im Dezember 2011/ Januar 2012 fand ein größerer Fahrzeugwechsel statt, an dem die meisten Fahrzeuge neuen Nutzern zur Verfügung gestellt wurden.

Während der Feldphase gab es für jeden Haushalt/ Betrieb jeweils in insgesamt drei Befragungszeiträumen: (1) zum Ende der Gewöhnungsphase vor den Erfahrungen mit dem TwinDRIVE, (2) nach den ersten Erfahrungen mit dem TwinDRIVE und (3) zum Ende der Nutzungszeit. Dies ermöglichte die Erfassung von Verhaltens- und Einstellungsänderungen. Während der jeweiligen Nutzungsperiode wurden alle Versuchsteilnehmer(innen) kontinuierlich begleitet. Neben einer weitgehend automatischen Aufzeichnung verschiedener Fahrzeug- und Fahrzeugnutzungsparameter via CAN-Bus³ beinhaltete diese Begleitung einerseits die stichprobengestützte Erhebung beobachtbarer und abfragbarer (Mobilitäts-)Verhaltensmuster, andererseits eine vorwiegend interviewgestützte Erfassung der individuellen subjektiven Sicht auf den

² Die Übergabe der Fahrzeuge durch VW erfolgte somit rund ein Jahr später als ursprünglich geplant.

³ Bestandteil dieser CAN-Bus-Daten waren beispielsweise typische Merkmale der Fahrten und Ladevorgänge (z. B. Start- und Endzeitpunkt, Geokoordinaten von Start- und Zielort, zurückgelegte Wegstrecke, Durchschnittsgeschwindigkeit, Kraftstoff- und Stromverbrauch, geladene Strommenge), aber auch weitere fahrzeugunabhängige Parameter (z. B. Außentemperatur, Benutzereingaben).

Untersuchungsgegenstand Elektromobilität, die sich in individuellen Einstellungen, Präferenzen und Wünschen niederschlug. In den jeweiligen Befragungszeiträumen wurden die teilnehmenden Haushalte, Betriebsleiter und Fahrer(innen) mittels Fragebogen, Interview und Wegetagebuch befragt. Zum Ende der Nutzungszeit wurden die Teilnehmer(innen) gebeten, an einer Gruppendiskussion teilzunehmen. Insgesamt konnten 27 Haushalte und Betriebe befragt werden. Zu einzelnen Befragungsausfälle kam es vor allem aufgrund zeitlicher Restriktionen oder längerer Abwesenheiten, da die Feldphase sich auch über die Sommermonate und damit Ferienzeiten erstreckte. Zusätzlich führten technische Wartungs-/ Reparaturzeiten dazu, dass die Versuchsfahrzeuge vorübergehend nicht zur Verfügung standen; in diesen Fällen wurde den Nutzern ein konventioneller Golf VI Variant als Ersatzfahrzeug überlassen.

Aus der Aufgabenstellung leiteten sich mehrere Erkenntnisebenen ab, deren Gegenstand nur teilweise objektiv erfassbare Merkmale waren:

- (1) Nutzungsmuster der Versuchsfahrzeuge (Wegecharakteristik, Streckenprofil, Fahr-/ Stand-/ Ladezeiten)
- (2) Alltagstauglichkeit, Stärken und Schwächen der Fahrzeuge aus Nutzersicht (Fokus auf praktische Nutzung)
- (3) subjektive Einstellungen, Präferenzen, Wünsche der Nutzer
- (4) Akzeptanz der Elektromobilität durch die Nutzer (Fokus auf Technologie und Kosten)

Insbesondere die gegenüberstellende Analyse objektiven Verhaltens und subjektiver Wertungen zielten auf die Aufdeckung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, die zu Akzeptanz und Nutzung von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen oder aber zu Vorbehalten und grundsätzlicher Ablehnung der Elektromobilität führen können. Die Auswertung der im Versuch gemachten praktischen Erfahrungen ermöglichte zudem eine Abschätzung der Alltagstauglichkeit des zugrunde liegenden Fahrzeug- und Energieversorgungskonzeptes vorrangig aus Nutzerperspektive.

Fragebereiche

Ebenfalls aus der Aufgabenstellung ließen sich unter Berücksichtigung der verschiedenen Erkenntnisebenen mehrere Fragebereiche ableiten (Tab. 3-1). Einige zielten dabei gleichermaßen sowohl auf objektive als auch auf subjektive Ebenen. Die objektiven Fragebereiche beinhalteten vor allem Fragen zur Charakteristik der Nutzer (Haushalte, Betriebe) sowie zum tatsächlichen Verhalten, welches das Mobilitätsverhalten insgesamt, aber auch die Fahrzeugnutzung im Detail umfasste. Diese objektiven Merkmale konnten entweder direkt über das Fahrzeug gemessen werden oder aber vergleichsweise zuverlässig mittels Fragebogen oder Interview erfasst werden. Die subjektiven Fragebereiche hingegen beinhalteten vor allem persönliche Wahrnehmungen, Einschätzungen und Bewertungen verschiedener Aspekte der Elektromobilität sowie entsprechende Präferenzen. Von besonderer Relevanz waren hierbei Themen wie die Wahrnehmung einer begrenzten elektrischen Reichweite, die Zahlungsbereitschaft im Hinblick auf ggf. höhere Anschaffungskosten oder auch Präferenzen hinsichtlich verschiedener Tarifoptionen bei der Energieversorgung. Insbesondere diese individuellen Eigenschaften wurden durch eine geeignete Kombination verschiedener Fragetypen in Fragebogen und Interview ermittelt.

Redundanzen zwischen beiden Fragebereichen waren hierbei beabsichtigt, um Widersprüche zwischen objektiven Fakten und subjektiver Wahrnehmung aufzudecken.

Tab. 3-1: Objektive und subjektive Fragebereiche und methodisches Instrumentarium

Fragebereich	Objektive Ebene	
	Beispiele	Erhebungsinstrument
Nutzungsmuster im Rahmen der Alltagsmobilität	Einzelfahrten/ -wege - Charakteristik der einzelnen Wege: u. a. Tageszeit, Dauer, Entfernung, Zweck, Innerorts-/ Außerortsanteil - Nutzungsanteile der Fahrzeugbetriebsarten: Elektroantrieb, Verbrennungsmotor - Fahrweise: Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsverhalten	<i>teilstandardisierte Fragebögen für Haushalte, Betriebe, Betriebsleiter(innen)/ Fuhrparkleiter(innen), TwinDRIVE-Fahrer(innen)</i> - Eignung für objektive Sachverhalte - offene Fragen zur Vorbereitung eines Leitfaden-Interviews - jeweils zwei Versionen für insgesamt drei Befragungszeitpunkte
	Tagesmobilität - Tagesfahrleistungen: TwinDRIVE, TwinDRIVE-Fahrer, Innerorts-/ Außerortsanteil - mittel- bis langfristige Veränderungen des Mobilitätsverhaltens durch Fahrzeugeigenschaften: z. B. Anzahl der Fahrten, Abwandlungen des Betriebsablaufs etc.	<i>Wegetagebuch (Wegeprotokolle zur Absicherung/ Ergänzung der CAN-Bus-Daten)</i> 4 Wochentagebücher (7 aufeinanderfolgende Berichtstage) je TwinDRIVE-Fahrer(in)/ je Versuchsfahrzeug eines Betriebes zur Abbildung des Fahrzeug-einsatzes im Wochenverlauf 7 eintägige Stichtagsprotokolle je TwinDRIVE-Fahrer(in)/ je Versuchsfahrzeug eines Betriebes (jeweils verteilt über die TwinDRIVE-Nutzungszeit)
		<i>fahrzeuggestützte CAN-Bus-Datenerfassung*</i> - automatische Erfassung verschiedener Fahrzeugbetriebsdaten - kontinuierliche Datenerfassung während der gesamten Versuchslaufzeit
Energieversorgung	Handling des Ladevorgangs Nutzung der verschiedenen elektrischen Ladeoptionen Charakteristik der einzelnen Ladevorgänge: Zeitpunkt, Häufigkeit, Dauer	
Kosten	durchschnittliche Verbrauchskosten (Strom, Kraftstoff)	
Mobilitätshintergrund der Haushalte	Haushaltsebene Typ/ Größe/ Zusammensetzung; HH-Nettoeinkommen, Wohndauer usw.	
	Personenebene u.a. Alter, Geschlecht, Bildungsstand, (Berufs-)Tätigkeit/ Beschäftigung, Arbeitszeitorganisation, Führerscheinbesitz/ -erwerbsjahr, generelle Nutzungshäufigkeit verschiedener Verkehrsmittel	
	Fahrzeugebene - Anzahl Fahrzeuge im Haushalt - individuelle Verfügbarkeit von Fahrzeugen	
Mobilitätshintergrund der Betriebe	Betriebsebene Wirtschaftszweig, Unternehmenstyp/ Rechtsform etc.	
	Fahrerebene Tätigkeit und Position (im untersuchten Betrieb), Umfang Berufstätigkeit (Voll-/ Teilzeit, Schicht), Beschäftigungsdauer am Arbeitsort	
	Fahrzeugebene Hauptnutzer im Betrieb, üblicher Stellplatz, übliches Mobilitätsmuster	
Mobilitätsplanung	Planung der individuellen Mobilität	

(Tab. 3-1 wird fortgesetzt)

(Fortsetzung Tab. 3-1)

Fragebereich	Subjektive Ebene	
Reichweiten-problematik	▪ Bewertung der elektrischen Reichweite	<i>Leitfaden-Interview</i> ▪ Eignung für subjektive Einstellungen und Präferenzen ▪ drei Interviewzeitpunkte (jeweils im Anschluss an Fragebogen) <i>Gruppendiskussion</i> ▪ Vertiefung ausgewählter Themen vor allem aus dem subjektiven Spektrum (z. B. Technikakzeptanz, Zahlungsbereitschaft, Alltagstauglichkeit etc.) <i>Erfahrungstagebuch</i> ▪ Erfassung außergewöhnlicher Ereignisse oder sonstiger Notizen (z. B. Ideen, Wünsche), die zwischen den zeitlich länger auseinander liegenden Befragungs- und Interviewterminen auftreten können ▪ vorwiegend Gedankenstütze für Versuchsteilnehmer
Fahrverhalten und -qualität (Technologie, Komfort)	▪ Bewertung und Wichtigkeit von Reaktionszeiten, Fahrgeräusch, Höchstgeschwindigkeit etc. ▪ Bewertung der fahrzeugbedingten Beeinflussung des Fahrstils	
Verkehrssicherheit	▪ Unsicherheit gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern ▪ Ablenkung durch Statusanzeigen	
Energieversorgung	▪ Bewertung von Planung und Handling des Ladevorgangs ▪ Präferenzen für Energieversorgungsoptionen ▪ Bewertung und Wichtigkeit von Statusinformationen	
Nutzungseinschränkungen und Ausfallzeiten	▪ Bewertung von Nutzungseinschränkungen (z. B. geringere Zuladungsmöglichkeit)	
Kosten/ Zahlungsbereitschaft	▪ Bewertung zu erwartender Anschaffungskosten, Betriebskosten (Energie, Wartung) ▪ Bewertung verschiedener Stromtarifoptionen	
Hindernisse für Kauf/ Nutzung im Hinblick auf Alltagstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit	▪ empfundene Hindernisse, z. B. unausgereifte Technologie, elektrische Reichweitenbegrenzung, Marken-/ Segmenttreue etc.	
Anreize für Kauf/ Nutzung im Hinblick auf Alltagstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit	▪ empfundene Anreize, z. B. Technikaffinität, geringerer Treibstoffverbrauch, Umweltschutzaspekte, geringere CO₂-Emissionen ▪ Bewertung von Markteinführungsmaßnahmen	
Mobilitätsverhalten	▪ Einschätzung des Änderungspotenzials: mehr/ weniger Auto, Auto für welche Zwecke etc. ▪ Ersatz herkömmlicher Haushaltsfahrzeuge durch Elektrofahrzeug	
Mobilitätshintergrund	▪ Informationsstand zu Elektromobilität ▪ empfundener Informationsbedarf zu Elektromobilität	
Zufriedenheit mit Versuchsfahrzeug und Nutzung		
Erwartungen an Elektromobilität	▪ Fahrzeuge ▪ Infrastruktur ▪ Energiebereitstellung ▪ Mobilitätskonzepte, Serviceangebote	

* Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung ausgewählter Daten durch den Projektpartner VW

Instrumentarium

Den qualitativen Unterschieden der objektiv und subjektiv ausgerichteten Erkenntnisebenen wurde mit einer differenzierten methodischen Herangehensweise Rechnung getragen (Abb. 3-2). Die folgenden Bausteine kamen dabei zum Einsatz: Fragebögen, Wegtagebücher und Wegeblätter (so genannte *Memory Jogger*) wurden in Form elektronischer Formulare (PDF-Dokumente) per E-Mail zugestellt, in Ausnahmefällen auch in ausgedruckter Form. Im Idealfall wurden die Fragebögen und Wegetagebücher von den Teilnehmer(inne)n digital ausgefüllt und im PDF- oder XML-Format zurückgesendet. Für den Fall handschriftlich ausgefüllter Fragebögen und Wegetagebücher erhielten alle Teilnehmer(innen) jeweils einen vorfrankierten Rückumschlag.

Abb. 3-2: Einsatz verschiedener Erhebungsinstrumente

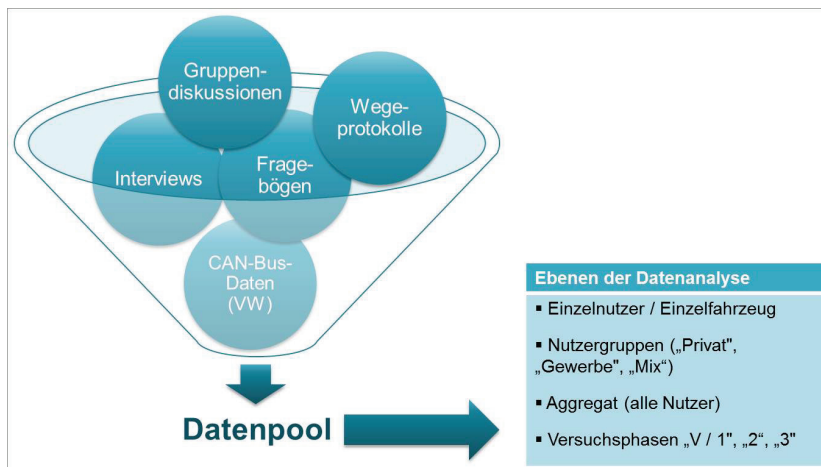


Abb. 3-3: Haushaltsfragebogen (Ausschnitt)

2. Listen Sie bitte alle im Haushalt lebenden Personen im folgenden Schema auf. Beginnen Sie bitte mit sich selbst. Setzen Sie die Liste mit den weiteren Personen nach dem Alter gegliedert fort. Tragen Sie bitte für alle Personen zunächst den Namen, ein Foto und eine kurze Beschreibung des Berufes ein.

Flottenversuch Elektromobilität
Nutzerbefragung

Phase Fragebogennummer

PERSONENVERKEHR (Privathaushalte | Dienstwagen) Phase 1
Haushaltsfragebogen

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Flottenversuchs, vor Ihnen liegt der Haushaltsfragebogen für die Nutzerbefragung zum "Flottenversuch Elektromobilität". Er enthält vor allem allgemeine Fragen zu Ihrem Haushalt und wird ergänzt durch individuelle Personenfragebögen und Wegetagebücher. Wir bitten Sie, diesen Fragebogen vollständig auszufüllen und an das DLR-Institut für Verkehrsforschung zurückzusenden. Am einfachsten können Sie dies über die E-Mail-Funktion am Ende des Fragebogens tun. Alternativ können Sie den Fragebogen aber auch als E-Mail-Anhang oder per Post senden. Wir hoffen, dass Ihnen das Ausfüllen ein wenig Spaß macht und bedanken uns schon jetzt für Ihre Mitarbeit. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Flottenversuchs. Ihr DLR-Befragungsteam

Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens

Der Fragebogen richtet sich an alle Haushaltsmitglieder einschließlich aller Kinder ab 0 Jahren. Idealerweise wird er gemeinsam von allen Familienmitgliedern beantwortet. Bitte füllen Sie zunächst diesen Haushaltsfragebogen aus, erst im Anschluss daran die individuellen Personenfragebögen und Wegetagebücher. Bitte lesen Sie zunächst die Fragen jeweils vollständig durch. Für die meisten Antworten brauchen Sie nur ...

- ... eines oder mehrere der vorgegebenen Kästchen anzukreuzen:
- ... oder eines der vorgegebenen Kästchen auszuwählen:
- ... oder eine Zahl einzutragen:
- ... oder einen kurzen Text einzutragen:

Bei einigen Fragen haben Sie die Möglichkeit, eine eigene Antwort zu formulieren. Falls Sie den Fragebogen handschriftlich ausfüllen, verwenden Sie bitte möglichst Blockschrift.

Bitte beantworten Sie die Fragen in der vorgesehenen Reihenfolge. Überspringen Sie eine oder mehrere Fragen nur, wenn extra darauf hingewiesen wird.

Versuchen Sie bitte, alle Fragen so vollständig und genau wie möglich zu beantworten. Nur so kann sichergestellt werden, dass für die Auswertung ein realitätsnahes Bild zur Verfügung steht. Im Zuge der Auswertung werden Ihre persönlichen Daten baldmöglichst von Ihren Antworten getrennt. Bei der Ergebnisaufbereitung werden alle Angaben selbstverständlich vollständig anonymisiert dargestellt, so dass keine Rückschlüsse auf Ihren Haushalt oder einzelne Haushaltsmitglieder möglich sein werden.

Zunächst haben wir einige allgemeine Fragen zu Ihrem Haushalt. Hierunter verstehen wir die Personen, die dauerhaft in Ihrem Haushalt leben, auch wenn diese zur Zeit abwesend sind (z.B. im Krankenhaus oder im Urlaub).

1. Wie viele Personen leben ständig in Ihrem Haushalt. Sie selbst eingeschlossen? Denken Sie dabei bitte auch an alle im Haushalt lebenden Kinder.

☐ lebe allein
☐ lebe mit anderen Personen im Haushalt
☐ keine Angabe

Bitte Anzahl der Personen insgesamt eingetragen:

Person 4

Vorname | Kürzel:

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich
☐ weiß nicht
☐ keine Angabe

Alter: ☐ Jahre
☐ weiß nicht
☐ keine Angabe

Berufstätigkeit: ☐ Vollzeit
☐ Teilzeit
☐ Auszubildende(r)
☐ nicht berufstätig
☐ weiß nicht

Falls nicht berufstätig:
gegenwärtige Tätigkeit von Person 4:

- ☐ Kind (zu Hause betreut)
- ☐ Kind (in Kindergarten, Hort)
- ☐ Schüler(in) einschl. Vorschule
- ☐ Auszubildende(r)
- ☐ Student(in)
- ☐ zur Zeit arbeitslos
- ☐ vorübergehend freigestellt | Elternzeit
- ☐ Hausfrau | -mann
- ☐ Rentner(in) | Pensionär(in)
- ☐ Wehr- | Zivildienst-leistende(r)
- ☐ andere Tätigkeit
- ☐ weiß nicht

Führerscheinbesitz für Pkw: ☐ ja ☐ nein
☐ weiß nicht

Seite 2 von 11

Die Termine für die im Durchschnitt 30-minütigen telefonischen Interviews wurden individuell vereinbart.

Die nachmittäglichen Termine für die in Wolfsburg und Berlin stattfindenden Gruppendiskussionen wurden nach vorheriger Terminabfrage festgelegt, um eine möglichst zahlreiche Teilnahme zu gewährleisten. Insgesamt konnten vier Gruppendiskussionen mit jeweils sechs bis zehn Teilnehmer(inne)n durchgeführt werden.

Einweisung der Teilnehmer(innen) in den Flottenversuch

Zu Beginn des Flottenversuches wurden die Teilnehmer(innen) ausführlich in die Konzeption des Flottenversuches eingeführt. Im Rahmen einer vom Projektpartner VW ausgerichteten jeweils eintägigen Veranstaltung erhielten alle Fahrer(innen) ausführliche Informationen zu den Versuchsfahrzeugen, insbesondere zum Antriebskonzept, zur Bedienung des Fahrzeugs (Starten, Laden, Havariefall), zur Ladeplanung mit Hilfe des Fahrzeuginformationssystems (FIS) sowie zum Service- und Wartungskonzept. Darüber hinaus wurde seitens des DLR eine ausführliche Einführung zum Ablauf der begleitenden Nutzerbefragung gegeben (Zielsetzung, Erhebungsinstrumente, Befragungsinhalte, Datenschutz). Bei dieser Gelegenheit erhielten die Teilnehmer Musterfragebögen, das Erfahrungstagebuch sowie ein doppelseitiges laminiertes Informationsblatt mit den wichtigsten praktischen Informationen zur Befragung sowie Kontaktinformationen zu Ansprechpartner(inne)n.

Datenaufbereitung

In allen aus der Befragung resultierenden Datensätzen wurde die Antworten der Teilnehmer(innen) mit einer anonymisierten eindeutigen ID versehen, über die zudem eine Zuordnung zu einem Haushalt/ Betrieb, zum jeweiligen Nutzersegment sowie zum genutzten Versuchsfahrzeug und darüber auch zu den fahrzeugspezifischen CAN-Bus-Daten möglich ist. Auf diese Weise lassen sich alle Einzelergebnisse wiederum nicht nur frage- oder gruppenspezifisch, sondern auch auf Einzelnutzerebene auswerten.

Die digital aufgezeichneten Interviews wurden in Form einer nach Interviewpartner(in) sowie Thematik/ Frage/ gegliederten Matrix aufbereitet und mit der anonymisierten eindeutigen ID versehen, so dass auch hier Auswertungen nach Thematik/ Frage, Nutzersegment oder Einzelnutzer möglich sind.

Bei Analyse von Zeitreihen wurden in der Regel nur solche Fälle betrachtet, wenn an mindestens zwei von den drei möglichen Zeitpunkten geantwortet wurde.

Der von VW bereitgestellte CAN-Bus-Wegedatensatz weist 1 582 Fahrten unter 150 m auf, welche für die weitere Auswertung entfernt wurden. In der Regel kann hier von Messungenauigkeiten ausgegangen werden, etwa bei Abbrüchen der Fahrtenaufzeichnung, GPS-Ungenauigkeiten oder Situationen, in denen der Motor gestartet und kurz darauf wieder ausgeschaltet wurde. Bei der Auswertung können diese Ungenauigkeiten vernachlässigt werden, da praktisch keine Wegstrecke zurückgelegt wurde (0,02% der Gesamtfahrleistung).

Bei den CAN-Bus-Ladedaten wurde ein großer Teil der Ladevorgänge in mehreren Einzelschritten aufgezeichnet. Gründe hierfür sind Ladeabbrüche aufgrund technischer Probleme (z. B. Über-/ Unterschreitung des zulässigen Energieflusses, Auslegung der häuslichen Installation) oder eine Änderung der Laderichtung bei Energierückspeisung ins Netz.

Zur Bearbeitung der unterschiedlich gelagerten inhaltlichen Fragestellungen wurden zwei Einzeldatensätze aufbereitet:

- Zur Untersuchung des Stromflusses und der Energierückspeisung ins Netz (V2G) konnten die von VW bereitgestellten Ladedaten ohne weitere Aufbereitung analysiert werden.
- Zur Analyse des Nutzerverhaltens wurden die Einzelmessungen unter Nutzung des bei der Initialisierung eines Ladevorgangs (= Anschluss des Fahrzeuges ans Stromnetz) gesetzten Zeitstempels aggregiert. Damit wurden die Einzelmessungen zu beobachteten Ladevorgängen zusammengefasst.

Für aktionsräumliche Analysen wurden anhand der von den Teilnehmer(inne)n geführten Wegetagebücher zunächst unspezifische Start- und Zielpunkte der TwinDRIVE-Fahrten verschiedenen Zweck-/ Ortskategorien wie z. B. Wohnen, Arbeit oder Freizeit zugeordnet. Als Halt im Hinblick auf den Wohnort wurde hierfür ein Punkt definiert, der innerhalb eines 300 m-Radius zur Wohnadresse lag. Bei allen anderen Ortstypen (z. B. Arbeitsort, Kindergarten usw.) wurde ein 400 m-Radius um die bekannte Adresse gelegt. Insgesamt konnten somit 49% der Start- und Zielpunkte spezifiziert werden. Innerhalb dieser Gruppe waren die dominierenden Kategorien Wohnort (55,7% aller zuordnungsfähigen Punkte) und Arbeitsort (38,2% aller zuordnungsfähigen Punkte).

4 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Sowohl reine Elektromobile als auch Hybridfahrzeuge sind bereits seit vielen Jahren auf dem Markt erhältlich. Einen nennenswerten Marktanteil konnten sie jedoch nach wie vor nicht erreichen. Einer verbreiteten Nutzung von Elektrofahrzeugen standen bislang neben objektiven Nachteilen technischer und finanzieller Art (z. B. hoher Wartungsaufwand, geringe Reichweite, hohe Anschaffungskosten) vor allem subjektive Befürchtungen oder gar Vorbehalte entgegen. Als wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Markteinführung von Fahrzeugen mit innovativen Antriebstechnologien wird nicht zuletzt deren Alltags-tauglichkeit angesehen (BMBF 2004, S. 2), die bei Elektrofahrzeugen wesentlich von Leistungsfähigkeit, Dauerhaltbarkeit und Ladeverhalten der verwendeten Batterien beeinflusst wird (BMW/ BMU 2007, S. 89). PEREN u. a. ziehen zum Ende ihrer Marktbetrachtung, in der sie die ökonomischen Chancen von Elektrofahrzeugen ausloten, das Fazit, dass diese „erst dann eine breite Akzeptanz finden, wenn sie technisch und ökonomisch mit herkömmlichen Automobilen vergleichbar sein werden“ (PEREN u. a. 1997).

In der Vergangenheit gab es in Deutschland neben einer Studie zum theoretischen Einsatzpotenzial von Elektrofahrzeugen (HAUTZINGER, TASSAUX & HAMACHER 1992) eine Reihe von i. d. R. regional begrenzten Feldversuchen zur systematischen Erprobung unterschiedlicher Elektrofahrzeugkonzepte, die von DÜRSCHNER (1996) in Vorbereitung eines Flottenversuchs in der Stadt Erlangen überblicksartig zusammengestellt wurden. Die bereits erwähnte Arbeit von PEREN u. a. (1997) wiederum konzentriert sich auf die ökonomischen Aspekte einer Marktintegration von Elektrofahrzeugen, zielgruppenspezifische Marketingstrategien sowie gesetzliche Rahmenbedingungen und Fördermaßnahmen. Im Rahmen eines von der Europäischen Kommission geförderten Projektes werten KNEIE, HÅRD u. a. (1997) eine Auswahl bereits vorliegender Pilotstudien explizit im Hinblick auf Nutzungsmuster von Elektrofahrzeugen aus.

Auch in europäischen Nachbarländern sowie – begünstigt durch eine entsprechende Gesetzgebung – in den USA gab und gibt es verschiedene Flottenversuche mit reinen Elektro-, aber auch schon mit Plug-In-Hybridfahrzeugen (z. B. ELCIDIS 2002, UC DAVIS 2007). Insbesondere die Ergebnisse nordamerikanischer Studien sind jedoch aufgrund der nach wie vor unterschiedlichen Rahmenbedingungen sowie anderer individueller Mobilitätsvoraussetzungen und -präferenzen nicht ohne weiteres auf deutsche Verhältnisse übertragbar.

Im Hinblick auf das geplante Teilvorhaben ist v. a. die Arbeit von HAUTZINGER, TASSAUX & HAMACHER (1992) von Interesse. Die Autoren ermittelten auf Grundlage damals aktueller Daten wie der KONTIV 1989 (EMNID-Institut o. J.), der „Fahrleistungserhebung 1991“ (HAUTZINGER, HEIDEMANN u. KRÄMER 1992) oder der AUTOMOTIV-Erhebung (INFRATEST 1991) das theoretische Einsatzpotenzial reiner Elektrofahrzeuge (ohne zusätzlichen Verbrennungsmotor) im Straßenverkehr. Zentrale Frage war, welcher Teil des Bestands privater Pkw ohne nennenswerte Mobilitätseinschränkungen durch Elektroautos substituierbar wäre. Einsatzmuster einschließlich der individuellen und der fahrzeugbezogenen Tagesfahrleistungen wurden ebenso berücksichtigt wie soziodemographische Eigenschaften der Fahrzeughalter und ihrer Haushalte. Die empirische Analyse erfolgte vor dem Hintergrund des „Mobilitätsangebotes“ der Elektroautos (HAUTZINGER, TASSAUX & HAMACHER 1992, S. 12ff.), welches durch die nutzungsrelevanten Eigenschaften der Fahrzeuge wie dem Beschleunigungsvermögen, der Höchstgeschwindigkeit, der Reichweite, dem Zeitbedarf für die Batterieladung und der Beförderungskapazität determiniert wird. Unter den Prämissen einer Reichweite von 100 km, der Möglichkeit zur nächtlichen Batterieaufladung für 70% der substituierbaren Fahrzeuge sowie dem Ausbleiben neuer Infrastruktureinrichtungen gelangten die Autoren für das Jahr 1991 – nur für die alten Bundesländer – zu einer optimistischen Einschätzung des Substitutionspotenzials von rund 4,5 Mio. Pkw in privaten Haushalten; für 2010 wurden für Gesamtdeutschland sogar rund 7,3 Mio. substituierbare Pkw prognostiziert (ebd. S. 93f.). Als ein entscheidender Faktor für dieses hohe Potenzial wurde neben der vorliegenden Einsatz- und Haushaltscharakteristik insbesondere die bereits damals hohe Quote von Zweit-, Dritt- und Viertfahrzeugen angesehen (ebd. S. 94).

Während die Arbeit von HAUTZINGER, TASSAUX & HAMACHER (1992) auf die statistische Auswertung empirischer Daten zur Ermittlung des theoretischen Substitutionspotenzials beschränkt war, stand im wohl bekanntesten und bislang umfangreichsten deutschen Feldversuch auf der Ostsee-Insel Rügen in den Jahren 1992 bis 1996 (DAUG 1996) die mehrjährige praktische Erprobung einer Fahrzeugflotte im Vordergrund des Interesses. Zu den ausschließlich nicht-privaten Nutzern der aus 60 verschiedenen Fahrzeugen bestehenden Flotte gehörten kommunale und gemeinnützige Einrichtungen und Unternehmen. Gleichwohl wurde ein Teil der Fahrten zu privaten Zwecken durchgeführt.

Neben dem Test verschiedener technischer Komponenten (Batterie- und Antriebssysteme, Batterieladung) gehörte eine energetische und ökologische Bilanzierung auf Basis der Verbrauchsdaten sowie eine Akzeptanzuntersuchung zu den Projektaufgaben. Ergänzend zu den messtechnisch erfassten Nutzungsdaten wurden im Rahmen dieser Akzeptanzuntersuchung schriftliche Befragungen der Fahrzeugbetreiber durchgeführt (ebd. S. 298 ff.). Erfragt wurden Informationen zu den jeweiligen Fahrern und ihren bisherigen Erfahrungen mit herkömmlichen Fahrzeugen sowie zu den praktischen Erfahrungen während des Versuchs (z. B. Einsatzzwecke, Pannenhäufigkeit, Fahrqualität, Fahrstil, Ladevorgang, Zufriedenheit). Von den Nutzern wurden die Elektrofahrzeuge überwiegend positiv beurteilt (ebd. S. 303). Selbst die begrenzte Reichweite der Fahrzeuge – häufig als ein entscheidender Nachteil angeführt – stand dieser Bewertung nicht entgegen.

Die meisten der vorliegenden Studien unterstellen im Fall eines Wechsels von einem herkömmlichen Fahrzeug zu einem Elektrofahrzeug mindestens implizit die Beibehaltung des individuellen Mobilitätsverhaltens und rechnen das Potenzial von Elektrofahrzeugen auf dieser Basis direkt hoch. Demgegenüber gehen einzelne Autoren (KNIE, HÅRD u. a. 1997, GJØEN & HÅRD 2002) davon aus, dass das Nutzungsmuster eines Elektrofahrzeugs nicht nur durch das Mobilitätsprofil einer Person bedingt sei, sondern dass umgekehrt sich durch die Nutzung eines solchen Fahrzeugs auch das Mobilitätsverhalten dieser Person verändern würde. Dieser Umstand müsse in entsprechenden Potenzialanalysen mit berücksichtigt werden, eine einfache Fortschreibung der auf der Nutzung konventioneller Fahrzeuge beruhenden Mobilitätsmuster sei nicht hinreichend.

Gegenüber den bislang vorliegenden Arbeiten haben sich wesentliche Parameter geändert, insbesondere die empirischen Datengrundlagen. Für die von HAUTZINGER, TASSAUX & HAMACHER (1992) genutzten Daten liegen mittlerweile Aktualisierungen neueren Datums vor, darunter die bundesweiten Erhebungen „MiD 2002 - Mobilität in Deutschland“ (BMVBW 2003)⁴ und die „Fahrleistungserhebung 2002“ (HAUTZINGER, STOCK u. a. 2005). Darüber hinaus steht mit der „Zeitbudgeterhebung 2001/02“ (Statistisches Bundesamt 2003) eine weitere umfangreiche Datenquelle zur Charakterisierung von (Zeit-)Nutzungsmustern zur Verfügung.

Technologische Fortschritte in der Batterietechnik sowie Plug-In-Hybridfahrzeugkonzepte eröffnen neue Möglichkeiten, die bisherigen Nachteile der Elektromobilität – insbesondere die begrenzte Reichweite der Fahrzeuge – deutlich zu reduzieren. Gleichwohl stellt der künftige Einsatz von Plug-In-Hybridfahrzeugen, v. a. deren Versorgung mit elektrischer Energie, spezifische Anforderungen nicht nur an die technische Schnittstelle Infrastruktur – Fahrzeug sondern auch an das Lastmanagement des Stromnetzes. Eine weitgehend unbekannte Größe ist dabei der zeitliche Verlauf der zu erwartenden Ladevorgänge. Während die mit typischen Aktivitätsmustern und Wegeketten (wie beispielsweise der Kette „Wohnort → Arbeitsplatz → Wohnort“ eines klassischen Vollzeitberufstätigen) verbundenen Ladezeiträume mittels plausibler Annahmen vergleichsweise einfach zeitlich verortet werden können, ist dies bei anderen Personengruppen mit deutlich heterogeneren Aktivitäten- und Wegemustern nicht ohne Weiteres machbar. Im Hinblick auf die gezielte Nutzung regenerativer Energie durch Elektromobilität und ein darauf ausgerichtetes Netzlastmanagement ist deshalb eine möglichst genaue Kenntnis des zu erwartenden Energieabrufs (Tages-, Wochen-, Jahresgang) erforderlich: Wann werden die Fahrzeugbatterien aufgeladen? Wie viel Energie wird jeweils benötigt? Wann kann seitens der Energieversorgungsunternehmen ggf. Energie aus den Batterien entnommen werden? Insbesondere der zuletzt genannte Punkt ist für das Engpassma-

⁴ Eine Aktualisierung der "MiD" für das Jahr 2008 wurde im Laufe des Flottenversuches fertiggestellt und stand ab 2010 zur Verfügung (infas, DLR 2010a / 2010b/ 2010c/ 2010d).

nagement des Stromnetzes relevant: Die Traktionsbatterien fungieren zunächst temporär als dezentrale mobile Zwischenspeicher u. a. für elektrische Energie, die zeitversetzt und zudem unregelmäßig aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird. Bei auftretenden Engpässen dienen diese Zwischenspeicher dann ihrerseits als Energielieferanten für das Stromnetz.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich eines Konzepts der bedarfsabhängigen Rückspeisung von Energie in das Stromnetz. Hier ist insbesondere die diesbezügliche Bereitschaft der Fahrzeugnutzer zu erforschen. Entsprechende Untersuchungen hierzu sind nicht bekannt.

Im Hinblick auf eine zügige Markteinführung entsprechender Fahrzeuge kommt neben der Gestaltung der technischen (Energieversorgungs-)Infrastruktur der Konzeption von Maßnahmen, die eine Intensivierung der Elektromobilität fördernd begleiten, eine besondere Bedeutung zu. Auch hierzu liegt bereits eine Reihe von Empfehlungen vor (z. B. PEREN 1997), die im Hinblick auf die aktuellen politischen Zielsetzungen und auf Grundlage der Ergebnisse aus dem geplanten Flottenversuch zu überprüfen und ggf. zu modifizieren sind.

In Abschnitt 8 wird auf bereits publizierte neuere Forschungsergebnisse aus zum Teil zeitgleich verlaufenen Untersuchungen eingegangen.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Projektarbeit des DLR im Teilprojekt „Nutzungspotenzial“ erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den anderen Forschungspartnern des Verbundprojektes „Flottenversuch Elektromobilität“ (siehe Abschnitt 2). Hierbei ist zum einen die Volkswagen AG zu nennen, welche die CAN-Bus Daten der Versuchsfahrzeuge zur Analyse bereitstellte. Weiterhin sind es die Projektpartner des Arbeitspaketes „Energiedienstleistung“, welche durch wiederholtes konstruktives Feedback dazu beitrugen, das Modell „ECCO“ zur Berechnung der zukünftigen Nachfrage nach Elektrofahrzeugen über den Projektzeitraum stetig zu verbessern.

Außerhalb des Projektes engagierte sich das DLR in verschiedenen Foren und nahm an Workshops teil, in welchen Methoden und Ergebnisse zur wissenschaftlichen Begleitforschung von Flottenversuchen im Bereich der Elektromobilität unter Experten diskutiert wurden. Dazu zählt beispielsweise die Plattform „Sozialwissenschaftliche Begleitforschung“ der Modellregionen Elektromobilität. Das DLR unterstützte die Leitung der Plattform in der Erarbeitung der Fragebögen, welche anschließend in allen Projekten der Modellregion eingesetzt wurden.

Darüber hinaus fand ein methodischer Austausch mit der ESMT (European School of Management and Technology GmbH) statt, welche im Rahmen des Projektes „Marktmodellierung Elektromobilität“ die Aufgabe hatte, eine Kosten-Nutzen-Analyse verschiedener Politikinstrumente für Elektromobilität zu erstellen.

Folgende Konferenzen wurden bisher zur öffentlichen Diskussion der Methoden und Ergebnisse genutzt:

- International Advanced Mobility Forum, Genf, Schweiz (2010)
- Universitätstagung Verkehrswesen, Berlin (2010)
- European Transport Conference, Glasgow, Großbritannien (2010)
- Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geographie (2011)
- Annual Meeting of American Geographers, New York, USA (2012)
- Autoforum VI – Elektromobilität in Berlin-Brandenburg, Berlin (2012)
- Plug-In Conference 2012, San Antonio, USA (2012)
- Transport Research Board Annual Meeting, Washington, USA (2013)

6 Darstellung der erzielten Ergebnisse

6.1 Profil der Teilnehmer(innen)

Im Hinblick auf potentielle Nutzer- / Käufergruppen von Elektrofahrzeugen lässt sich die Stichprobe – zunächst ungeachtet des individuellen Nutzungsverhaltens – vorläufig in drei Profilgruppen differenzieren (vgl. Tab. 6-1).

- **PRIVAT:** private Haushalte mit **überwiegend privater Nutzung** der Versuchsfahrzeuge
- **GEWERBE:** Unternehmen mit **überwiegend geschäftlich-dienstlicher Nutzung** der Versuchsfahrzeuge
- **MIX:** Unternehmen mit einer **gemischten Nutzung** der Versuchsfahrzeuge als Dienstwagen (typische Dienstwagennutzung mit sowohl geschäftlich-dienstlich als auch privat veranlassten Fahrten)

Tab. 6-1: Vorläufige Segmentierung der Stichprobe anhand vorherrschender Wegezwecke

Nutzung	Haushalt: PRIVAT	Unternehmen: MIX	Unternehmen: GEWERBE
vorherrschende Nutzungsform	überwiegend privat	sowohl geschäftlich-dienstlich als auch privat (typische Dienstwagennutzung)	überwiegend geschäftlich-dienstlich
private Wegezwecke	▪ Arbeitsplatz ▪ Ausbildung Schule ▪ Einkauf ▪ Freizeit ▪ Erledigungen	▪ Bringen Holen von Personen ▪ nach Hause	▪ nur gelegentlich private Wege (z. B. am Wochenende)
dienstlich-geschäftliche Wegezwecke	▪ nur gelegentlich geschäftlich-dienstliche Wege	▪ Transport von Waren, Material, Maschinen ▪ Fahrten zu Kunden (Montage, Reparatur, Betreuung) ▪ Bringen Holen von Personen ▪ sonstige geschäftliche dienstliche Erledigungen ▪ Rückfahrt zum eigenen Betrieb Stellplatz	

Tab. 6-2: Zusammensetzung der Stichprobe

Profilgruppe	Privathaushalt			Unternehmen		
	B-BRB*	BS-WOB*	Gesamt	B-BRB*	BS-WOB*	Gesamt
	Versuchsteilnehmer [n]					
PRIVAT	11**	7	18	–	–	–
MIX	–	–	–	1	4	5
GEWERBE	–	–	–	3	3	6
Gesamt	11	7	18	4	7	11

* B-BRB = Region Berlin-Brandenburg; BS-WOB = Region Braunschweig-Wolfsburg

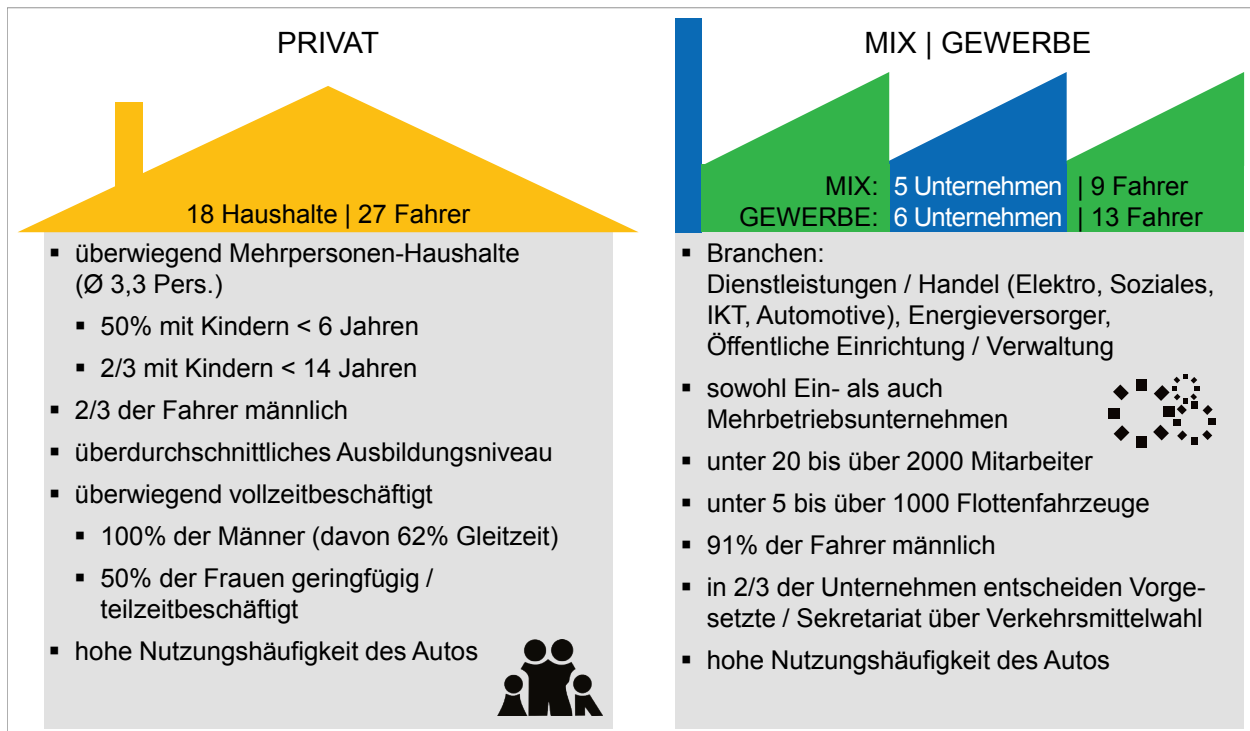
** Eines der Fahrzeuge wurde abwechselnd von 4 verschiedenen Haushalten genutzt, alle anderen Fahrzeuge ausschließlich von einem einzigen Haushalt.

Insbesondere bei den Unternehmen ist eine eindeutige Zuordnung zu einem Profil oft nicht möglich. Die vorläufige Zuordnung erfolgt deshalb anhand qualitativer Äußerungen der Teilnehmer zur jeweiligen Fahrzeugnutzung. Unternehmen, die die Fahrzeuge nach eigener Aussage an Werktagen vor allem geschäftlich-dienstlich sowie lediglich am Wochenende auch für private Fahrten genutzt haben, werden dem Profil „GEWERBE“ zugeordnet. Stand hingegen eine typische Dienstwagennutzung im Vordergrund,

z. B. mit regelmäßigen Fahrten zwischen Wohn- und Arbeitsort und nur gelegentlichen geschäftlich-dienstlich veranlassten Fahrten, erfolgt eine Zuordnung zum Profil „MIX“ (vgl. Tab. 6-2).

Abb. 6-1 zeigt einige Charakteristika der drei Profilgruppen im Überblick.

Abb. 6-1: Übersicht Profilgruppen „PRIVAT“, „MIX“, „GEWERBE“

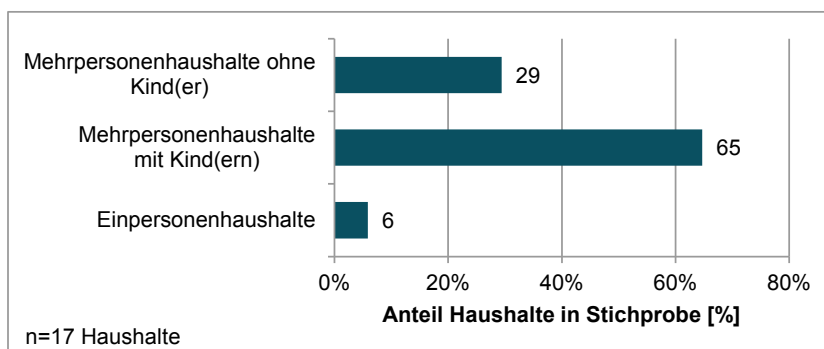


Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Struktur der Privathaushalte

Bei den Privathaushalten handelt es sich überwiegend um Mehrpersonenhaushalte, wobei die durchschnittliche Haushaltsgröße mit 3,3 Personen deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 2,0 Personen liegt (DESTATIS 2012a:41).

Abb. 6-2: Haushaltstypen



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

In knapp zwei Dritteln der Haushalte lebten zu Beginn des Flottenversuchs minderjährige Kinder unter 14 Jahren (65%), in beinahe der Hälfte der Haushalte (47%) auch Kleinkinder unter 6 Jahren. Beim restlichen Drittel (35%) handelt es sich um einen Einpersonenhaushalt sowie Mehrpersonenhaushalte ohne oder mit bereits erwachsenen Kinder(n) (Abb. 6-2).

Branchenzugehörigkeit und Tätigkeitsspektrum der Unternehmen/ Betriebe

Die teilnehmenden Unternehmen/ Betriebe gehören verschiedenen Wirtschaftsbranchen an, vorwiegend dem Bereich öffentlicher oder Verwaltungseinrichtungen oder dem Dienstleistungssektor (Tab. 6-3). Das Produkt-/ Dienstleistungsspektrum ist dementsprechend breit gestreut: Unterrichtung, Betreuung und För-

derung von Menschen unterschiedlichen Alters zu Hause, aber auch in Schulen, Kindergärten, Werkstätten und Wohnheimen, verschiedene Installations-, Wartungs- und Reparaturarbeiten, Energieversorgung, Handel oder Verwaltung.

Tab. 6-3: Branchenzugehörigkeit der Unternehmen

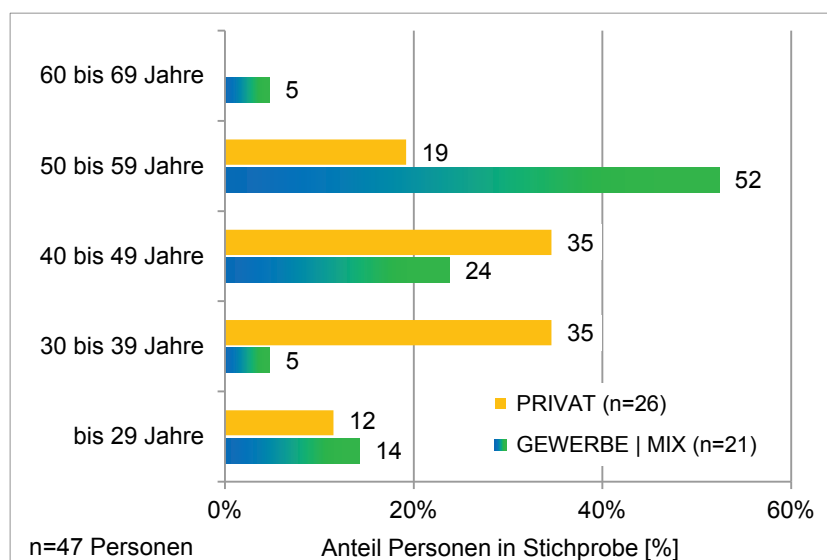
Branche	B-BRB*	BS-WOB*	Gesamt
	Unternehmen, Betriebe [n] Fahrer(innen) [n]		
Öffentliche Einrichtung / Verwaltung	2 4	2 5	4 9
Handel / Dienstleistungen (Automotive)	1 1	1 2	2 3
Energieversorger		2 4	2 4
Dienstleistungen (Elektro)	1 2		1 2
Dienstleistungen (IKT)		1 2	1 2
Dienstleistungen (Soziales)		1 2	1 2
Gesamt	4 7	7 15	11 22

* B-BRB = Region Berlin-Brandenburg; BS-WOB = Region Braunschweig-Wolfsburg

Neben kleineren Unternehmen mit einem einzigen Betriebsstandort gab es auch drei Mehrbetriebsunternehmen; die Zahl der Beschäftigten lag zwischen 14 und 2500 Mitarbeitern.

Alter und Geschlecht der Fahrer(innen)

Abb. 6-3: Alter der Fahrer(innen)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

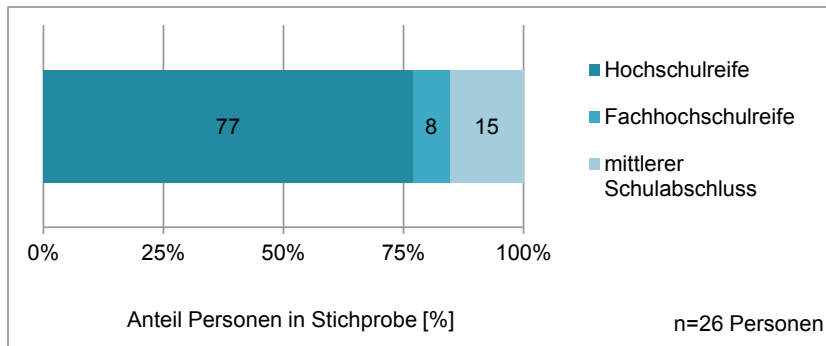
In der Hälfte der Haushalte gab es zwei TwinDRIVE-Fahrer(innen), in den anderen Haushalten war jeweils nur eine einzige Person berechtigt, das Versuchsfahrzeug als Fahrer(in) zu nutzen. Von den insgesamt 27 Fahrer(inne)n waren 17 männlich (63%) und 10 weiblich (37%). Das Durchschnittsalter betrug 41,3 Jahre (Abb. 6-3).

In sieben Betrieben waren jeweils zwei Fahrer(innen) berechtigt, den TwinDRIVE zu nutzen, in jeweils zwei Betrieben waren es drei oder nur ein einziger Fahrer.

91% der betrieblichen Fahrer waren männlich. Ihr Durchschnittsalter betrug 47,2 Jahre (Abb. 6-3).

Ausbildungsniveau der Fahrer(innen)

Abb. 6-4: Höchster allgemeinbildender Schulabschluss der privaten Fahrer(innen)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

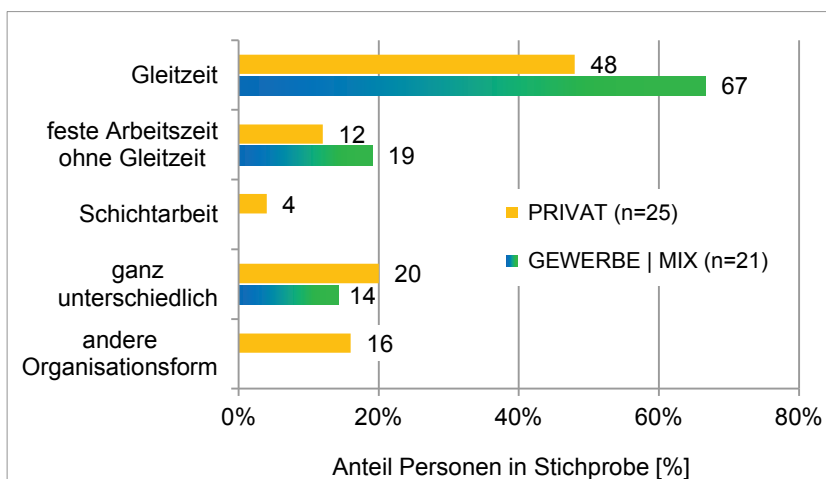
Das allgemeine Ausbildungsniveau der Fahrer(innen) ist überdurchschnittlich, 85% verfügen über die Fachhochschul- oder Hochschulreife (Abb. 6-4), von den entsprechenden Alterskohorten der Gesamtbevölkerung (20 bis unter 60 Jahre, Vergleichsjahr 2011) tun dies nur 34,2% (DESTATIS 2012b:15).

Berufstätigkeit und Arbeitszeitorganisation der Fahrer(innen)

Der überwiegende Teil (79,2%) der privaten Fahrer(innen) war während der Versuchslaufzeit vollzeitbeschäftigt – darunter bis auf einen Studenten alle männlichen Fahrer, der verbleibende Rest ging einer Teilzeitbeschäftigung nach oder befand sich in der Ausbildung (eine Fahrerin). Von den weiblichen Fahrerinnen war nur die eine Hälfte vollzeitbeschäftigt, die andere Hälfte (mit Ausnahme der Auszubildenden)

ging einer geringfügigen oder Teilzeitbeschäftigung nach; dabei handelte es sich in der Regel um Mütter kleiner Kinder.

Abb. 6-5: Arbeitszeitorganisation der Fahrer(innen)



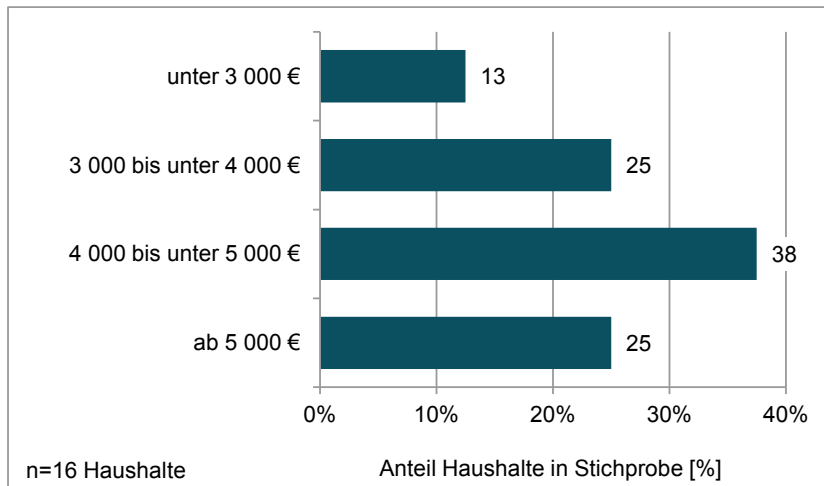
Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Auch bei der Organisation der Arbeitszeiten unterschieden sich Männer und Frauen deutlich: Während zwei Drittel der männlichen Fahrer nach einem Gleitzeitmodell arbeiteten, gestalteten sich die Arbeitszeiten der weiblichen Fahrerinnen eher uneinheitlich, allerdings überwog auch hier das Gleitzeitmodell (Abb. 6-5).

Einkommen der Privathaushalte

Entsprechend der hohen Beschäftigungsquote war auch das monatliche Nettoeinkommen der Haushalte vergleichsweise hoch: So verfügten 63% der teilnehmenden Haushalte über mehr als 4 000 €, lediglich 13% der Haushalte hatten monatlich weniger als 3 000 € zur Verfügung (Abb. 6-6). Abb. 6-7 zeigt das monatliche Haushaltsnettoeinkommen unter Berücksichtigung der Haushaltsgröße.

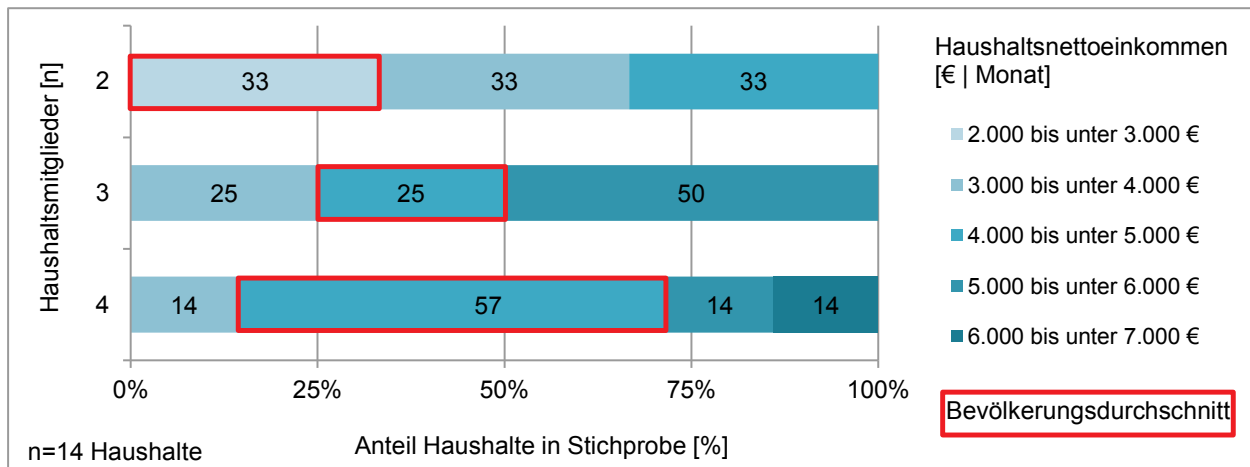
Abb. 6-6: Durchschnittliches monatliches Haushaltsnettoeinkommen



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Das entsprechende durchschnittliche monatliche Haushaltsnettoeinkommen der deutschen Gesamtbevölkerung lag im Jahr 2010 bei rund 2900 €, bezogen auf die jeweiligen Haushaltsgrößengruppen bei 3227 €, in 2-Personen-Haushalten, 4113 € (in 3-Personen-Haushalten) sowie 4548 € (in 4-Personen-Haushalten) (DESTATIS 2012c:30).

Abb. 6-7: Durchschnittliches monatliches Haushaltsnettoeinkommen nach Haushaltsgröße



* Jeweils ein 1-Personen- sowie ein 5-Personen-Haushalt wurden aus Datenschutzgründen nicht dargestellt.

Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Infrastrukturelle Mobilitätsvoraussetzungen, individuelle Autoverfügbarkeit und übliche Nutzung verschiedener Verkehrsmittel

Private Fahrzeugflotte

Ebenso überdurchschnittlich wie das Haushaltsnettoeinkommen war die Ausstattung der privaten Haushalte mit Kraftfahrzeugen: 15 der 17 Haushalte (93,8%) verfügten während der Versuchslaufzeit neben dem TwinDRIVE über mindestens einen Pkw oder Van. In knapp der Hälfte der Haushalte standen zwei Pkw/Vans zur Verfügung, in einem weiteren ein Pkw und ein Motorrad. Zum Vergleich: Sowohl im Bundesdurchschnitt als auch in den entsprechenden drei Bundesländern liegen die Werte deutlich darunter, vor allem in Berlin (Tab. 6-4).

Die Anschaffungskosten der Fahrzeuge betrugen im Schnitt 11 377,50 €.

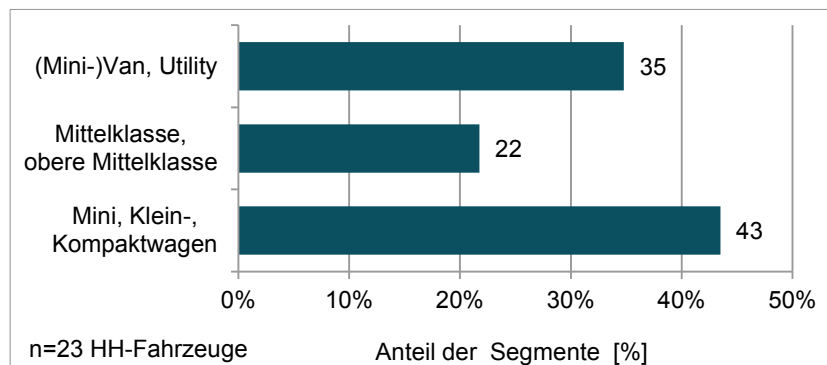
In den Haushalten mit mehreren Fahrzeugen dominiert die Kombination aus einem kleineren und einem größeren Fahrzeug (Mini, Klein- oder Kompaktwagen einerseits, (Mini-)Van, Utility oder Mittelklassefahrzeug andererseits. Die Zusammensetzung der privaten Pkw-/ Van-Flotte nach Fahrzeugsegmenten ist Abb. 6-8 zu entnehmen.

Tab. 6-4: Anzahl der Autos in privaten Haushalten 2008 nach Bundesländern

Anzahl der Autos im Haushalt	Berlin	Brandenburg	Niedersachsen	alle Bundesländer
	[% Haushalte]			
1 Auto	47	50	57	53
2 Auto	11	23	25	24
1 oder 2 Auto(s)	58	73	82	77

Quelle: MiD 2008 (infas, DLR 2010a, S. 49).

Abb. 6-8: Verfügbare Haushaltsfahrzeuge nach Fahrzeugsegment



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Der durchschnittliche Pkw / Van der teilnehmenden Haushalte verfügt über eine Leistung von 76kW (104PS), wurde im Jahr 2004 gebaut und ist seit 2008 im Besitz des Haushaltes. Der Kilometerstand der Fahrzeuge beträgt im Schnitt 112 000 km, die durchschnittliche Jahresfahrleistung liegt bei 16 000 km. Hinsichtlich der Motorleistung entsprechen

die Fahrzeuge dem bundesdeutschen Durchschnitt (infas, DLR 2010b, Abschnitt Autos, S. 11).

Allerdings sind die Fahrzeuge der Teilnehmer im Mittel ein Jahr jünger und zwei Jahre kürzer im Besitz des Haushaltes. Genutzt werden die Fahrzeuge jedoch mehr als im Bundesdurchschnitt: Der aktuelle Kilometerstand liegt in der Stichprobe trotz geringeren Fahrzeugalters um rund 20 000 km über dem Durchschnitt, die jährliche Fahrleistung fällt um rund 1 500 km höher aus.

Angetrieben werden rund 60% der Pkw / Vans mit Benzin, 40% mit Diesel. Daneben gibt es ein gasbetriebenes Fahrzeug. Die Dieselquote ist damit im Vergleich zur bundesweiten Fahrzeugflotte (29%, vgl. KBA 2013a) deutlich höher. Dies hängt jedoch auch mit dem Alter der Fahrzeuge sowie der höheren Verbreitung von Dieselantrieben in jüngerer Zeit zusammen. So ist der Anteil der Dieselfahrzeuge an den Neuzulassungen von 39% in 2003 auf 48% im Jahr 2012 gestiegen (vgl. KBA 2013b).

Über die Hälfte der Fahrzeuge (52%) wird von den Haushalten ausschließlich privat genutzt, ein knappes Drittel (30%) jedoch gelegentlich auch dienstlich.

Über 90% der genutzten Pkw/Vans werden von den Haushalten als sehr zuverlässig oder eher zuverlässig bewertet. Entsprechend hoch fällt die Zufriedenheit mit diesen aus: Gut die Hälfte der Haushalte ist mit ihren Fahrzeugen „sehr zufrieden“, weitere 35% äußern sich als „eher zufrieden“.

Betriebliche Fahrzeugflotte

Die Unternehmen des Flottenversuchs verfügen in ihrer Flotte über zwei bis 120 Pkw, ein Betrieb hat zudem eine Flotte mit knapp über 1 000 Pkw. Zudem sind in vier Betrieben bis zu 10 Lkw vorhanden.

Mit durchschnittlich 3,7 Jahren in der Pkw-Flotte und 4,2 Jahren in der LKW-Flotte sind die betrieblichen Flotten erwartungsgemäß deutlich jünger als die private Flotte. Die durchschnittliche Fahrleistung liegt in der betrieblichen Pkw-Flotte bei 15 250 km, in der Lkw-Flotte bei rund 19 700 km jährlich. In je einem Drittel der Betriebe wird ein Pkw durch einen oder zwei Mitarbeiter genutzt, in zwei Betrieben nutzen vier Mitarbeiter ein Fahrzeug. Der Anteil der Dieselfahrzeuge in der gesamten betrieblichen Fahrzeugflotte

liegt mit knapp 88% deutlich über dem Wert der privaten Flotte. In drei Betrieben werden gemietete Pkw eingesetzt, dabei setzt ein Betrieb zu 90% auf gemietete Pkw.

In 90% der Betriebe ist das Ersetzen von Teilen der Pkw-Flotte durch Elektrofahrzeuge vor dem Flottenversuch vorstellbar. In der Lkw-Flotte ist dies nur in einem Betrieb vorstellbar.

Stellplätze und Lademöglichkeiten

74% der genutzten privaten Fahrzeuge werden üblicherweise auf dem eigenen Grundstück abgestellt (darunter alle niedersächsischen und drei Viertel der brandenburgischen Fahrzeuge), weitere 22% in unmittelbarer Nähe vom Grundstück oder der Wohnung, dort stehen auch zwei Drittel der Berliner Fahrzeuge. Die restlichen Berliner Fahrzeuge werden in weiterer Entfernung vom Grundstück oder der Wohnung oder an unterschiedlichen Stellplätzen geparkt. Auch wenn die häufige Verfügbarkeit von Stellplätzen auf dem eigenen Grundstück nicht zuletzt auf die gezielte Rekrutierung der teilnehmenden Haushalte zurückzuführen ist, die über eine geeignete Möglichkeit zum privaten Laden verfügen sollten, entspricht die Lage der Stellplätze in etwa dem bundesdeutschen Durchschnitt (69,9% auf eigenem Grundstück, 26,4% in der Nähe) (infas, DLR 2010b, Abschnitt Autos, S. 13).

Den meisten Haushalten stand während der Versuchslaufzeit eine Lademöglichkeit auf dem eigenen Grundstück zur Verfügung. Für einen, von vier Haushalten abwechselnd genutzten TwinDRIVE wurde am gemeinsamen Arbeitsplatz der Fahrer(innen) eine Ladesäule bereitgestellt. Einem weiteren Haushalt stand ein separater Stellplatz mit Ladesäule in der Nähe der Wohnung zur Verfügung.

In den Betrieben⁵ werden vorhandene Pkw und Lkw überwiegend auf dem eigenen Betriebsgelände abgestellt, in je einem Fall in einem Parkhaus/ einer Tiefgarage oder im öffentlichen Straßenraum. Sofern Mitarbeiter(inne)n betriebliche Fahrzeuge mit nach Hause nehmen, werden diese auf Privatgrundstücken abgestellt.

Für die betrieblich genutzten TwinDRIVE stand an allen Betriebsstandorten eine Lademöglichkeit zur Verfügung, in Einzelfällen auch bei den Mitarbeitern zu Hause. In zwei Betrieben war bereits vor Beginn des Flottenversuchs eine Ladestation für Elektrofahrzeuge vorhanden.

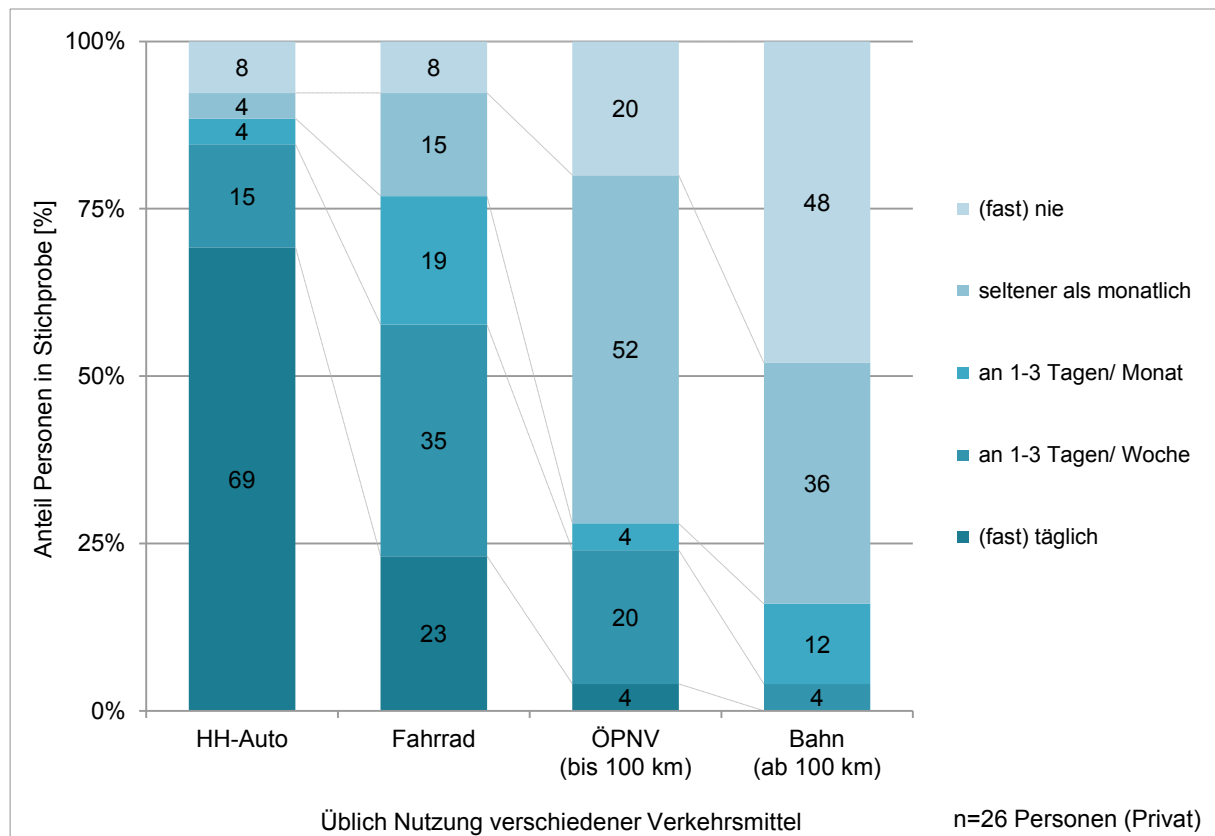
Individuelle Verfügbarkeit der Fahrzeuge und übliche Nutzung von Verkehrsmitteln

Ungeachtet der Verfügbarkeit der Versuchsfahrzeuge kann zu Beginn des Versuches die überwiegende Mehrheit der privaten Fahrer(innen) (83%) jederzeit als Fahrer(in) über ein Auto verfügen, der verbleibende Rest immerhin noch gelegentlich. Auf ähnlich hohem Niveau kann auch die Mehrheit der betrieblichen Fahrer(innen) (71%) jederzeit als Fahrer(in) über ein Firmenauto verfügen, der verbleibende Rest immerhin noch gelegentlich.

Entsprechend ausgeprägt ist die Nutzungshäufigkeit eines Autos sowohl im privaten als auch betrieblichen Kontext: 69% der privaten Fahrer(innen) nutzen es beinahe täglich, weitere 15% an bis zu drei Tagen in der Woche. Deutlich niedriger fällt demgegenüber die übliche Nutzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) aus: 72% der privaten Fahrer(innen), vor allem die täglichen Autofahrer(innen), nutzen Busse und Bahnen in der Region bis 100 km seltener als monatlich oder nie. Nur ein Fünftel der Fahrer(innen) nutzt neben dem eigenen Fahrzeug auch öffentliche Verkehrsmittel mindestens wöchentlich. Das Fahrrad hingegen kommt bei immerhin 58% der Fahrer(innen) an 1-3 Tagen der Woche oder sogar täglich zum Einsatz (Abb. 6-9).

⁵ Nur für 6 von 11 Betrieben liegen Angaben zu Stellplätzen vor.

Abb. 6-9: Übliche Nutzung verschiedener Verkehrsmittel durch private Fahrer(innen)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

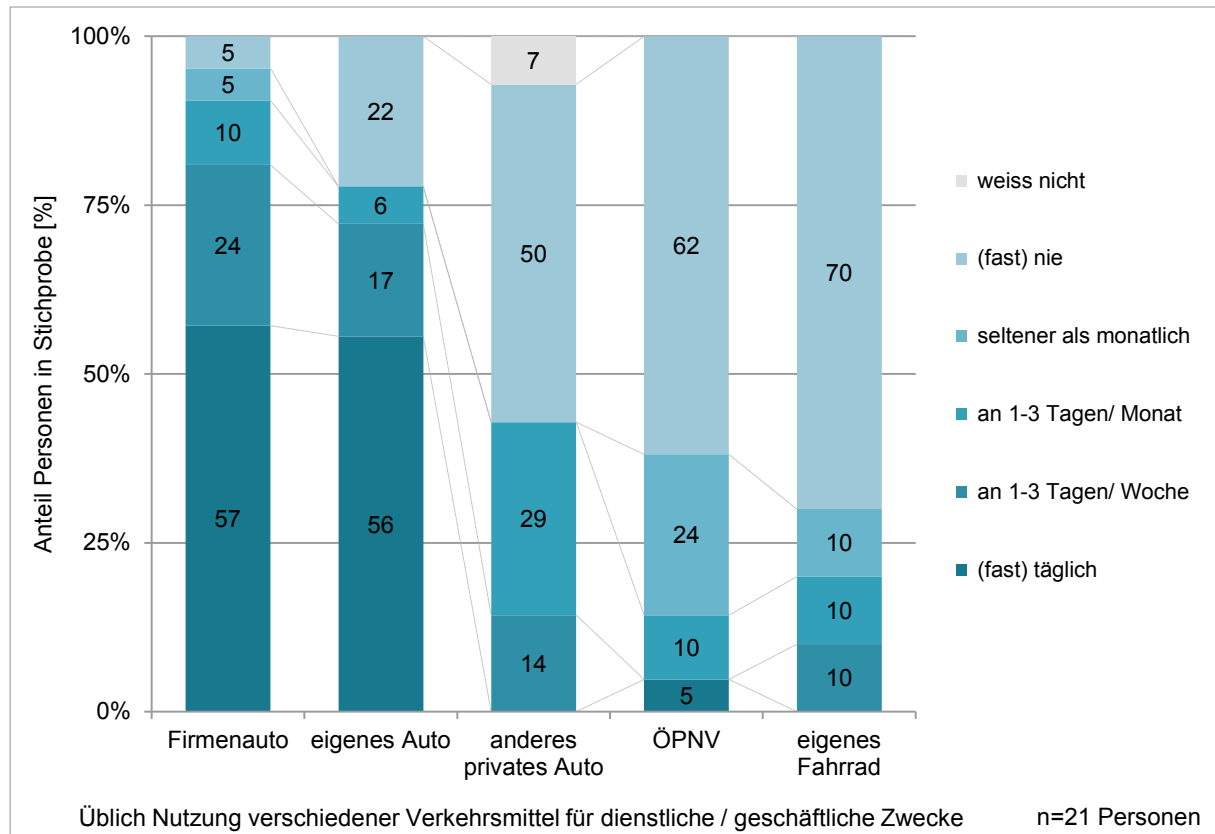
Von den betrieblichen Fahrer(inne)n nutzen 56% das eigene Auto sowie 56% ein Firmenauto beinahe täglich, weitere 24% bzw. 17% an bis zu drei Tagen in der Woche. Noch deutlich geringer als bei den privaten Fahrer(inne)n fällt die übliche Nutzung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) aus: 86% der betrieblichen Fahrer(innen) nutzen öffentliche Verkehrsmittel im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit seltener als monatlich oder nie (Abb. 6-10). Diese Werte stehen im Einklang mit Ergebnissen der Befragung „MiD 2008“: Von den beobachteten dienstlichen Wegen wurden rund 87,6% mit dem MIV zurückgelegt (infas, DLR 2010b, Abschnitt ‚Wege‘, S. 25).

Durchschnittlich legen die betrieblichen Fahrer(innen) mit einem dienstlichen Pkw rund 15859 km jährlich zurück, mit einem privaten Pkw 15951 km.

Bei den betrieblichen Tourenmustern überwiegen Kreis- und Sternmuster mit gleichem Start- und Zielort (vgl. Abb. 6-11). Dabei kommen in fast allen Betrieben beide Tourenmuster vor, insgesamt werden deutlich mehr Fahrzeuge in Kreismustern bewegt. Bei Touren längerer Dauer und/oder weiterer Entfernung entfällt unter Umständen die Möglichkeit zwischenzeitlicher Wiederaufladungen, sofern nicht unterwegs geeignete Lademöglichkeiten bestehen, beispielsweise an Kundenstandorten oder öffentlich zugänglichen Ladestationen.

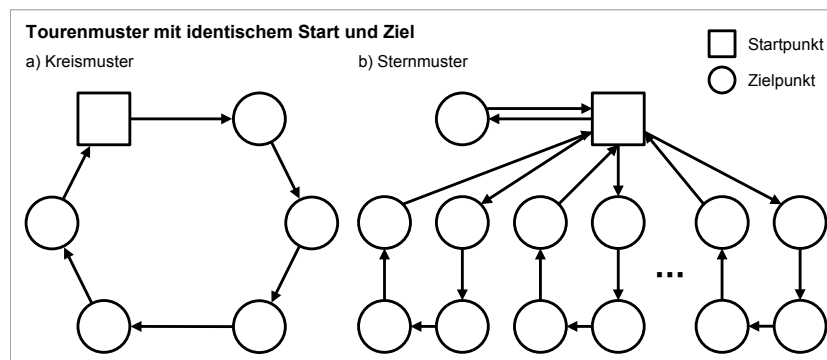
In nur einem Betrieb sind Start- und Zielort in beiden Mustern unterschiedlich. Ein Drittel der Unternehmen verwendet zur Planung der Touren Dispositions- oder Tourenplanungssoftware. In fünf Betrieben werden Touren (auch) manuell geplant, in einem Drittel der Unternehmen hingegen erfolgt keine besondere Tourenplanung. Navigationsgeräte, fest installiert oder mobil, werden in allen Betrieben genutzt. In einem Drittel werden zudem analoge Karten zur Navigation der Fahrzeuge genutzt.

Abb. 6-10: Übliche Nutzung verschiedener Verkehrsmittel durch betriebliche Fahrer(innen) (nur dienstliche/ geschäftliche Zwecke)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-11: Dominierende Tourenmuster der Betriebe



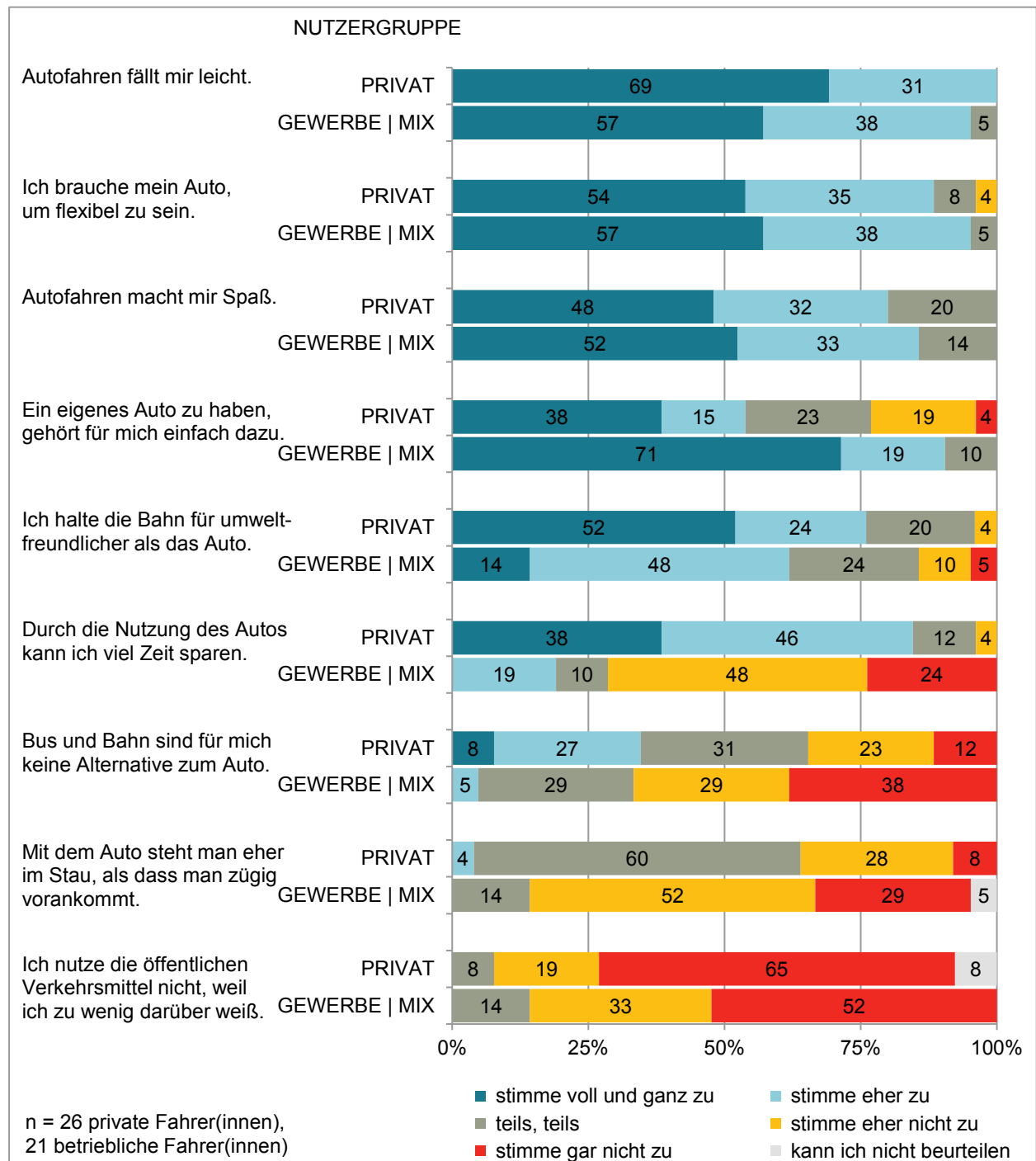
Quelle: RUAN et al (2010), S. 5f. Veränderte Darstellung.

Die Entscheidung über die Verkehrsmittelwahl bei dienstlichen Wegen wird in zwei Dritteln der Betriebe durch Vorgesetzte oder das Sekretariat getroffen, in einem Drittel der Betriebe liegt die Entscheidung bei den Beschäftigten. Wichtigste Kriterien für die Verkehrsmittelwahlentscheidung sind Zeit und Kosten. In knapp der Hälfte der Betriebe gibt es diesbezügliche Unternehmensrichtlinien.

Sowohl die privaten als auch die betrieblichen Fahrer(innen) sind als pragmatische Nutzer des Autos einzuschätzen, denen Autofahren nicht zuletzt Spaß macht (Abb. 6-12).

Die Vorteile des Autofahrens liegen nach Meinung der Befragten vor allem in der großen Unabhängigkeit, gefolgt vom allgemeinen Fahrvergnügen und der Ungestörtheit (Ruhe, Alleinsein), die man, anders als im öffentlichen Nahverkehr, habe. Auch die Zeitersparnis spielt eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Als störend werden hingegen andere Verkehrsteilnehmer oder einschränkende Verkehrssituationen wie beispielsweise Stau erachtet. Auch längere und damit gleichermaßen monotone wie anstrengende Fahrten schmälern die Freude am Fahren, ebenso wie hohe Benzinkosten.

Abb. 6-12: Aussagen zum motorisierten Verkehr



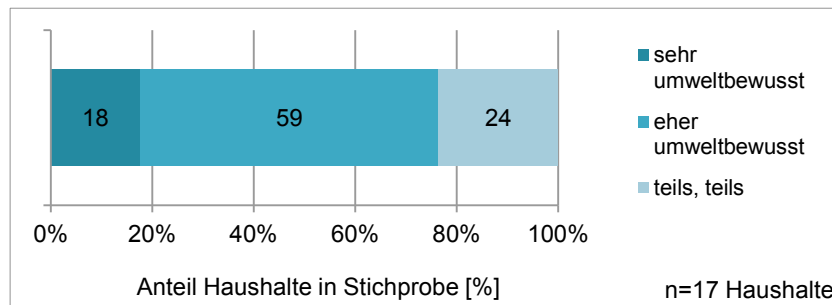
Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Bedingt durch die breite Verfügbarkeit haushaltseigener Autos spielt die Nutzung von Car-Sharing eine untergeordnete Rolle. Auch wenn fast 90% der Fahrer(innen) diese Mobilitätsoption grundsätzlich bekannt ist, haben bislang nur 10% entsprechende Angebote auch schon selbst genutzt. Immerhin rund 30% der Fahrer(innen) können sich jedoch in diesem Zusammenhang vorstellen, das eigene oder ein anderes der im Haushalt vorhandenen Fahrzeuge durch die Nutzung von Car-Sharing zu ersetzen.

Umweltbewusstsein

Direkt gefragt, schätzt sich die Mehrheit der Haushalte selbst als „sehr“ oder „eher umweltbewusst“ ein (Abb. 6-13). Eine direkte Umsetzung der umweltbewussten Einstellung in Verhalten, z. B. den Bezug von „Öko“-Strom, ist jedoch nur bei rund der Hälfte der Haushalte gegeben, die andere Hälfte tut dies nicht, kann es sich jedoch grundsätzlich vorstellen. Hinsichtlich der Durchführung von auf den Klimaschutz zielen-

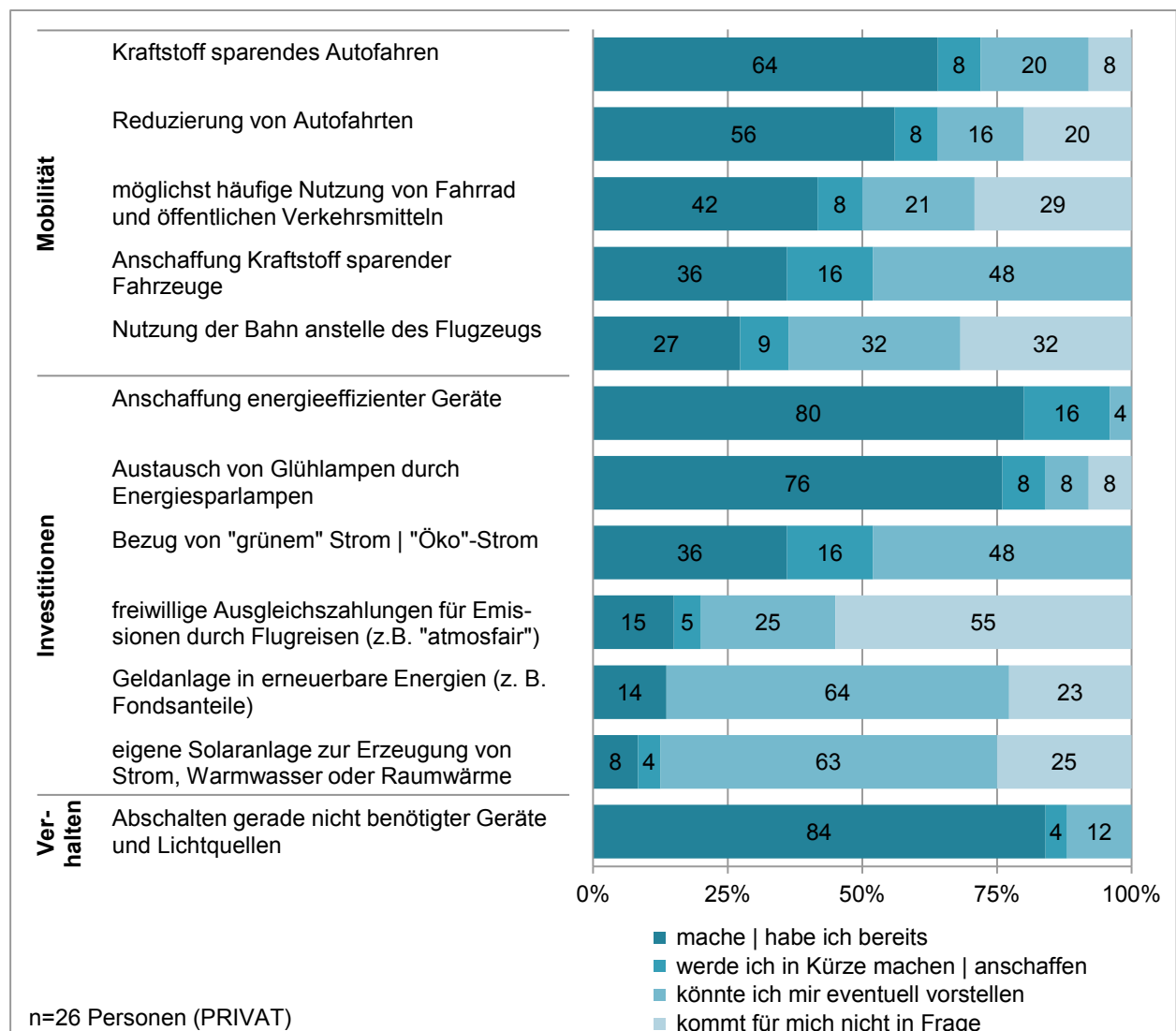
Abb. 6-13: Umweltbewusstsein der Haushalte (Selbsteinschätzung)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Haushalt zeigen sich Personen aus nach eigener Aussage umweltbewussteren Haushalten tendenziell engagierter, vor allem wenn damit unmittelbare Kostenreduzierungen verbunden sind: es wird Kraftstoff sparend gefahren oder versucht, auf einzelne Autofahrten zu verzichten (vgl. Abb. 6-14).

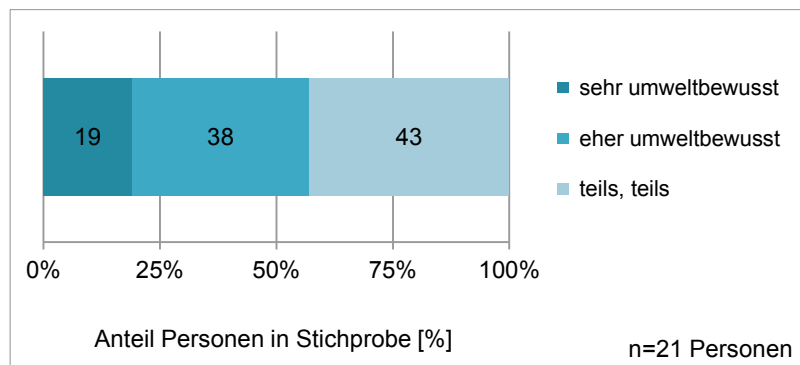
Abb. 6-14: Klimaschutzmaßnahmen in privaten Haushalten



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Insbesondere Personen aus den nach eigenem Verständnis umweltbewussteren Haushalten zeigen sich bereit, höhere Anschaffungskosten für Elektrogeräte mit niedrigem Energieverbrauch generell in Kauf zu nehmen oder diese zu akzeptieren, wenn sie sich über längere Zeit amortisieren.

Abb. 6-15: Umweltbewusstsein der Betriebe (Fahrereinschätzung)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Nicht ganz so ausgeprägt wie bei den privaten Haushalten wird aus Sicht der Fahrer(innen) das Umweltbewusstsein der Betriebe eingeschätzt, wobei aber immer noch mehr als der Hälfte bescheinigt wird, mindestens „eher umweltbewusst“ zu sein (Abb. 6-15). Zum Teil äußert sich dies in betrieblichen Vorgaben zum ökonomischen (= Kraftstoff sparenden) Fahren: Drei Be-

triebe weisen ihre Fahrer hierzu explizit an, in zwei weiteren ist die Einführung entsprechender Vorgaben geplant. In zwei Betrieben mit Vorgaben zur Kraftstoff sparenden Fahrweise finden auch regelmäßig Trainings zum ökologischen / ökonomischen Fahren statt, wobei in einem dieser Betriebe die Teilnahme verpflichtend ist. Nur drei der Betriebe beziehen derzeit „Öko“-Strom, zwei weitere können sich dies vorstellen.

(Vor-)Kenntnisse und Einstellungen zur Elektromobilität

Die Versuchsteilnehmer(innen) gingen nicht ohne Vorwissen, Erwartungen und Einstellungen, in der Regel jedoch positiv gestimmt in den Flottenversuch.

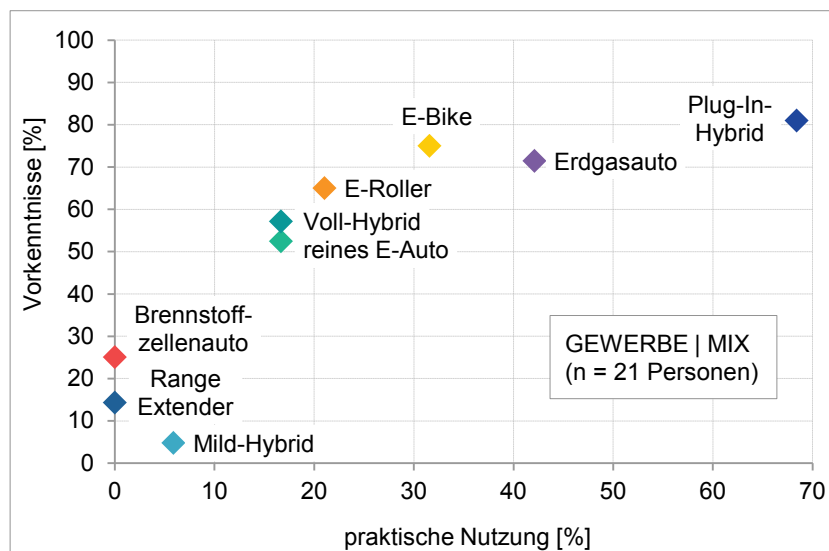
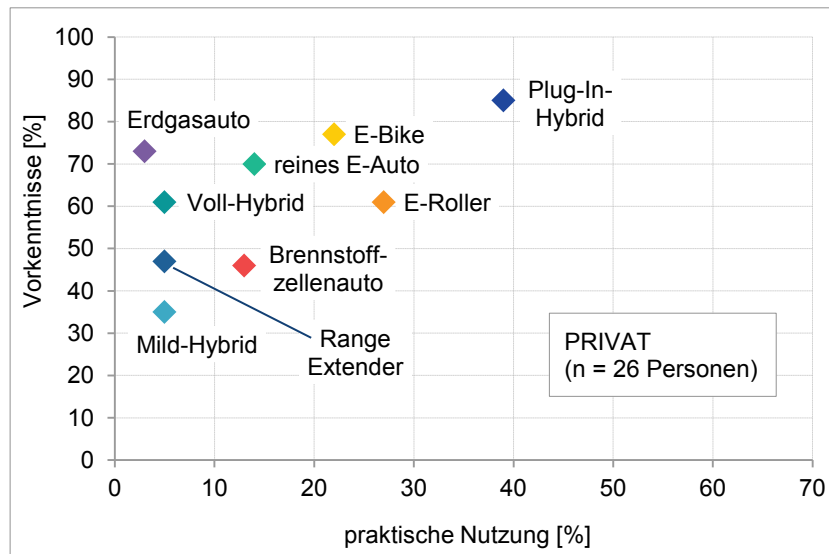
Zu Beginn des Flottenversuchs wurden alle Teilnehmer zu ihren fahrzeugbezogenen Vorkenntnissen sowie zu den ggf. damit verbundenen praktischen Erfahrungen befragt (Abb. 6-16). Am verbreitetsten sind Kenntnisse zum Plug-In-Hybridauto: Knapp 58% der privaten Teilnehmer(innen) geben an, mindestens eine ungefähre Vorstellung von der Funktionsweise dieser Fahrzeuge zu haben. Immerhin 27% verfügen sogar über detaillierte Kenntnisse. Dies wird jedoch vor allem auf die Informationen im Rahmen der Fahrzeugeinweisung zurückzuführen sein. Ebenfalls vertraut ist der Großteil der Teilnehmer mit Elektrofahrrädern (Pedelects, E-Bikes) und gasbetriebenen Autos (CNG, LPG), von denen rund drei Viertel mindestens eine ungefähre Vorstellung haben. Etwas weniger bekannt hingegen sind Voll-Hybridautos, reine Elektroautos und Elektroroller. Brennstoffzellenautos und Fahrzeuge mit Range-Extender schließlich sind so gut wie unbekannt: die Mehrzahl kennt diese Fahrzeuge gar nicht oder hat im besten Fall schon einmal davon gehört.

Diesen Vorkenntnissen stehen jedoch nicht notwendigerweise in gleichem Umfang eigene praktische Nutzungserfahrungen gegenüber (Ausnahme: TwinDRIVE/ Plug-In-Hybridauto). Nur ein Drittel der privaten Fahrer(innen) hat Erfahrung mit gasbetriebenen Fahrzeugen. Elektroroller wurden von gut einem Viertel und Elektrofahrräder von gut einem Fünftel bereits schon einmal genutzt. Nur fünf der Teilnehmer haben Erfahrung mit reinen Elektroautos und/oder Brennstoffzellenautos, was zum Teil auch auf deren beruflichen Hintergründen beruhen dürfte.

In Abb. 6-16 werden die unterschiedlichen Vorkenntnisse hinsichtlich alternativer Antriebskonzepte deutlich. So haben die gewerblichen Nutzer(innen) wesentlich häufiger praktische Erfahrung mit Plug-in-Hybrid- und Erdgasfahrzeugen gemacht, Vorkenntnisse zum Brennstoffzellenauto, Mild-Hybrid und Range Extender sind hingegen bei privaten Nutzer(inne)n verbreiteter.

Ungeachtet der (zu Beginn des Flottenversuches) begrenzten praktischen Erfahrungen haben die Teilnehmer(innen) jedoch zu verschiedenen Aspekten der Elektromobilität durchaus eine Meinung.

Abb. 6-16: Vorkenntnisse zu und praktische Erfahrungen mit verschiedenen Fahrzeugtypen*



* „Vorkenntnisse“ = Zusammenfassung der Nennungen „detaillierte Kenntnisse“ oder eine „ungefähre Vorstellung“ (Phase 1 / Beginn Flottenversuch)

Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Ein Großteil der Nutzer(innen) sah den praktischen Erfahrungen optimistisch entgegen. Vor allem die privaten Fahrer(innen) äußerten kaum grundsätzliche Bedenken gegenüber der für sie neuen Technologie (Abb. 6-17). Hinsichtlich eines angenommenen erhöhten Unfallrisikos aufgrund geringerer Fahrgeräusche bei langsamen Geschwindigkeiten zeigten die Teilnehmer(innen) jedoch ein deutliches Problembewusstsein, was sich im Verlauf des Versuches deutlich im individuellen Fahrverhalten niederschlagen sollte (Abb. 6-17) (vgl. Abschnitt 6.2.3).

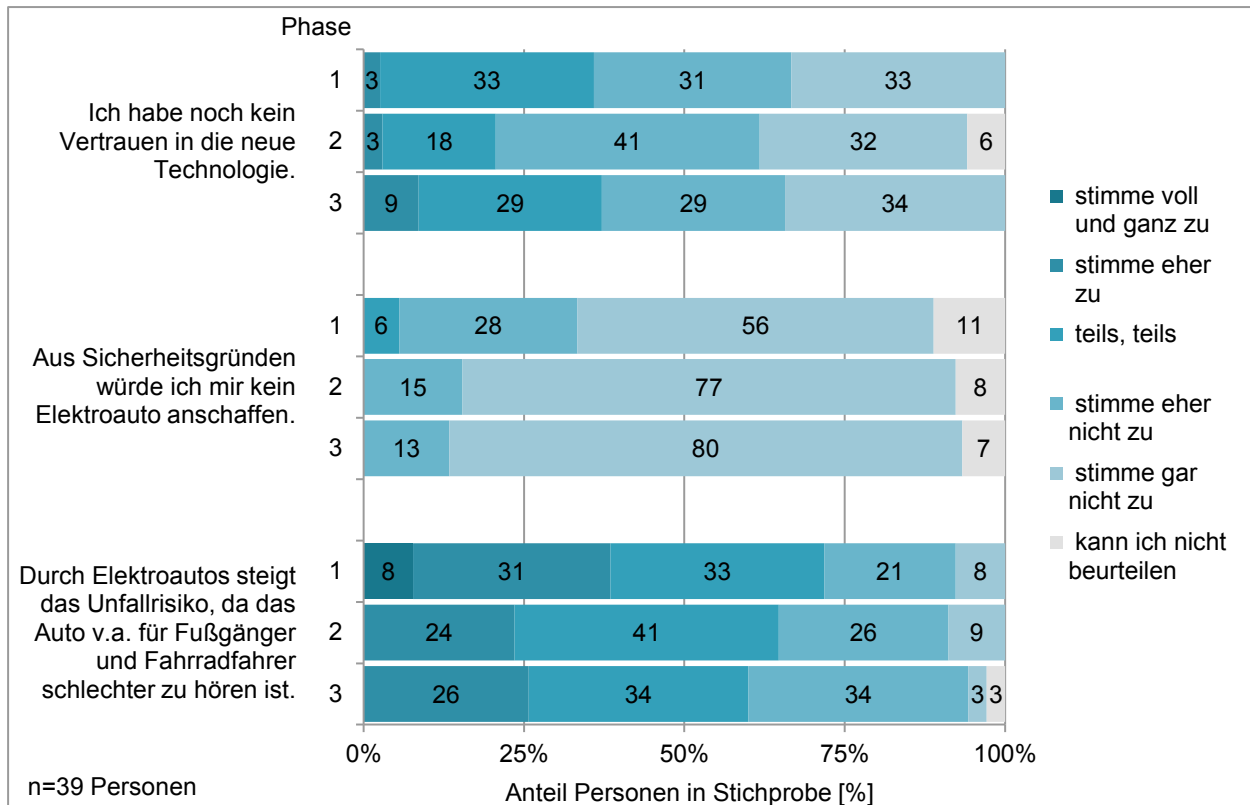
Auch die praktische Umstellung auf ein Plug-In-Hybridauto wurde überwiegend als unproblematisch angesehen (Abb. 6-18). Lediglich die Tatsache, dass es sich beim TwinDRIVE um einen noch nicht serienreifen Prototypen handelte sowie erwartete lange Ladezeiten wurden zunächst mit einiger Skepsis betrachtet. Während die privaten Fahrer(innen) von Beginn an davon ausgehen, dass sie die Batterie problemlos über Nacht aufladen

können, setzt sich diese Auffassung bei den betrieblichen Fahrer(innen) erst mit zunehmender Nutzungserfahrung durch. Durch potenziell lange Ladezeiten sehen sich jedoch alle Fahrer(innen) gleichermaßen etwas in ihrer Flexibilität eingeschränkt.

Erwartungen an die Versuchsfahrzeuge

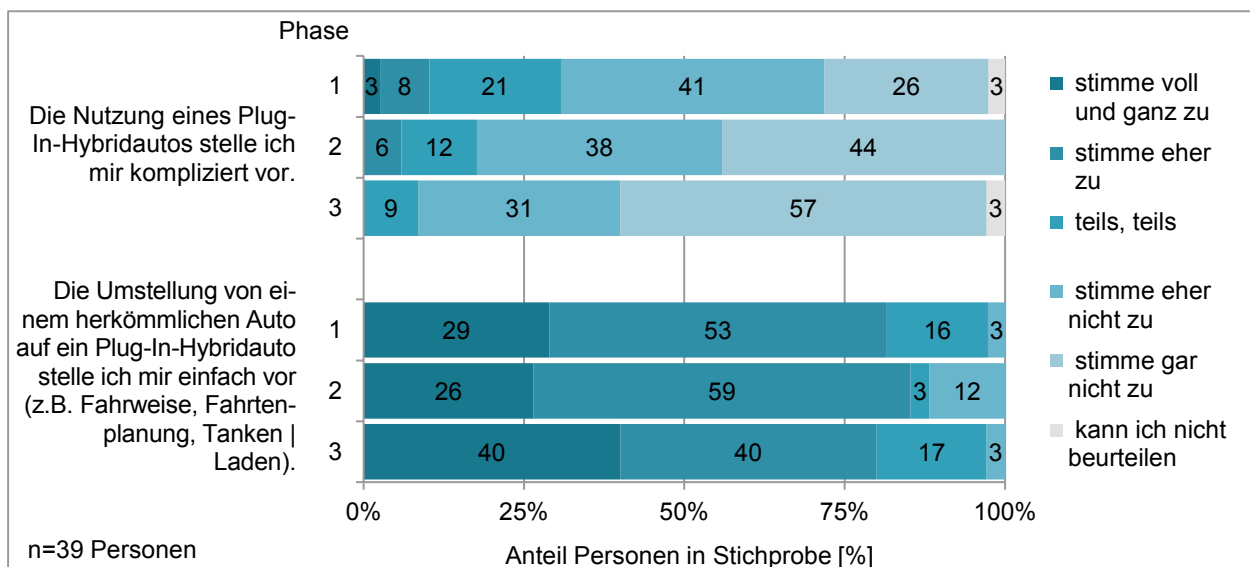
Die Ansprüche an Elektroautos hinsichtlich Alltagstauglichkeit und Reichweite entsprechen im Wesentlichen jenen an herkömmliche Autos (Abb. 6-19). Vor allem bei den privaten Fahrer(inne)n relativiert sich im Verlauf des Flottenversuchs der Anspruch an eine generelle Alltagstauglichkeit für alle denkbaren Einsatzgelegenheiten leicht.

Abb. 6-17: Aussagen zu Elektromobilität – Sicherheit



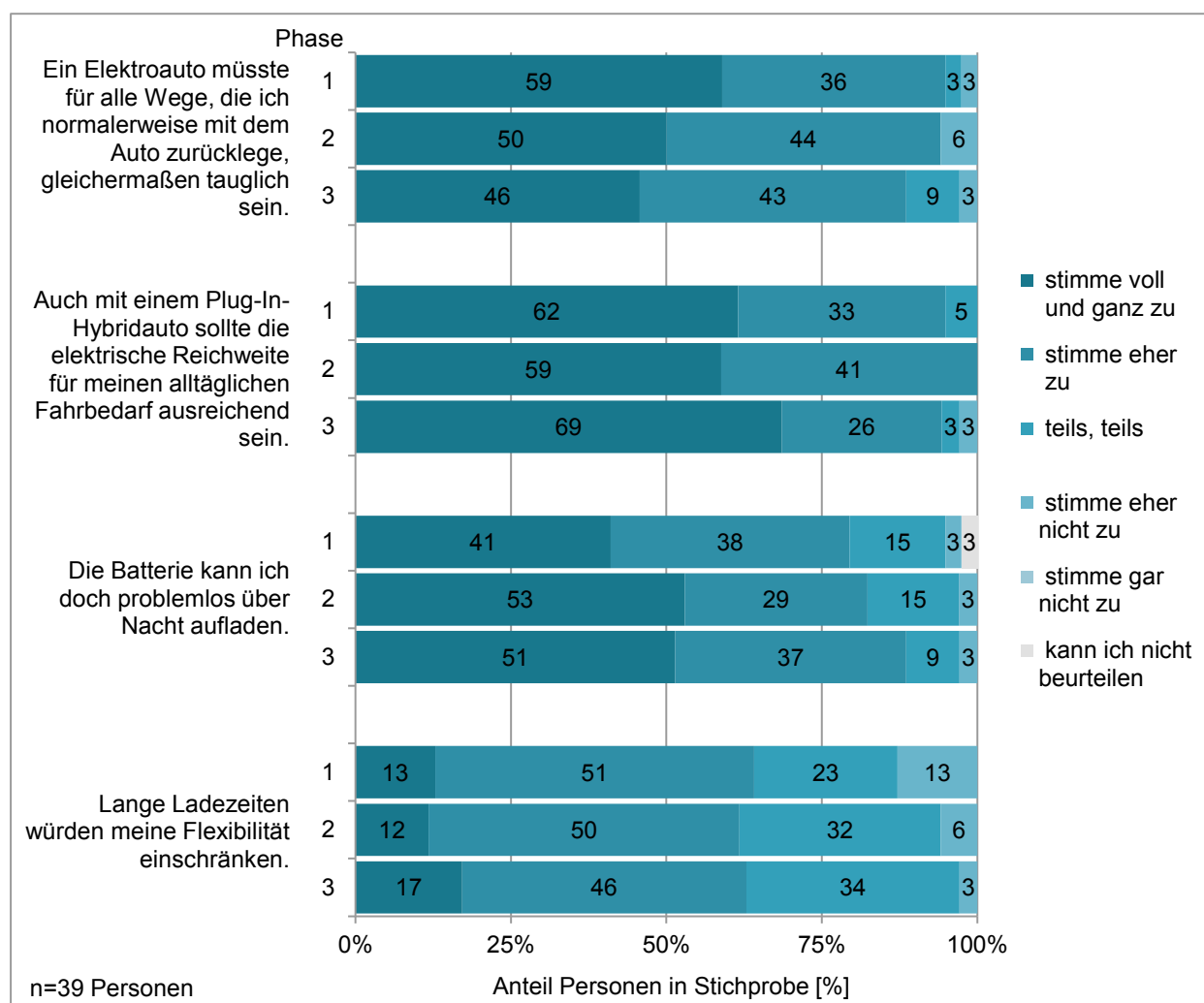
Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-18: Aussagen zu Elektromobilität – Umstellung auf Plug-In-Hybridauto



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-19: Aussagen zu Elektromobilität – Reichweite und Aufladung



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Die positiven Erwartungen und Hoffnungen sowohl der Betriebe als auch der privaten Haushalte richteten sich vor allem auf die Aspekte „Kosten“, „Umwelt“ und „Fahrgefühl“.

Zum einen wurden finanzielle Vorteile durch geringere laufende Kosten aufgrund geringeren Kraftstoffverbrauchs sowie vergleichsweise niedrigerer Stromkosten erwartet. Auch geringere Wartungskosten wurden für möglich gehalten. Entsprechend bestand bei einigen Teilnehmer(inne)n der explizite Wunsch, die tatsächlich realisierten Kosten, vor allem die laufenden Verbrauchskosten für Strom, stets zeitnah selbst ermitteln zu können.

„Die sind für eine bestimmte Zeit von der Kfz-Steuer befreit. Es entfallen – bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen – die üblichen Betriebsstoffe wie Öl und aufwändige Wartung. Vielleicht gibt es da für die E-Motor-Seite auch Sachen, die gemacht werden müssen, aber rein vom Gefühl her würde ich den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand für etwas geringer halten. Und dann eben die reinen Treibstoffkosten: Ich würde mal vermuten, dass die [...] stärker steigen werden als der Strompreis – da kann man schon eine Menge einsparen.“

„[...] Was für mich weiterhin im Dunkeln blieb: Wie viel hat man denn jetzt gespart? Das ist für mich nicht so klar herausgekommen, [...] kein Gefühl [da] für bekommen.“

Versuchsbedingt war dies jedoch nicht unmittelbar möglich, da weder an den nicht-intelligenten Ladeeinrichtungen noch im fahrzeugseitigen Informationssystem Kosteninformationen vorgesehen waren.

Darüber hinaus sollte aus Sicht der Versuchsteilnehmer(innen) eine gute Finanzierbarkeit von Elektrofahrzeugen generell gegeben sein. Die Erwartung richtet sich dabei auf einen für das indivi-

„Die Hersteller müssen finanzierbare Autos vorlegen – ein gewisser Aufpreis darf da sein.“

duelle Budget akzeptablen Kaufpreis, wobei in einem gewissen Rahmen mit einem Aufpreis gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen gerechnet wird. Dieser Aufpreis solle jedoch nicht zu hoch sein und sich über geringere laufende Unterhaltskosten amortisieren.

Nur fünf Teilnehmer(innen) sahen zunächst das Fahren mit dem TwinDRIVE in Verbindung mit umweltfreundlicherem, ökologischeren Fahren. Vornehmlich im gewerblichen Segment gehe es vermehrt um Imagegründe als um den „tatsächlichen“ Umweltschutz. Im privaten Bereich hingegen wurde das „gute Gewissen“ als Antriebsfaktor zur Nutzung der Elektro-

„Wenn ich schon so ein Auto kaufe, möchte ich auch aus Umweltschutzgründen möglichst viel elektrisch fahren.“

mobilität genannt, welches man sich durch die vermutete Schonung der Umwelt erhoffe. Entsprechend möchten die Nutzer(innen) auch mit einem Plug-In-Hybridauto vor allem elektrisch fahren, selbst, wenn sie prinzipiell jederzeit auf den Verbrennungsmotor zurückgreifen könnten.

„Die Verringerung meines schlechten Gewissens, wenn ich Auto fahre – ganz klar, das ist der Hauptgrund. Da müsste ich mich finanziell enorm strecken, und das mache ich nur, damit ich mich moralisch besser fühle. Ganz ehrlich.“

Demgegenüber sahen einige der Teilnehmer(innen) die Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen durchaus kritisch. Zum einen verhindere vor allem der auf Langstrecken erforderliche Einsatz des Verbrennungsmotors einen für die Umwelt positiven Effekt. In diesem Zusammenhang wurde insbesondere dessen als „zu hoch“ empfundener Kraftstoffverbrauch als problematisch angesehen. Zum anderen müsse für eine positive Umweltbilanz der Strom zum Aufladen der Batterie aus regenerativen Quellen stammen, da andere Stromquellen ihrerseits Emissionen verursachen würden. Weitere Unsicherheit hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit zeigte sich im Hinblick auf Herstellung und Entsorgung der Batterien, welche noch nicht geklärt seien.

„[...] habe dann nicht das Gefühl, dass ich was für die Umwelt oder das Portemonnaie getan habe. [...] wenn ich 160 km mit dem Verbrenner fahre, dann kann ich auch gleich mit dem Verbrenner fahren. Da kommt es auf die 40 km nicht an.“

Bedenken gab es im Hinblick auf eine gewisse Unzuverlässigkeit der Versuchsfahrzeuge, da infolge angenommener fehlender Marktreife technische Defekte oder Pannen erwartet wurden. Seitens der Betriebe wurde zudem Befürchtungen hinsichtlich (zu) langer Ladezeiten mit den dafür erforderlichen Standzeiten genannt. Abgesehen davon hatte die Mehrheit der befragten Fahrer(innen) keine Bedenken hinsichtlich der Nutzung des TwinDRIVE.

Nicht zuletzt würde ein neues Zukunftskonzept umweltfreundlichen Fahrens im Alltag getestet werden können. Dies galt besonders hinsichtlich des Kennenlernens und Verstehens der neuen Technologie. Besonders aber wurde im Hinblick auf die erwartete Geräuscharmheit ein neues Fahrgefühl erhofft, dass entspanntes und ruhigeres Fahren versprach.

FAZIT „NUTZER“

Die Versuchsteilnehmer wurden aus 18 Haushalten und 11 Unternehmen rekrutiert. Insgesamt nahmen 49 Fahrer(innen) aus den Regionen Braunschweig-Wolfsburg und Berlin-Brandenburg am Versuch teil. Für die Nutzungsanalyse wurden drei Profilgruppen mit jeweils unterschiedlichen Anforderungen an Elektrofahrzeuge gebildet: PRIVAT, GEWERBE und MIX, welche Nutzern von so genannten Dienstwagen entsprechen.

Private Haushalte sind dabei eher Mehrpersonenhaushalte mit Kindern. 79% der Privatpersonen gingen einer Vollzeitbeschäftigung nach. Die berechtigten Fahrer waren zu 63% männlich und 37% weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 41 Jahre.

Die Unternehmen konstituierten sich aus verschiedenen Dienstleistungsbereichen. Der Anteil der männlichen Fahrer betrug hier 91%. Das Durchschnittsalter lag mit 47 Jahren leicht über den privaten Versuchsteilnehmern.

Im Versuchsverlauf konnten folgende Erfahrungen der Nutzer zusammengefasst werden:

Auch ein Plug-In Hybrid sollte es ermöglichen, alle alltäglichen Wege elektrisch zu realisieren. Dies war bei den Versuchsteilnehmern nicht immer der Fall. Das Laden des Fahrzeugs wurde dabei weitestgehend als problemlos empfunden, jedoch sollte der Ladevorgang beschleunigt werden, da es die Flexibilität der Nutzer(innen) subjektiv einschränkt.

Das Sicherheitsempfinden bei der Nutzung des TwinDRIVEs stieg im Versuchsverlauf an, während Erwartungen eines erhöhten Unfallrisikos mit Fußgängern durch geringere Fahrgeräusche über die Zeit abnahmen. Das Fahrzeug wurde in seiner alltäglichen Nutzung als unproblematisch empfunden, und die Umstellung auf ein Plug-In-Hybridfahrzeug gelang den Teilnehmer(inne)n einfacher als vor Versuchsbeginn erwartet.

Die positiven Erwartungen an die Nutzung von Plug-In-Hybridfahrzeugen sowohl der gewerblichen als auch der privaten Versuchsteilnehmer(innen) richteten sich vor allem auf die Aspekte „Kosten“, „Umwelt“ und „Fahrgefühl“.

6.2 Fahren mit dem TwinDRIVE

6.2.1 Mobilitätskennziffern

Die mehr als einjährige Feldphase des Flottenversuchs begann am 28.6.2011 und endete mit den Fahrten der letzten Nutzer(innen) am 24.7.2012. Insgesamt legten 49 Personen mit den 20 bereitgestellten TwinDRIVE-Versuchsfahrzeugen auf 14 516 Fahrten 214 017 km zurück. In Summe würden alle ‚Fahrtage‘, an denen der TwinDRIVE mindestens einmal bewegt wurde, einen Betrachtungszeitraum von knapp 9 Jahren ergeben. Dies ermöglichte eine detaillierte Auswertung des Fahrverhaltens der verschiedenen TwinDRIVE-Nutzer(innen), deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegmenten – Überblick

Die zentralen Mobilitätskennziffern aller Nutzer(innen) sowie der drei Nutzungssegmente PRIVAT, MIX und GEWERBE sind der Tab. 6-5 zu entnehmen.

Tab. 6-5: TwinDRIVE-Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegment: Überblick

	PRIVAT	MIX	GEWERBE	GESAMT
Anzahl Fahrten [n]	8 473	2 143	3 900	14 516
Gesamtfahrleistung [km]	124 199	39 778	50 040	214 017
Fahrtage (mindestens eine TwinDRIVE-Fahrt) [n]	1 976	511	764	3 251
Ø TwinDRIVE-Fahrten [n / Fahrtag]	4,3	4,2	5,1	4,5
Ø Tagesstrecke [km / Fahrtag]	62,9	77,9	65,5	65,7
Anteil rein elektrisch gefahrener Kilometer [%]	48,6	50,7	56,9	50,9
globale Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]	39,4	45,5	35,8	39,5

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Sowohl 58% aller Fahrten als auch der im Versuchszeitraum zurückgelegten Strecke entfielen auf die 15 Nutzer(innen) im größten, dem privaten Nutzungssegment. Die Fahrten der sechs gewerblichen Nutzer(innen) machten 27% der Wege sowie 23% der Strecke aus, auf die fünf MIX-Nutzer(innen) entfielen 15% der Wege und 19% der zurückgelegten Strecke.

Die TwinDRIVE-Fahrzeuge standen den Nutzer(inne)n aufgrund von Wartungsterminen und Software-Updates nicht an allen Tagen zur Verfügung. Die Summe aller Tage, an denen die einzelnen Fahrzeuge mindestens für eine Fahrt genutzt wurden, ergibt 3 251 so genannte Fahrtage. 61% der Fahrtage fielen im Segment PRIVAT an, 23% im Segment GEWERBE und 16% bei den MIX-Nutzer(innen).

Wird der TwinDRIVE an einem Fahrtag eingesetzt, legen die Nutzer(innen) damit im Mittel 4,5 Fahrten zurück, im Segment GEWERBE ist dieser Wert dabei mit 5,1 Fahrten um fast eine Fahrt höher als in den anderen beiden Segmenten. Dieser zusätzliche Weg führt allerdings nicht zu einer insgesamt höheren Tagesstrecke (= tageweisen Summierung aller Fahrtenlängen eines Versuchsfahrzeugs) – hier weisen die Fahrzeuge des Nutzungssegmentes MIX die deutlich größten Tagesfahrleistungen auf (77,9 km). Rein gewerbliche Nutzer(innen) kamen im Schnitt auf 65,5 Tageskilometer, Privatpersonen auf 62,9 km pro Fahrtag (Tab. 6-5).

Der Elektromotor des TwinDRIVE als alleiniger Antrieb kam über die gesamte Einsatzzeit betrachtet für gut die Hälfte (50,9%) der zurückgelegten Gesamtfahrleistung auf. Den größten Anteil elektrischen Fahrens (56,9%) weisen gewerbliche Nutzer(innen) auf. Private Nutzer(innen) sowie Mischnutzer(innen) ha-

ben einen sehr ähnlichen Anteil an elektrischer Mobilität von 48,6% sowie 50,7% der Fahrleistung (Tab. 6-5).

Deutliche Unterschiede weisen die drei Nutzungssegmente bei der globalen Durchschnittsgeschwindigkeit auf. Diese Größe entspricht dem Quotienten aus der Summe aller Strecken eines Segments und der dafür benötigten Gesamtzeit. Das MIX-Segment weist hier mit 45,5 km/h den höchsten Wert auf, gewerbliche Nutzer(innen) hingegen den geringsten Wert (35,8 km/h); das Segment PRIVAT liegt mit 39,4 km/h etwa in der Mitte (Tab. 6-5).

Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegmenten – Verteilung der Parameter

Die mittlere Fahrtenlänge aller Einzelfahrten, die mit dem TwinDRIVE durchgeführt wurden, liegt bei 14,7 km. Allerdings liegen rund 72% der Fahrten unterhalb dieses Wertes. Bei der Verteilung der Fahrtenlängen handelt es sich um eine stark rechtsschiefe Kurve (= sehr viele kurze sowie wenige lange oder sehr lange Fahrten). Daher ist es hilfreich, auch andere Maßzahlen wie den Median sowie das untere und das obere Quartil zu berücksichtigen. In Tab. 6-6 bieten diese vier Lagemaße ein detaillierteres Verständnis für die Verteilung der einzelnen Parameter (Fahrtenlänge, Fahrtendauer, mittlere Geschwindigkeit, Ladezustand bei Fahrtbeginn und Fahrtende sowie Anteil elektrisch gefahrener Strecke).

Tab. 6-6: TwinDRIVE-Mobilitätskennziffern nach Nutzungssegment: Verteilung der Parameter (Bezug: Einzelfahrt)

	PRIVAT	MIX	GEWERBE	GESAMT	MiD 2008 **
	Mittelwert <i>unteres Quartil Median oberes Quartil *</i>				
Fahrtenlänge [km]	14,7 2,7 7,6 16,6	18,6 4,5 10,6 23,0	12,8 2,5 6,9 15,4	14,7 2,8 7,9 16,7	14,3 2,6 5,7 14,3
Fahrtendauer [min]	22,3 10,2 17,8 27,1	24,5 11,9 18,8 29,3	21,5 10,5 17,6 27,2	22,4 10,5 17,9 27,4	20,8 10,0 15,0 25,0
mittlere Geschwindigkeit der Fahrten [km/h]	29,2 14,8 24,9 38,4	35,8 21,2 34,6 47,6	27,6 12,9 22,8 36,7	29,7 14,9 25,6 40,0	31,9 17,1 28,5 42,8
Ladezustand bei Fahrtbeginn [%]	59,9 32,1 64,9 95,6	60,8 35,9 65,5 96,7	60,5 31,0 68,8 96,2	60,2 32,1 66,0 96,2	
Ladezustand bei Fahrtende [%]	41,5 8,5 41,4 68,2	40,2 10,1 40,8 71,5	43,0 11,2 44,1 71,5	41,7 9,6 41,9 68,8	
rein elektrische Streckenanteile [%]	66,2 36,8 78,2 97,0	63,7 33,1 71,1 98,2	72,0 46,3 89,8 98,0	67,4 37,7 81,2 97,5	

* Lesebeispiel Segment PRIVAT, Zeile „Fahrtenlänge“: Die mittlere Fahrtenlänge liegt bei 14,7 km (= Mittelwert). 50% der Fahrten liegen im Entfernungsbereich zwischen 2,7 km (=unteres Quartil) und 16,6 km (= oberes Quartil), jeweils ein Viertel der Fahrten ist kürzer als 2,7 km oder länger als 16,6 km. 50% der Fahrten sind kürzer als 7,6 km (= Median).

** Fahrten als Pkw-Fahrer.

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012; infas, DLR 2010c. Eigene Berechnungen.

Der Median der Fahrtenlänge ist in allen Nutzungssegmenten deutlich geringer als der jeweilige Mittelwert. Es wurden in allen Segmenten viele kurze Fahrten im einstelligen Kilometerbereich absolviert. Selbst im Segment mit den längsten Wegen (MIX) ist mehr als jede vierte Fahrt kürzer als 4,5 km. Die entsprechenden Werte der anderen beiden Gruppen liegen hier bei 2,7 km (PRIVAT) sowie 2,5 km (GEWERBE). Diese Werte sind konsistent mit den Ergebnissen der MiD 2008: Die Länge der dort erhobenen Fahrten betrug durchschnittlich 14,33 km, auch der Median ist mit 5,7 km deutlich geringer als der Mittelwert (eigene Berechnung anhand des Wegedatensatzes der MiD 2008 (infas, DLR 2010c)).

Die Dauer der einzelnen Fahrten weist zwischen den Segmenten geringere Abweichungen auf und liegt im Mittel zwischen 21,5 und 24,5 Minuten (Median 17,6 bis 18,8 Minuten). Die in der MiD 2008 erhobenen

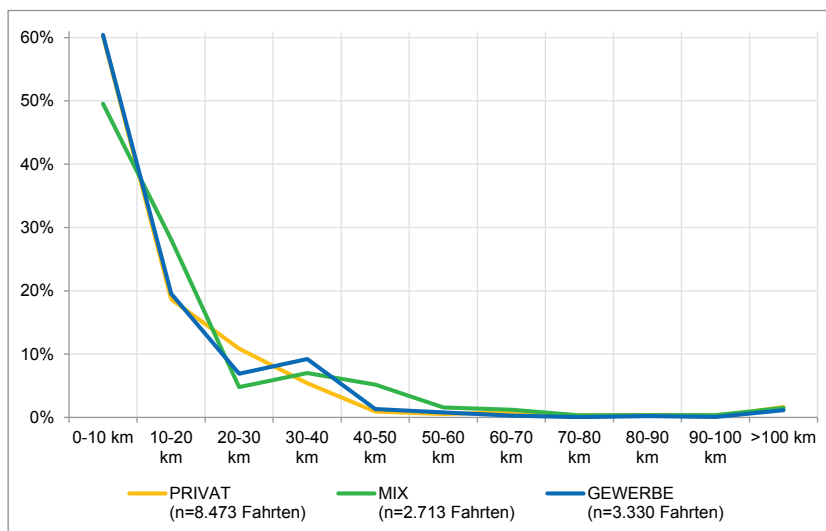
Wege dauern durchschnittlich 20,8 Minuten (Median 15,0 Minuten) und stehen somit ebenfalls im Einklang mit den Ergebnissen des Flottenversuchs.

Die Verteilung der mittleren Geschwindigkeiten zeigt den hohen Anteil an Fahrten im niedrigen, durch den Elektromotor gestützten Geschwindigkeitsbereich. Auch im ‚schnellsten‘ Segment MIX wird nur bei 25% der Fahrten eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit als 47,6 km/h erreicht. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrten mit einem Pkw in der MiD 2008 betrug durchschnittlich 31,9 km/h (Median 28,5 km/h) und war damit etwas schneller als die der durchschnittlichen Fahrten mit dem TwinDRIVE.

Geringe Unterschiede zeigen sich zwischen den Segmenten in Bezug auf den Ladezustand der Batterie. Im Mittel aller Fahrten stehen zu Fahrtbeginn in allen Segmenten gleichermaßen noch rund 3/5 der elektrischen Reichweite zur Verfügung. Bis zum Fahrtende sinkt dieser Wert ebenfalls in einem recht ähnlichem Maße auf durchschnittlich 2/5 einer voll geladenen Batterie.

Die letzte Zeile der Tab. 6-6 weist den Anteil der elektrisch gefahrenen Streckenanteile bezogen auf Einzelfahrten aus. Betrachtet man das obere Quartil, also ein Viertel der Fahrten, zeigt sich ein elektrischer Fahranteil zwischen 97,0% (PRIVAT) und 98,2% (MIX) – was einer nahezu ausschließlichen Nutzung des Elektromotors entspricht. Im Mittel konnten über zwei Drittel (67,4%) einer Fahrt elektrisch realisiert werden. Dies steht allerdings in deutlichem Gegensatz zur insgesamt realisierten elektrischen Fahrleistung. In Summe war der Elektromotor für 50,9% aller im Versuchszeitraum gefahrenen Kilometer verantwortlich.

Abb. 6-20: TwinDRIVE-Fahrten: Fahrtenlänge nach Segment



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-20 zeigt die Verteilung der Fahrtenlängen in graphischer Form. Die relative Häufigkeit nimmt im Segment PRIVAT bei steigenden Fahrtenlängen kontinuierlich ab. Demgegenüber spielen dienstlich-gewerblich motivierte Fahrten zwischen 30 und 40 km in den anderen beiden Nutzungssegmenten eine größere Rolle. Gewerbliche Fahrten decken häufiger einen größeren Aktionsraum um Wohn- und Arbeitsplatz ab als durch private Zwecke motivierte Strecken.

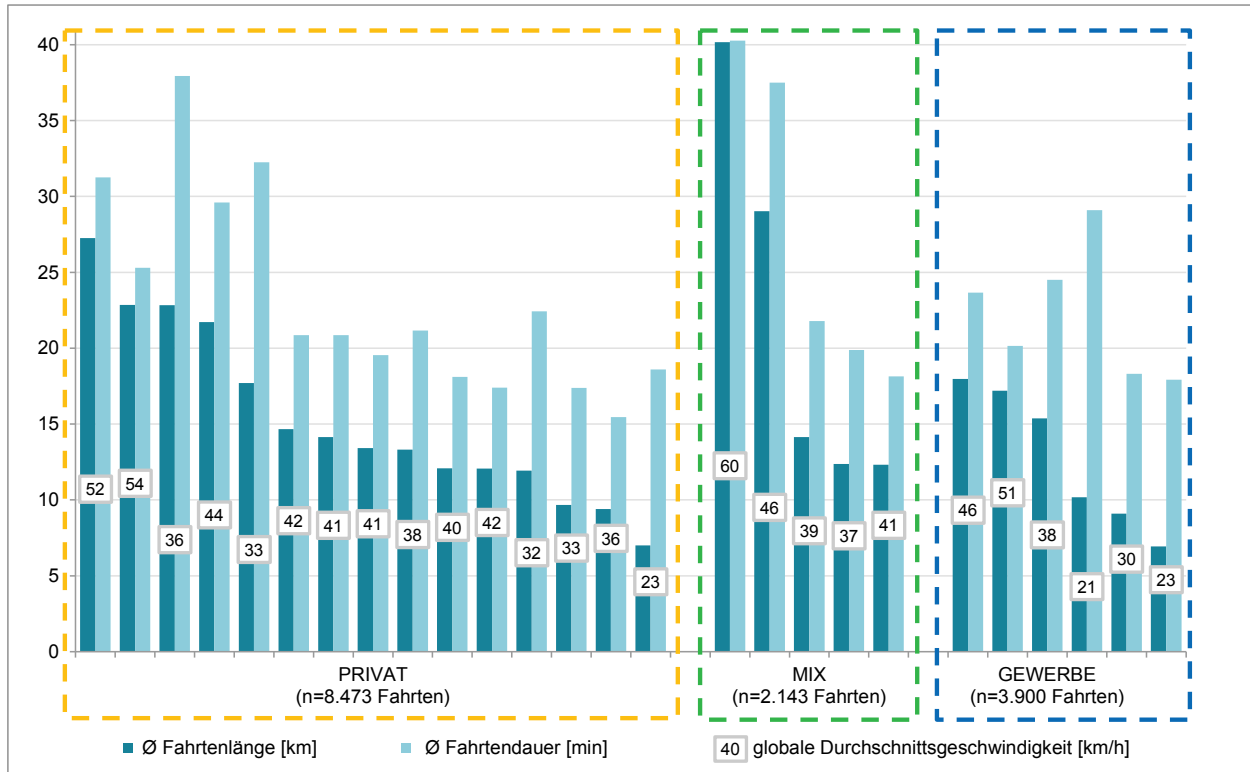
Individuelles Mobilitätsverhalten

Neben den Unterschieden zwischen den aggregierten Nutzungssegmenten liegen aber auch innerhalb eines Segments große Abweichungen im Mobilitätsverhalten der einzelnen Haushalte und Betriebe vor. Es ist folglich lohnenswert, auch disaggregiert die Verteilung der individuellen Mobilitätsparameter zu betrachten.

In Abb. 6-21 werden die mittleren Fahrtenlängen, Fahrtendauern und Geschwindigkeiten der 26 am Flottenversuch teilnehmenden Haushalte und Betriebe dargestellt. Die mittleren Längen der TwinDRIVE-Fahrten der Einzelnutzer(innen) liegen zwischen 7 km und 40 km, wobei nur drei Nutzer(innen) im Schnitt mehr als 25 km pro Fahrt zurücklegen. Am häufigsten ist ein individueller Durchschnittswert von 10-15 km (bei 11 Nutzer(innen)). Es liegt hierbei auch jeweils innerhalb der Segmente ein heterogenes Nutzerspektrum vor, in dem sowohl kurze (private oder dienstliche) Wege wie auch längere tägliche Wege (etwa Pendeln) oder Fernfahrten vorkommen.

Die Streuung bei der zeitlichen Dauer der Fahrten ist hingegen geringer: In der Regel verbringen die Nutzer(innen) zwischen 15 und 25 Minuten pro Fahrt im TwinDRIVE. Ein Grund hierfür sind die höheren durchschnittlichen Reisegeschwindigkeiten, die die Nutzer(innen) insbesondere auf längeren Wegen erreichen konnten. Eine Konsequenz aus Fahrtenlänge und Fahrtendauer ist die Durchschnittsgeschwindigkeit: MIX-Nutzer(innen) weisen hier eher höhere Werte auf als die anderen beiden Segmente.

Abb. 6-21: TwinDRIVE-Fahrten: Mittlere Fahrtenlänge nach Versuchsfahrzeug



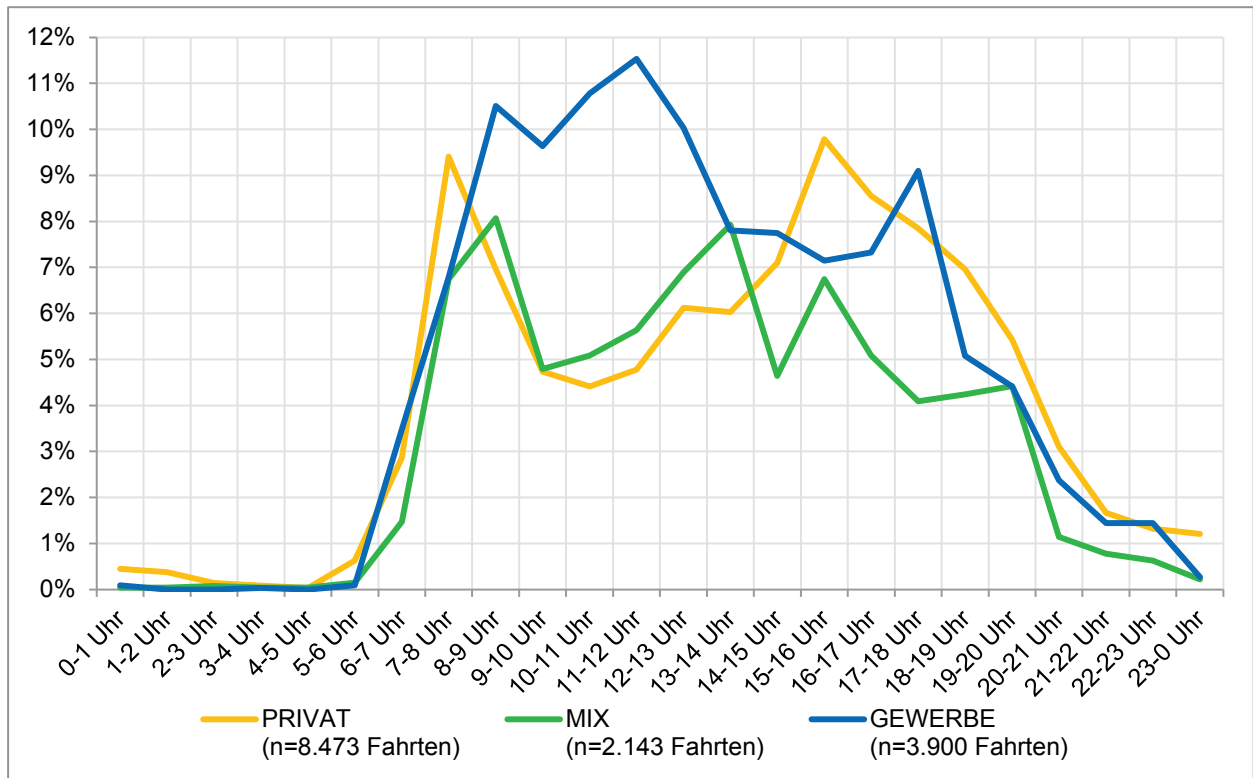
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Zeitliche Variationen: Tagesgang und Wochentage

85% der Fahrten mit dem TwinDRIVE wurden zwischen 7 und 19 Uhr absolviert. Werden alle Fahrten unabhängig von ihrer Segmentzugehörigkeit betrachtet, sind nur geringe Schwankungen tagsüber zu beobachten: Innerhalb jedes Stundenintervalls von 7 bis 19 Uhr werden zwischen 6% und 9% aller Fahrten unternommen. Allerdings unterscheiden sich die Tagesgänge der verschiedenen Segmente voneinander (vgl. Abb. 6-22). Privatnutzer(innen) haben deutliche Spitzen morgens (7 bis 8 Uhr) und nachmittags (15 bis 16 Uhr) – dies sind Zeiträume, die häufig in Zusammenhang mit Arbeitswegen oder Kinderbetreuung stehen. Gewerbliche Fahrten fallen demgegenüber vor allem zu den üblichen Geschäftszeiten von 8 bis 18 Uhr an. MIX-Nutzer(innen) haben bis zum frühen Nachmittag eine recht ähnliche Ganglinie wie die privaten Haushalte, ihre Nutzungsintensität fällt danach jedoch zurück.

Die beiden Nutzungssegmente GEWERBE und MIX führen mit dem TwinDRIVE an Werktagen (mit Ausnahme des Freitags) deutlich mehr Fahrten durch als das private Nutzungssegment, insbesondere MIX-Nutzer(innen) legen zudem längere Gesamttagesstrecken zurück (vgl. Abb. 6-23). Das Wochenende, vor allem der Sonntag, ist in allen Segmenten durch eine reduzierte (TwinDRIVE-)Mobilitätsquote und deutlich weniger TwinDRIVE-Fahrten gekennzeichnet, wobei die private Nutzergruppe etwas längere Gesamttagesstrecken zurücklegt.

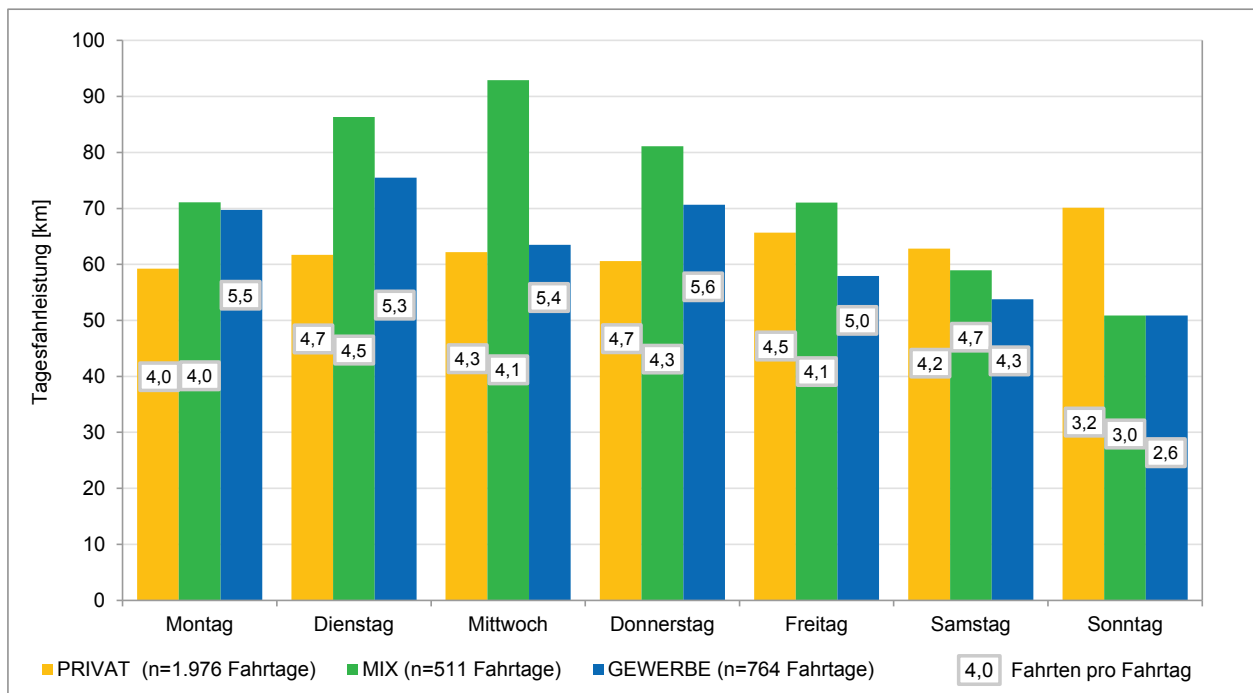
Abb. 6-22: TwinDRIVE-Fahrten: Tagesgang nach Nutzungssegment



* Tagesstrecke und Fahrtenzahl bezogen auf Fahrtage, an denen der TwinDRIVE bewegt wurde

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-23: TwinDRIVE-Fahrten: Mittlere Tagesstrecke und Fahrtenzahl nach Nutzungssegment und Wochentagen



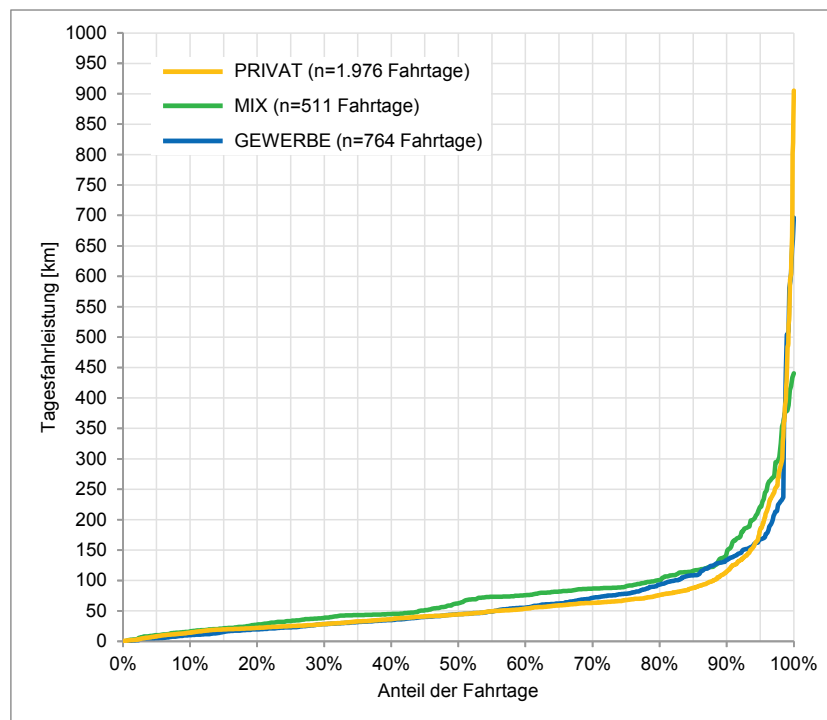
* Tagesstrecke und Fahrtenzahl bezogen auf Fahrtage, an denen der TwinDRIVE bewegt wurde

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Bandbreite der einzelnen Tagesstrecken

Abschließend erfolgt eine Betrachtung der Verteilung der Tagesstrecken. Ähnlich den Einzelstrecken ist auch die Verteilung der tageweise aggregierten Fahrleistungen stark rechtsschief, an über 90% der Fahrtage wird der TwinDRIVE weniger als 150 km bewegt. Dennoch machen sich einzelne Tage mit sehr hohen Laufleistungen – etwa Urlaubsreisen – bei der Gesamtfahrleistung bemerkbar: 10% aller gefahrenen Kilometer entstanden durch die Summierung von nur 29 einzelnen Tagesfahrleistungen zwischen 450 und 900 km. Die Bandbreite der Tagesstrecken wird in Abb. 6-24 ersichtlich. Die Kurven zeigen in allen Segmenten eine deutliche Ungleichverteilung. Der flache Anstieg bedeutet, dass bei einem hohen Anteil der Fahrtage das Fahrzeug ausschließlich über Distanzen im ein- oder zweistelligen Kilometerbereich bewegt wurde. Beispielsweise lagen 44% aller Tagesfahrleistungen in den Segmenten PRIVAT und GEWERBE und 31% im Segment MIX unter 40 km.

Abb. 6-24: TwinDRIVE-Fahrten: Anteil der Tagesfahrleistung an Fahrtagen nach Nutzungssegment



* Tagesfahrleistungen aggregiert nach Nutzungssegment

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Das Wissen um die Verteilung der Tagesstrecken ermöglicht erste Rückschlüsse auf die Eignung verschiedener Antriebskonzepte (BEV oder PHEV) sowie Batteriegößen entsprechend der Mobilitätsbedürfnisse der TwinDRIVE-Nutzer(innen). Neben der reinen Tagesfahrleistung, die häufig unter 40 km liegt, sind für die tatsächliche Realisierung eines rein elektrischen Fahrprofils allerdings auch weitere Faktoren wie die infrastrukturelle und zeitliche Lademöglichkeit sowie das jeweilige Ladeverhalten ausschlaggebend.

Eine detaillierte Betrachtung des Potenzials für einen höheren elektrischen Streckenanteil bei verändertem Ladeverhalten folgt in Abschnitt 6.3.4.

Wege Zwecke und Verkehrsmittelwahl (Modal Split)

Bei der Verkehrsmittelwahl der privaten Versuchsteilnehmer(innen) dominiert klar das Auto, rund 80% der Wege werden mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegt. Gegenüber der Gesamtbevölkerung ist die Vorrangstellung des Autos bei den Versuchsteilnehmer(inne)n noch deutlich stärker: Über alle Wege liegt der Anteil des MIV zu Lasten aller anderen Verkehrsmittel um rund 20 Prozentpunkte über dem Wert der Gesamtbevölkerung. Dabei ist keine Veränderung dieses Anteils während des Versuchsverlaufs festzustellen.

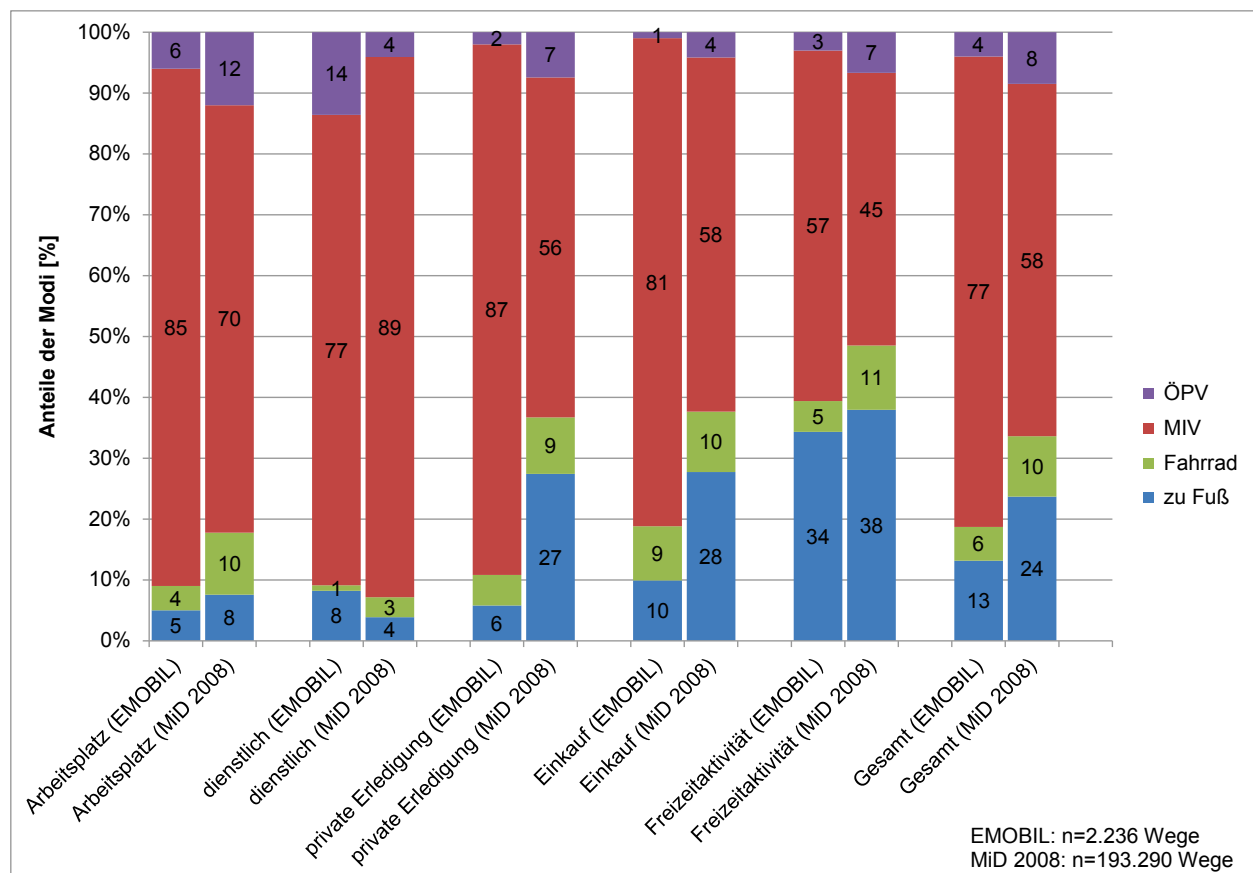
Vor dem Hintergrund der sozioökonomischen Eigenschaften der Teilnehmer(innen) wie der Kfz-Verfügbarkeit und dem ökonomischen Status kann dies als typisches Mobilitätsverhalten angesehen werden.

Hinsichtlich der Verteilung des Verkehrsaufkommens nach Wege Zwecken unterscheiden sich die Versuchsteilnehmer(inne)n nicht grundsätzlich von der Gesamtbevölkerung. Anteilig wurden zwar mehr Arbeitswege sowie Wege zum Holen oder Bringen von Personen berichtet, dies ist jedoch mit den (berufli-

chen) Tätigkeiten der Teilnehmer(inne)n und der Zusammensetzung der Haushalte (vor allem Mehrpersonenhaushalte mit Kindern) zu erklären. Entsprechend wurden weniger Freizeitwege berichtet.

Abb. 6-25 stellt die Verkehrsmittelwahl differenziert nach Wegezwecken dar. Die Dominanz des MIV zeigt sich bei allen Wegezwecken deutlich. Gegenüber der Gesamtbevölkerung fallen höhere MIV-Anteile besonders bei Einkaufs- und privaten Erledigungswegen auf. Hinzu kommt, dass die Mehrzahl der im Versuch berichteten Wege länger ist als jene der Gesamtbevölkerung: Während bei letzterer insgesamt die Hälfte der Wege nur bis 3,3 km lang ist (infas, DLR 2010c), ist die Hälfte der erfassten privaten Wege der Flottenversuchsteilnehmer(innen) bis zu 6 km lang. Die beobachtete Wegelänge der privaten Teilnehmer(innen) ist mit durchschnittlich 23 km rund doppelt so lang wie im Mittel bei der Gesamtbevölkerung (11,5 km; infas, DLR 2010c).

Abb. 6-25: Modal Split nach Wegezweck im Flottenversuch (EMOBIL) und der Gesamtbevölkerung (MiD 2008)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012; infas, DLR (2010c). Eigene Berechnungen.

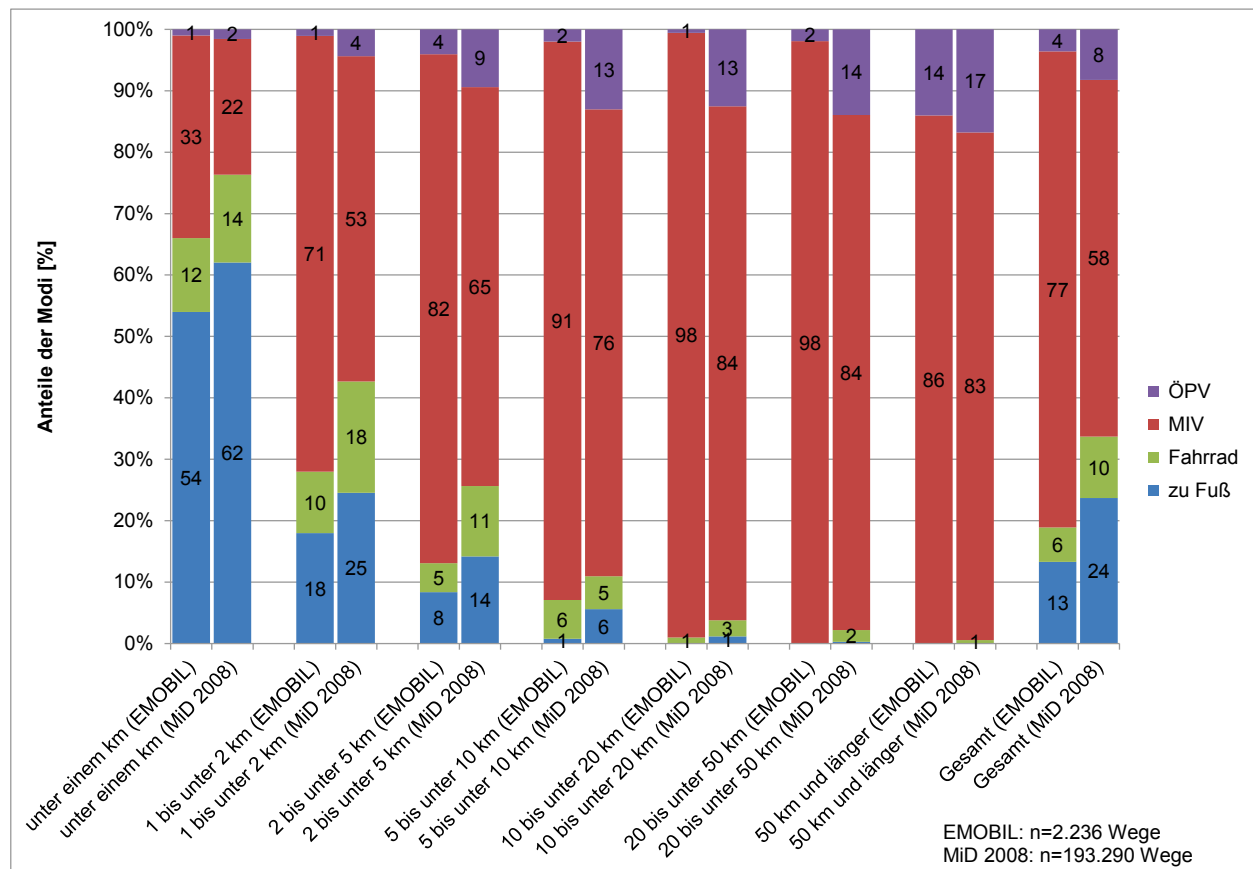
In der Analyse der Verkehrsmittelwahl nach Wegelängen (vgl. Abb. 6-26) zeigen sich höhere MIV-Anteile auf kürzeren Wegen vor allem zu Lasten des nicht-motorisierten Individualverkehrs. Außer auf langen Wegen (ab 50 km) wird zudem der ÖPNV kaum genutzt.

In diesem Zusammenhang sind Aussagen von einigen Teilnehmer(inne)n zu zusätzlichen PKW-Fahrten interessant. Vier Nutzer(innen) gaben explizit an, aufgrund des Elektroantriebes vermehrt kurze Strecken mit dem PKW zurückzulegen. Dabei wurde das Elektroauto auch als Ersatz für das Fahrrad gesehen. Ein konstanter Anteil von MIV-Weegen an allen Wegen der privaten Nutzer(innen) über die Phasen des Versuchs spricht jedoch

„So ein Elektroauto verleitet dazu ganz kurze Strecken wie zum Bäcker mit dem Auto zu fahren. Weil es Spaß macht so dahin zu schleichen und weil man im Hinterkopf hat, das kostet ja fast nix.“

gegen eine vermehrte PKW-Nutzung aufgrund des alternativen Antriebskonzeptes. Auch die absolute Anzahl kurzer Wege je Tag ist beim TwinDRIVE etwas geringer als beim zuvor genutzten Vergleichsfahrzeug.

Abb. 6-26: Modal Split nach Wegelänge im Flottenversuch (EMOBIL) und der Gesamtbevölkerung (MiD 2008)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012; infas, DLR (2010c). Eigene Berechnungen.

Der gegenüber der Gesamtbevölkerung höhere Anteil von MIV-Wege im Flottenversuch hängt somit mit mehreren Faktoren zusammen: Einerseits werden anteilig mehr Wege zu Zwecken mit generell höheren MIV-Anteilen (Arbeitswege vs. Freizeitwege) zurückgelegt, andererseits sind die berichteten Wege im Mittel deutlich länger, was nicht zuletzt auf die Raumstruktur des Wohn- und Betriebsumfeldes vieler Teilnehmer(innen) zurückzuführen sein dürfte. Insbesondere auf sehr kurzen Wegen ist der MIV-Anteil am Modal Split deutlich höher als in der Gesamtbevölkerung.

Öffentliche Verkehrsmittel nutzen die Versuchsteilnehmer(innen) kaum.

6.2.2 Nutzung der Betriebsmodi

E-Mode

Fahrzeugseitig bestand für die Fahrer(innen) die Möglichkeit, über die Aktivierung eines Schalters in den so genannten „E-MODE“ zu wechseln und während einer Fahrt ausschließlich elektrisch zu fahren. Lediglich bei großer Leistungsabfrage (z. B. starker Beschleunigung oder Geschwindigkeiten >120 km/h) wurde der Antrieb durch den Verbrennungsmotor übernommen oder vorübergehend unterstützt.

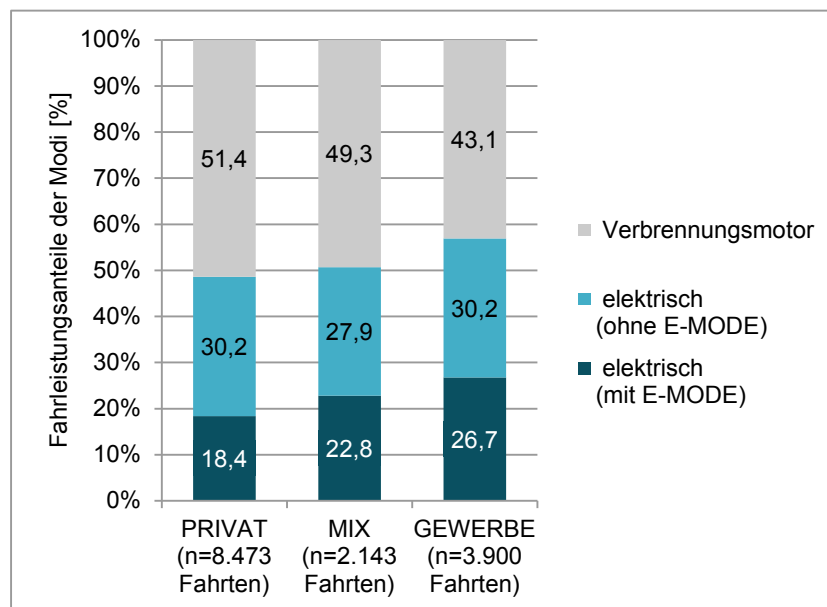


Die Mehrheit der Nutzer(innen) hatte auf Nachfrage den E-MODE schon einmal verwendet. Bewusst wurde dieser vor allem auf kurzen oder hinsichtlich der zurückzulegenden Entfernung abschätzbaren Fahrten gewählt, bei denen die verbleibende elektrische Reichweite ausreichen würde, das jeweilige Ziel (vor allem das eigene Zuhause) zu erreichen. Auch der Wunsch, ausschließlich oder so viel wie möglich rein elektrisch zu fahren führte zur bewussten Wahl dieses Modus. Speziell im innerörtlichen Bereich oder in verkehrsberuhigten Zonen wurde mittels E-MODE bewusst rein elektrisch gefahren, um insbesondere den Vorteil der geringen Lärm- und Abgasemission zu nutzen. Lediglich acht Nutzer(innen) verzichteten auf eine bewusste Nutzung des E-MODE und überließen die Wahl der Betriebsmodi dem Fahrzeug.

Elektrische und verbrennungsmotorische Fahranteile

Als wesentliche Einflussfaktoren sowohl für elektrische Fahranteile generell als auch für die Nutzung des E-MODE konnten die Fahrstrecke und der Batterieladestand bei Beginn der Fahrt ermittelt werden. Je länger die Fahrstrecke, desto geringer sind die elektrischen Fahranteile und desto weniger Fahrleistung wird

Abb. 6-27: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahrleistungsanteile an der Gesamtfahrleistung nach Nutzungssegment



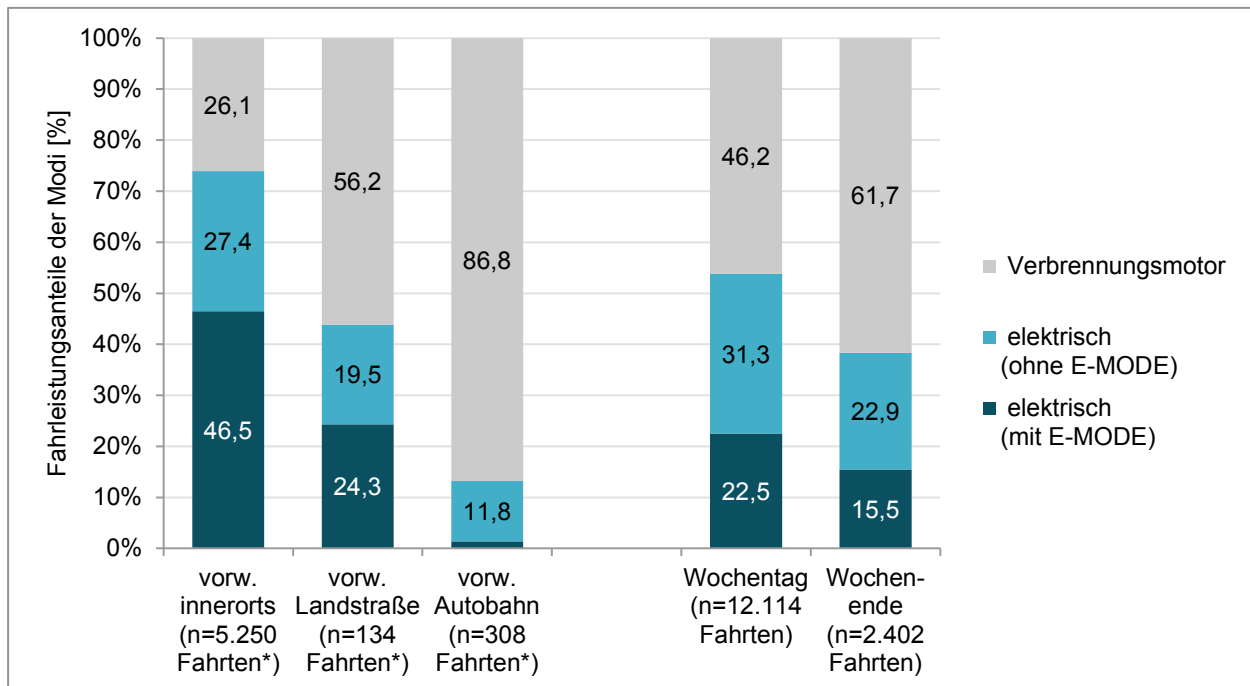
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

im E-MODE zurückgelegt. Je höher der Ladestand bei Beginn der Fahrt, desto höher sind die Anteile der elektrischen Fahrleistung sowie der E-MODE-Nutzung. Neben diesen erwartungsgemäßen Ergebnissen konnten auch innerhalb der drei Nutzungssegmente Unterschiede identifiziert werden. Am häufigsten wird der E-MODE von den gewerblichen Fahrer(inne)n genutzt, die auf diese Weise 26,7% ihrer gesamten Fahrleistung abdeckten (Abb. 6-27). MIX-Fahrer(inne)n legten mehr als ein Fünftel ihrer Fahrleistung im E-MODE zurück, private Fahrer(inne)n hingegen etwas unter einem Fünftel.

Weniger große Unterschiede gibt es beim Anteil elektrischen Fahrens ohne bewusste Aktivierung des E-MODE: Rein gewerbliche und private Nutzer(innen) haben einen etwas höheren Anteil als MIX-Nutzer(innen).

Zusätzlich zum Zusammenhang zwischen elektrischen Fahranteilen und der Streckenlänge zeigen sich auch bei einer Aufschlüsselung nach Straßentyp deutliche Verhaltensunterschiede (Abb. 6-28). Technisch bedingt spielt der E-MODE auf Autobahnstrecken eine vernachlässigbare Rolle. Dennoch konnten

Abb. 6-28: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahrleistungsanteile an der Gesamtfahrleistung nach Straßentyp* und Wochentag



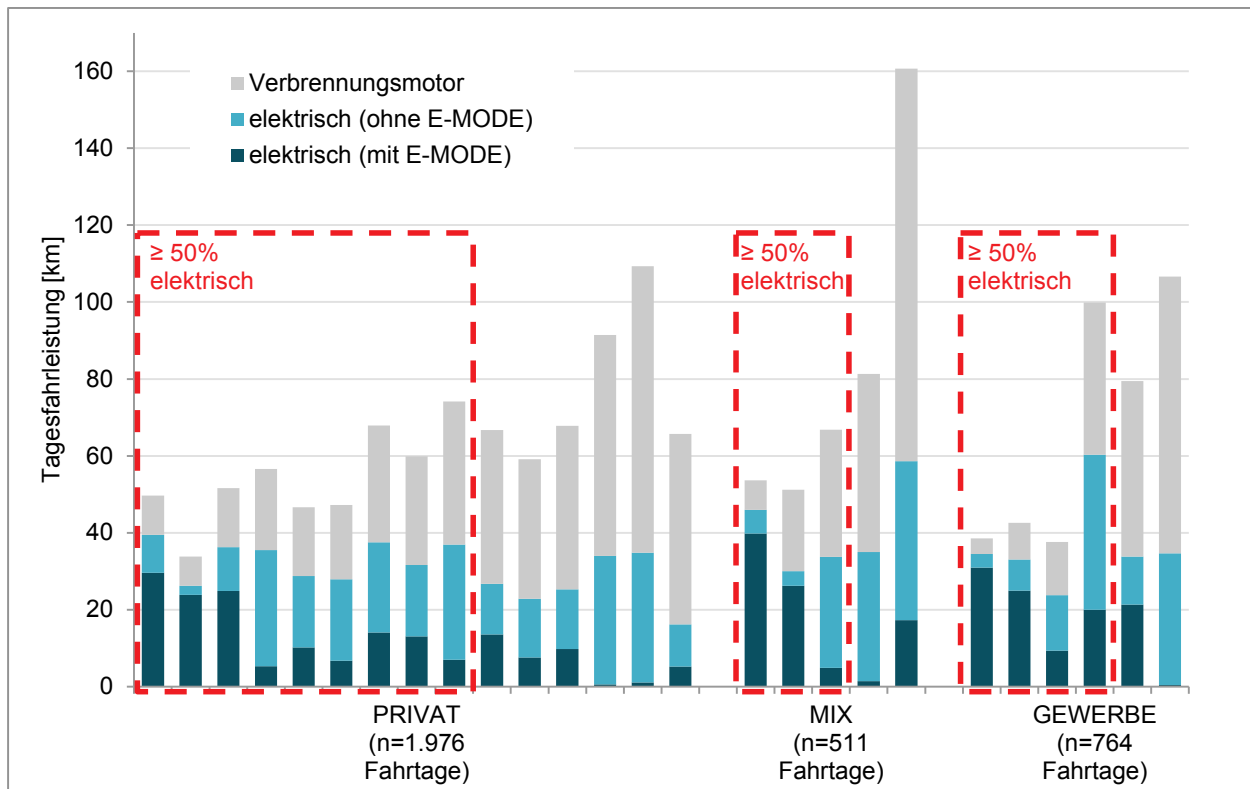
* Betrachtet wurden Fahrten mit mehr als 90% Streckenanteil auf dem jeweiligen Straßentyp, resultierend in der nur bei dieser Auswertung verwendeten geringeren Fallzahl von beispielsweise 134 Landstraßen-Fahrten.

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

unabhängig vom gewählten Betriebsmodus insgesamt 13,2% der Fahrleistung auf Autobahnen rein elektrisch erbracht werden. Innerorts wurde fast die Hälfte der gesamten Wegstrecke im E-MODE gefahren, auf Landstraßen etwa ein Viertel. Die Nutzung des E-MODE – und generell das elektrische Fahren – variiert auch zwischen Werktagen und Wochenende: Die Summe aller werktäglichen Fahrprofile weist einen höheren elektrischen Anteil auf als die Fahrten am Wochenende. Eine Erklärung hierfür dürfte in der höheren Aktivität und damit weiteren Fahrten des privaten Nutzungssegments am Wochenende liegen. So ist die mittlere Fahrtenlänge sonntags mit 21,1 km deutlich größer als beispielsweise montags (14,7 km).

Neben den aufgezeigten aggregierten Nutzungsunterschieden ist die Verwendung des E-MODE auch deutlich von individuellem Verhalten geprägt. Die Abb. 6-29 zeigt für die verschiedenen Nutzer(innen) die Anteile der elektrischen Fahrleistung an der jeweiligen Gesamttagesfahrleistung, innerhalb jedes Nutzungssegments absteigend sortiert nach dem realisierten elektrischen Fahranteil. Rot markiert sind jene Nutzer(innen), die im Mittel über 50% ihrer Tagesfahrleistung elektrisch zurücklegen. In allen drei Segmenten gibt es sowohl Nutzer(innen), die auf den E-MODE nahezu komplett verzichten, als auch solche, die fast ihre gesamte elektrische Fahrleistung mit eingeschaltetem E-MODE realisieren. Die meisten Nutzer(innen) mit elektrischen Fahranteilen über 50% legen Tagesstrecken zwischen 35 und 70 km zurück. Ein(e) Nutzer(in) aus dem Segment GEWERBE realisierte sogar bei durchschnittlich 100 km Tagesfahrleistung einen elektrischen Anteil von 60%.

Abb. 6-29: Elektrische und verbrennungsmotorische Fahranteile an der Tagesfahrleistung je Nutzer(in)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

6.2.3 Verändertes Mobilitätsverhalten

Subjektive Sicht der Nutzer(innen)

Eine der zentralen Fragestellungen des Versuchs galt der Eignung von Plug-In-Hybridfahrzeugen (hier des TwinDRIVE) für den alltäglichen Mobilitätsbedarf ‚normaler‘ Nutzer(innen) sowohl aus dem privaten als auch aus dem gewerblichen Bereich. Letztlich entscheidend für diese Eignungsfeststellung ist dabei die subjektive Sicht der Nutzer(innen): Diese können sich – theoretisch bei jeder Fahrt aufs Neue – für den TwinDRIVE oder aber für ein anderes Auto oder Verkehrsmittel entscheiden. Sie können andererseits aber auch – aufgrund subjektiv wahrgenommener Nicht-Eignung des TwinDRIVE oder mangels Alternativen – ganz auf bestimmte Fahrten verzichten.

Gefragt nach zusätzlichen oder vermiedenen Fahrten verneinte die Mehrzahl der Befragten, die Nutzung des TwinDRIVE bewusst vermieden zu haben. Allerdings nannten einige Nutzer(innen) entweder ganz kurze oder aber längere Strecken mit viel Gepäck und/oder vielen Mitreisenden (begrenzte Zuladung⁶) als Grund für den Umstieg auf ein anderes Fahrzeug.

„Fünf Mitfahrer überschreiten die zulässige Zuladung“

„bei kurzen Strecken [...] Geschichte mit dem Kabel zu lästig“

⁶ Der TwinDRIVE war für insgesamt fünf Sitzplätze (einschließlich Fahrer) zugelassen, das zulässige Gesamtgewicht betrug 2250 kg. Bei einem Leergewicht von 1821 kg konnte die damit mögliche Zuladung von maximal 429 kg je nach Körpergewicht der mitfahrenden Personen unter Umständen überschritten werden.

Zusätzliche Strecken mit dem TwinDRIVE – mit Ausnahme kürzerer Vorfähr- oder Testfahrten im Bekanntenkreis – wurden nur von wenigen Nutzer(innen)n unternommen. Dabei handelte es sich um eher kurze Fahrten, etwa zum Bäcker, die sonst beispielsweise mit dem Fahrrad durchgeführt worden wären. Ein weniger schlechtes Gewissen bezüglich der Umweltauswirkungen oder aber geringere Verbrauchskosten motivierten ebenfalls zur Nutzung des TwinDRIVES.

"E-Auto verleitet dazu, ganz kurze Strecken wie zum Bäcker zu fahren [...] Spaß, so dahin zu schleichen [...] weil man im Hinterkopf hat: das kostet ja fast nix"

Hinsichtlich der Fahrtenplanung sind es vor allem die Fahrer(innen) der Betriebe (GEWERBE, MIX), von denen knapp 70% im Vorfeld von Fahrten entsprechende Überlegungen anstellen. Abgewogen werden dabei die aktuell verfügbare elektrische Reichweite, die erwartete Streckenlänge sowie die Entfernung zur nächsten potenziellen Lademöglichkeit am Zielort. Dabei werden nicht nur die direkt anstehende Fahrt, sondern ggf. auch alle weiteren Fahrten bis zur nächsten Lademöglichkeit bedacht (z. B. sowohl

„[...] Fahrten, wo ich nicht elektrisch hinkomme, [...] anderes Auto [...] was weniger Sprit verbraucht“

der Hinweg zum Arbeitsplatz als auch der Rückweg nach Hause). Ziel dieser Planung ist in der Regel die bestmögliche Ausschöpfung des Reichweitenpotenzials der Batterie, also – wenn möglich – weitgehend elektrisch zu fahren. Die darauf zielenden Verhaltensstrategien sind unterschiedlich und reichen von einer langsameren, energiesparenderen Fahrweise (unter Inkaufnahme einer unter Umständen längeren Fahrzeit) über die Wahl einer anderen Route (Vermeidung von Autobahnen, ggf. mit Unterstützung eines Routenplaners), die Nutzung der fahrzeugeigenen

Fahrtenplanung (fahrzeuggesteuerte Wahl der Betriebsmodi), die bewusste Wahl des Betriebsmodus (mit/ohne E-MODE), die Verschiebung des Abfahrzeitpunktes (um Aufladung zu ermöglichen oder abzuschließen) bis hin zur ersatzweisen Nutzung eines anderen, konventionellen Fahrzeugs.

Nutzer(innen), die auf eine besondere Fahrplanung verzichteten, sahen einerseits keinen Sinn darin, weil die elektrische Reichweite für ihren Bedarf ohnehin nicht ausreichend sei, oder sie nutzten den TwinDRIVE ohnehin für alle anfallenden Fahrten ohne Ausnahme.

Aufgrund einer nicht hinreichend aufgeladenen Batterie zum Zeitpunkt des geplanten Fahrtantritts wurde nicht auf Fahrten verzichtet; vielmehr wurden in solchen Fällen die Fahrten dann durchweg mit Hilfe des Verbrennungsmotors durchgeführt.

Anpassung der Fahrweise

Etwas über die Hälfte der Teilnehmer(innen) gab an, das eigene Fahrverhalten habe sich mit dem TwinDRIVE verändert. Während einige Nutzer(innen) angaben, sportlicher/ schneller zu fahren als mit anderen Autos, fuhren andere Nutzer(innen) nach eigener Einschätzung vorausschauender und energiesparender. Das vorausschauende Fahren nahm dabei im Versuchszeitraum zu: Meinten in Phase 2 lediglich vier Personen, ein „sportlicheres“ Fahrverhalten an sich zu beobachten, waren dies am Ende des Versuchs bereits neun Personen. Mit 14 Nennungen überwog in Phase 2 dennoch der Anteil der Nutzer, die angaben, energiebewusster zu fahren. Die Motivation lag für die Mehrheit in der Maximierung der elektrischen Streckenanteile. Diese Nennungen reduzierten sich jedoch zum Ende des Versuchs auf neun. In den abschließenden Gruppendiskussionen wurde die Wahrnehmung einer ökonomischeren Fahrweise erneut von den Teilnehmer(inne)n diskutiert. Einige berichteten, dass sich eine Art sportlicher Ehrgeiz entwickelt habe, die elektrische Reichweite durch ein entsprechendes Fahrverhalten zu maximieren.

"habe sportlichen Ehrgeiz, [elektrisch] weit zu kommen. Ich fahre bewusster und habe Spaß daran"

Veränderung der Kennzahlen

Die intensive Nutzungsperiode des TwinDRIVE ermöglichte eine diversifizierte Analyse auf mehreren Betrachtungsebenen, bis hin zur individuellen Nutzerperspektive. Da der Zeitraum mit dem Vergleichsfahrzeug für alle Teilnehmer(innen) kürzer war, lassen sich nicht im gleichen Detailgrad repräsentative Aus-

sagen ableiten. Beispielsweise könnten saisonale Ereignisse wie Sommerferien oder Urlaub bei der kürzeren Nutzungsdauer stärker ins Gewicht fallen und das Mobilitätsverhalten von Einzelnutzer(inne)n dadurch verzerren. Insgesamt wurden mit dem Vergleichsfahrzeug 5 077 Fahrten absolviert, rund ein Drittel der Anzahl von TwinDRIVE-Fahrten. Dies stellt eine ausreichend große Stichprobe dar, um neben den qualitativen Aussagen der Versuchsteilnehmer(innen) auch die folgenden zentralen Mobilitätskennziffern der TwinDRIVE-Phase gegenüber der Vorversuchsphase mit dem Vergleichsfahrzeug quantitativ zu bewerten (vgl. Tab. 6-7).

Tab. 6-7: Zentrale Mobilitätskennziffern des TwinDRIVES gegenüber dem Vergleichsfahrzeug

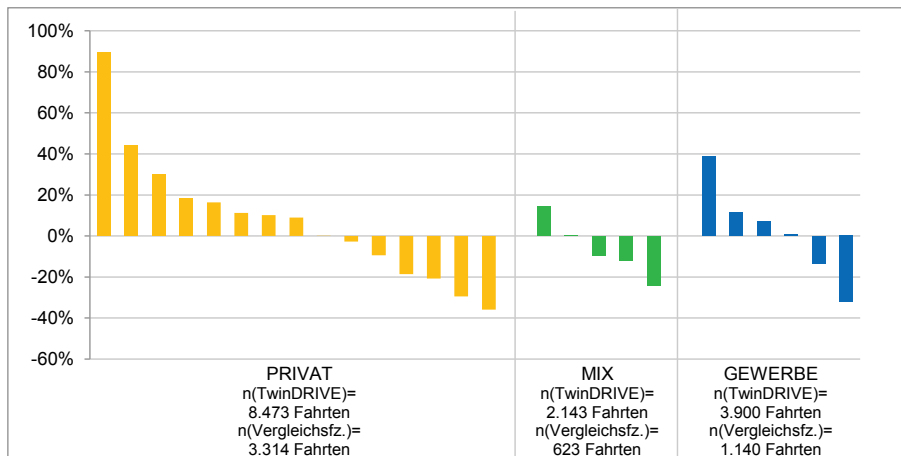
	TwinDRIVE	Vergleichsfahrzeug
	Mittelwert <i>unteres Quartil Median oberes Quartil *</i>	
Anzahl Fahrten [n]	14 516	5 077
Fahrtage (mindestens eine TwinDRIVE-Fahrt) [n]	3 251	1 115
Gesamtfahrleistung (alle Fahrzeuge) [km]	214 017	73 830
Ø Anzahl Fahrten pro Fahrtag [n]	4,5	4,6
Ø Tagesfahrleistung [km]	65,8	66,2
Fahrtenlänge [km]	14,7 2,8 7,9 16,7	14,5 2,5 7,5 18,0
Fahrtendauer [min]	22,4 10,5 17,9 27,4	19,8 7,0 14,8 25,3
globale Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]	39,5	44,2
Fahrprofil (innerorts / außerorts / Autobahn / (unbekannt) [%]	33 / 16 / 50 / (1)	36 / 17 / 45 / (2)

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

In der Aggregation aller 26 Nutzer(innen), also aller teilnehmenden Haushalte und Betriebe, zeigen sich zunächst sehr ähnliche Werte für die Anzahl der Fahrten pro Fahrtag, die mittlere Tagesfahrleistung und die Fahrtenlänge.

Auch die Verteilung der Längen der einzelnen Fahrten lässt sich anhand von unterem und oberem Quartil sowie anhand des Medians als nahezu identisch bezeichnen. Über die gesamte Nutzergruppe hinweg zeigen sich nur bei Fahrtendauer und Durchschnittsgeschwindigkeit deutliche Abweichungen zwischen Vergleichsfahrzeug und TwinDRIVE: Im Mittel dauern die Fahrten mit dem TwinDRIVE 2,6 Minuten länger und werden mit einer um 4,7 km/h geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit durchgeführt. Eine kleine Änderung ist auch im Fahrprofil bezüglich der verwendeten Straßentypen feststellbar: Der TwinDRIVE wurde häufiger auf Autobahnen und seltener innerorts verwendet.

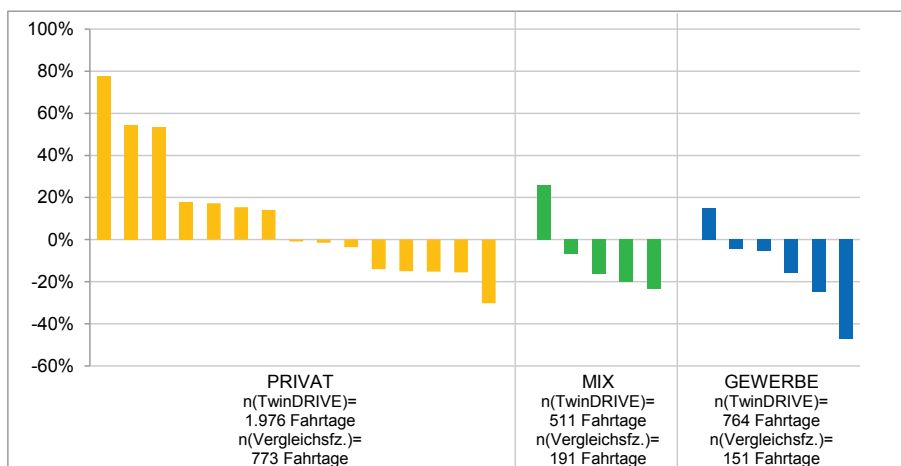
Abb. 6-30: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der mittleren Fahrtenlänge nach Nutzer(in)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

in der Summe jedoch nahezu ausgleichen. Die größten Unterschiede zeigten sich im PRIVAT-Segment, hier liegen die Differenzen bei der Hälfte der Nutzer(innen) zwischen $\pm 15\%$ und $\pm 40\%$. Die Abweichungen in den Segmenten MIX und GEWERBE fielen hingegen geringer aus. Die Richtung der Abweichung ist im MIX-Segment tendenziell negativ (mit dem TwinDRIVE wurden kürzere Strecken zurückgelegt), bei den gewerblichen Nutzer(innen) gleichen sich ähnlich wie bei den Privatpersonen Zu- und Abnahmen eher aus.

Abb. 6-31: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der mittleren Tagesfahrleistung nach Nutzer(in)



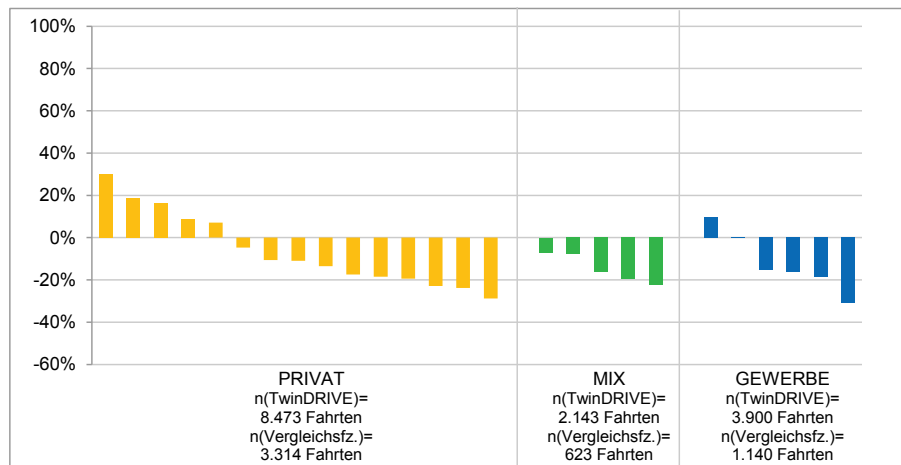
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

statt, die Zunahmen fielen bei drei Nutzer(inne)n mit über $+50\%$ aber deutlich stärker aus. In den Segmenten MIX und GEWERBE hingegen sank die Tagesfahrleistung bei fast allen Nutzer(inne)n.

Neben den aggregierten Kennwerten sollte aber auch hier eine individuelle Untersuchung erfolgen, da sich bei einigen Nutzer(inne)n teilweise deutliche Veränderungen bei einzelnen Mobilitätsparametern zeigen. In der graphischen Darstellung (Abb. 6-30) werden beim Parameter Fahrtenlänge nahezu bei allen Teilnehmern individuelle Abweichungen deutlich, die sich

Auch die mittlere Tagesfahrleistung weist aggregiert kaum Unterschiede zwischen den zwei Testphasen mit unterschiedlichen Fahrzeugen auf, schwankt aber nutzerspezifisch teilweise deutlich (Abb. 6-31). Wird nach Segmenten differenziert, steigt die Tagesfahrleistung bei den Privatanutzer(inne)n tendenziell. Zwar fand bei gleich vielen Nutzer(inne)n eine Zu- oder Abnahme

Abb. 6-32: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeit nach Nutzer(in)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Die globale Durchschnittsgeschwindigkeit aller TwinDRIVE-Fahrten ist deutlich niedriger als bei Fahrten mit dem Vergleichsfahrzeug.

Auch nutzerspezifisch ist diese Abnahme in allen Segmenten deutlich sichtbar (Abb. 6-32). Insbesondere MIX-Nutzer(innen) fuhren ausnahmslos langsamer. Eine mögliche Erklärung hierfür ist eine größere Sensibilisierung

für den Energieverbrauch, da Einsatzfähigkeit und Einsatzdauer des Elektromotors unmittelbar durch die gewählte Geschwindigkeit beeinflusst werden konnte und eine Batterieladung gegenüber einer Tankfüllung möglicherweise als endlichere Ressource erschien.

Die dargestellten Abweichungen auf Basis einzelner Haushalte/Betriebe können als Indiz für individuell verändertes Mobilitätsverhalten angesehen werden. Die Ursachen hierfür können in der Umstellung von einem konventionellen Pkw auf ein Elektrofahrzeug liegen. Darüber hinaus spielen aber sicherlich auch andere Einflussfaktoren eine

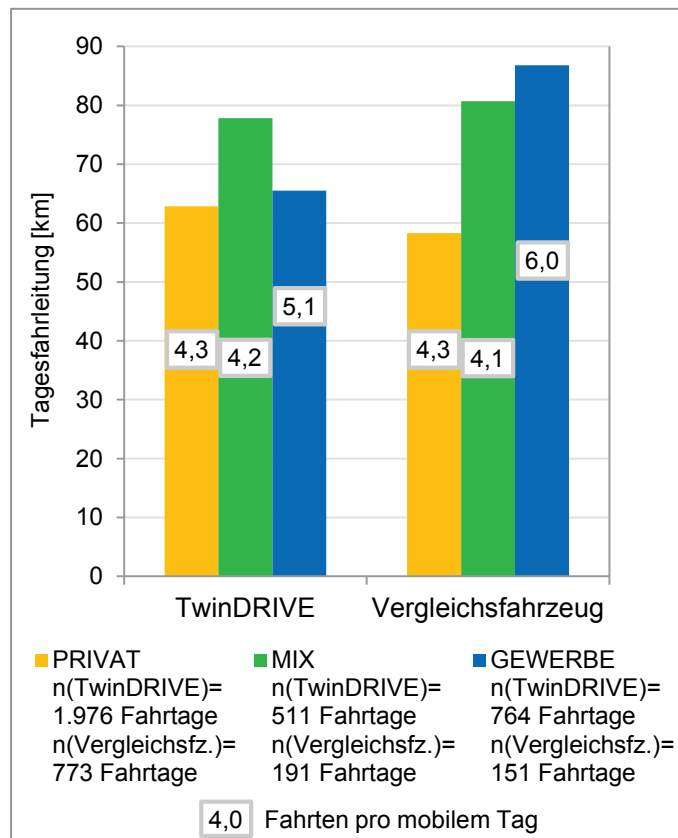
"[...] fahren alle ein bisschen zurückhaltender, um möglichst viel [Energie] aus den Fahrzeugen rauszuholen"

"Anfangs wollte ich immer wissen: Wie flink ist der TwinDRIVE? Da muss ich sagen, er ist hinreichend flink."

Rolle wie der Wunsch, möglichst energiesparend und/oder weitestgehend elektrisch zu fahren. Bei den Auswertungen auf Nutzer-Ebene ist zu berücksichtigen, dass sich hinter einem ‚Nutzer‘ die Fahrten von bis zu vier verschiedene Fahrer(innen) verbergen; eine entsprechende individuelle Differenzierung zwischen verschiedenen Fahrer(inne)n und damit zwischen verschiedenen Fahr- und

Mobilitätsstilen ist auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht möglich. So können sich beispielsweise aufgrund organisatorischer Absprachen zur Nutzungsaufteilung die individuellen Fahranteile im Verlauf der verschiedenen Versuchsphasen verändert haben. Ferner können saisonale Effekte (= unterschiedliche Nutzungszeiträume) oder geringe Fallzahlen die Aussagekraft beeinflussen.

Abb. 6-33: TwinDRIVE vs. Vergleichsfahrzeug: Tagesfahrleistungen und Fahrten pro Fahrttag nach Nutzungssegment



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012, eigene Berechnungen.

Als sinnvolle Aggregationsebene für den Vergleich zum konventionellen Fahrzeug kann daher das Nutzungssegment gelten (Abb. 6-33). Sowohl Privat- als auch Mischnutzer(innen) zeigten als Gruppe keine nennenswerte Veränderung bei der Anzahl an Fahrten pro Fahrttag. Dem gegenüber stehen gewerbliche Nutzer(innen), die statt durchschnittlich 6,0 nur mehr 5,1 Fahrten täglich durchführten. Damit verbunden ist auch die deutliche Reduktion der Tagesfahrleistung um ein Viertel im Segment GEWERBE. Auch Mischnutzer(innen) legten im TwinDRIVE tendenziell weniger Kilometer an einem Tag zurück, etwa im gleichen Maßstab, wie Privatanutzer(innen) mit dem TwinDRIVE eine höhere Tagesfahrleistung erzielten.

"[Verzicht auf TwinDRIVE bei] Strecken über 70, 80 km, weil mir der Benzinverbrauch zu hoch ist. Mein Privatauto braucht deutlich weniger."

Eine mögliche Erklärung ist der Rückgriff auf ein anderes Fahrzeug des Haushalts oder betrieblichen Fuhrparks für bestimmte Fahrten (z. B. Langstrecken). Entsprechende Aussagen gab es im Rahmen der Interviews oder während der Gruppendiskussionen. Begründet wurde dies u. a. mit dem vergleichsweise hohen Verbrauch des TwinDRIVES im verbrennungsmotorischen Betrieb.

bestimmte Fahrten (z. B. Langstrecken). Entsprechende Aussagen gab es im Rahmen der Interviews oder während der Gruppendiskussionen. Begründet wurde dies u. a. mit dem vergleichsweise hohen Verbrauch des TwinDRIVES im verbrennungsmotorischen Betrieb.

6.2.4 Aktionsräume

Straßentypen

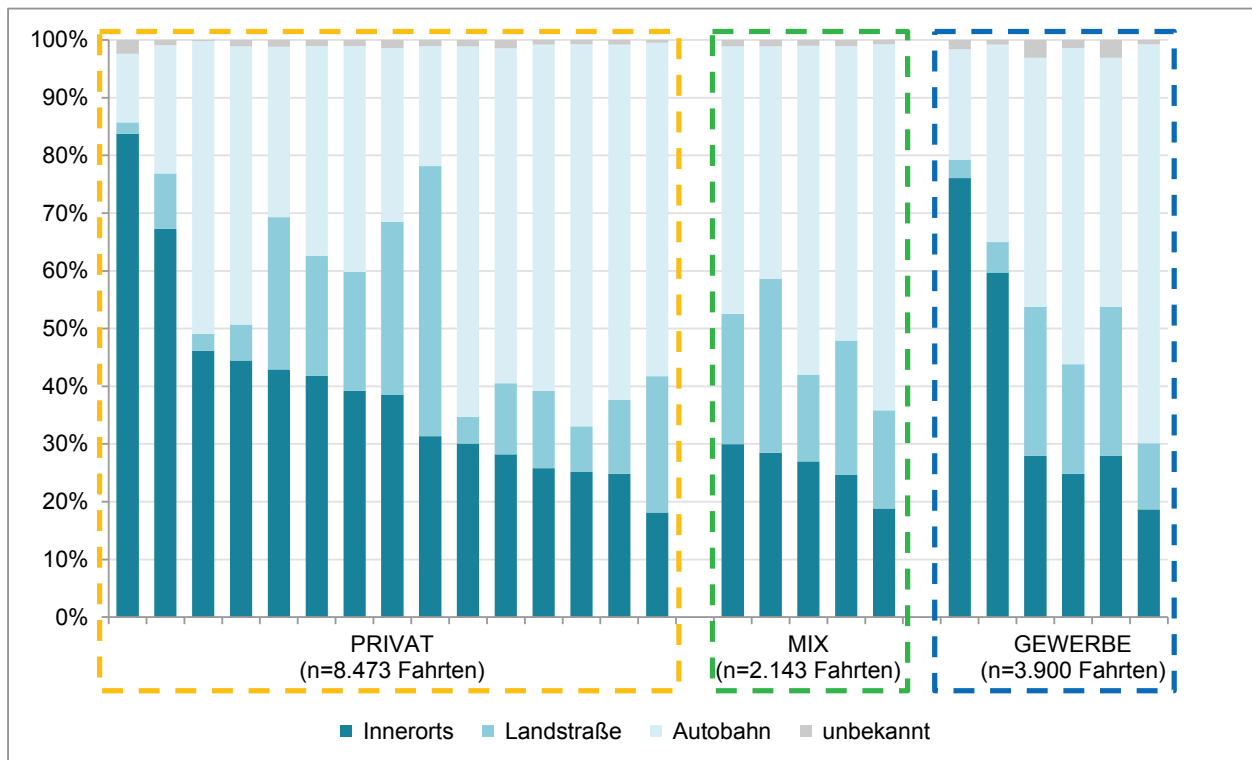
Verkehrsverhalten kann nicht unabhängig von räumlichen Bedingungen betrachtet werden: Die Gegebenheiten innerorts, auf Landstraßen und auf Autobahnen unterscheiden sich deutlich, etwa in Bezug auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Als Konsequenz daraus variiert auch die stark von der Reisegeschwindigkeit abhängige Einsatzfähigkeit eines Elektromotors je nach individuellem Fahrprofil. Abb. 6-34 schlüsselt die auf die drei Straßentypen entfallenden Fahrleistungsanteile je Nutzer(in) auf.

Von der gesamten im Versuch erbrachten Fahrleistung entfällt rund die Hälfte auf Autobahnen, ein Drittel auf innerörtliche Streckenabschnitte und ein Sechstel auf Landstraßen. Aggregiert auf die Segmente sind die Verhältnisse insgesamt sehr ähnlich. Einzig MIX-Nutzer(innen) haben einen geringeren Anteil an innerörtlicher Fahrleistung (25% im Vergleich zu 36% im Segment PRIVAT und 32% im Segment GEWERBE) und entsprechend mehr Fahrleistung auf Landstraßen.

Die nutzerspezifischen Werte für Autobahnen schwanken dabei zwischen 12% und 69% ihrer jeweiligen Gesamtfahrleistung, nur bei vier Nutzer(innen) liegt dieser Anteil unter einem Drittel. Die Anteile der innerörtlichen Fahrleistungen weisen mit Werten zwischen 18% und 83% die größte Bandbreite auf, wobei dieser Wert bei der überwiegenden Zahl der Nutzer(innen)/ Versuchsfahrzeuge zwischen 20% und 45% liegt. Vier TwinDRIVES wurden nicht in nennenswertem Umfang auf Landstraßen bewegt (jeweilige Stre-

ckenanteile unter 5%), und auch bei den anderen Fahrer(inne)n spielte dieser Straßentyp die geringste Rolle. Eine Ausnahme bildet ein(e) private(r) Fahrer(in) mit 47% Wegeanteil auf Landstraßen.

Abb. 6-34: TwinDRIVE-Fahrten: Gesamtfahrleistungsanteile der einzelnen Straßentypen nach Versuchsfahrzeug

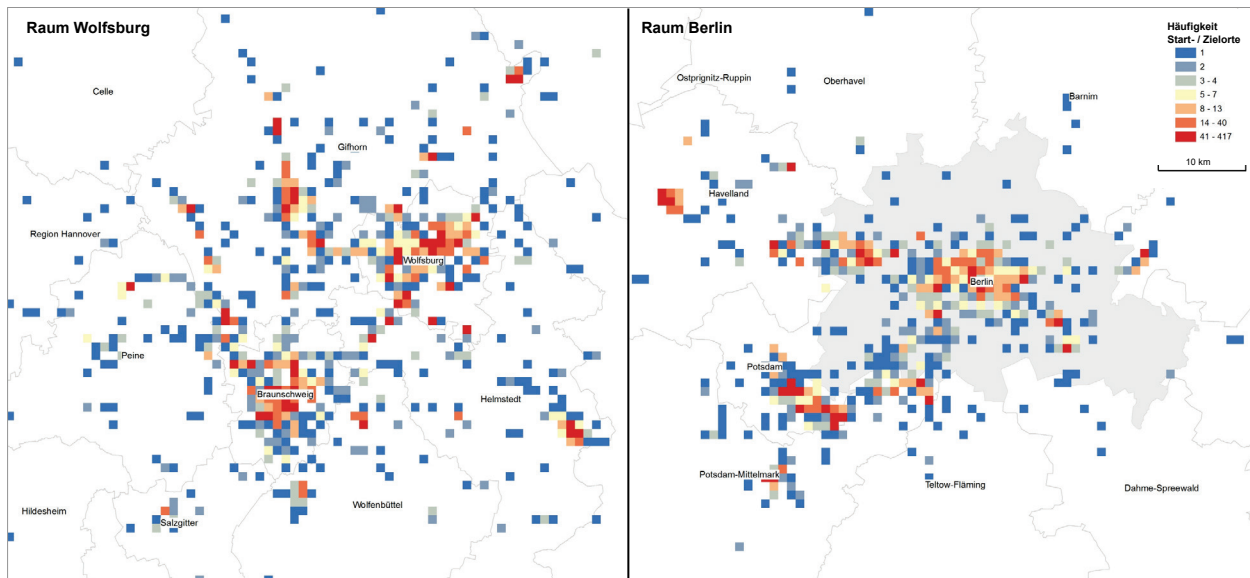


Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Verortung und Häufigkeiten von Aufenthaltsorten

Die Nutzer(innen) des Flottenversuchs sind etwa zu gleichen Anteilen in den Regionen Braunschweig-Wolfsburg (dem östlichen Teil der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg) sowie im Großraum Berlin-Brandenburg (v. a. Raum Potsdam) beheimatet. Abb. 6-35 zeigt als so genannte ‚Heatmap‘ mit einem 1x1-km-Raster, wie häufig unterschiedliche Orte besucht wurden. Die Ausdehnung der Aktionsräume ist in beiden Regionen recht vergleichbar. Ein Unterschied wird allerdings deutlich in der regionalen Verflechtung der Start- und Zielpunkte der Fahrten: Hier zeigt sich in Braunschweig, Wolfsburg und den umliegenden Landkreisen eine dispersere Verteilung als in der Region Berlin, wo neben der hohen Bedeutung der Innenstadt innerhalb des S-Bahn-Rings vor allem bandförmig verteilt Richtung Potsdam sowie in den südlichen und westlichen Randbezirken zahlreiche Attraktionspunkte liegen.

Abb. 6-35: Aufenthaltsorte der TwinDRIVE-Nutzer(innen) in den Regionen Braunschweig-Wolfsburg und Berlin-Brandenburg (Potsdam)



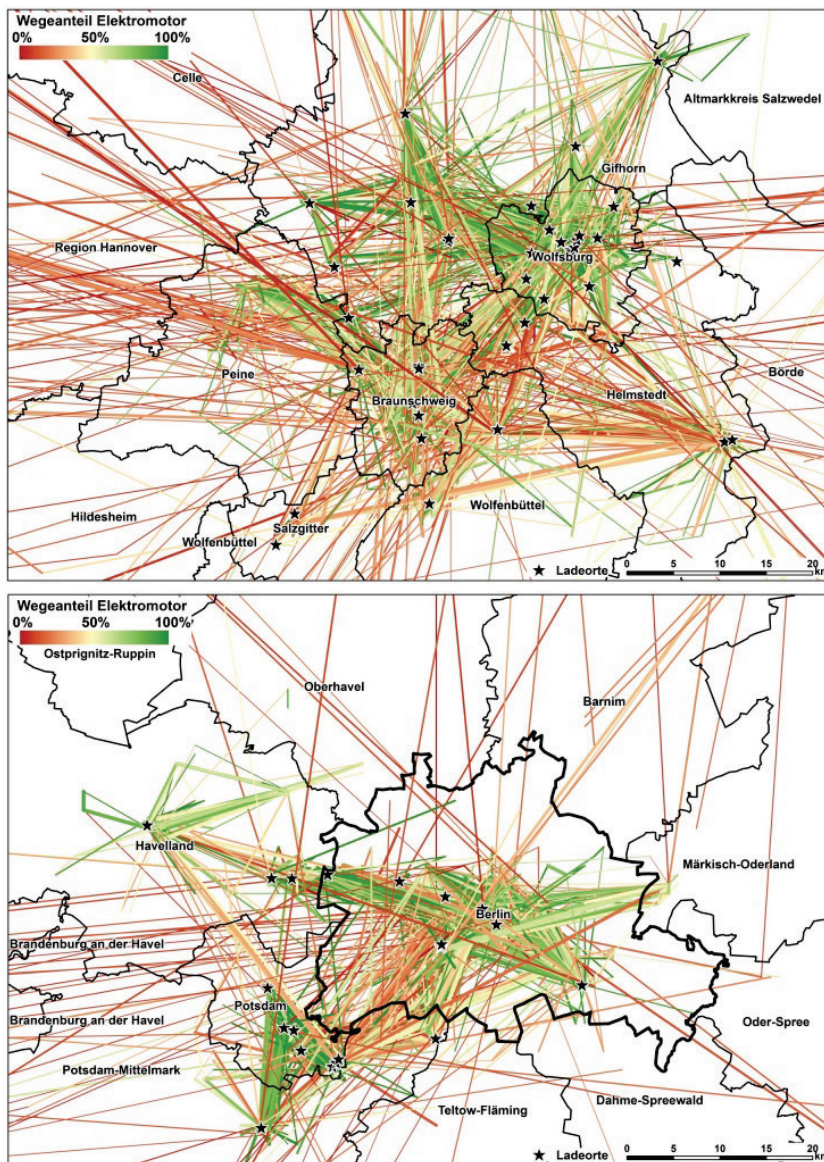
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Räumliche Betrachtung der elektrischen Streckenanteile und Ladeorte

Rund die Hälfte der im Versuchszeitraum zurückgelegten Strecke konnte mit dem TwinDRIVE elektrisch durchgeführt werden. Die folgenden Aktionsraumkarten (vgl. Abb. 6-36) machen die Relationen mit über- und unterdurchschnittlichen elektrischen Anteilen und die Bedeutung von Ladeinfrastruktur sichtbar.

Besonders hoch ist die Dichte der elektrischen Streckenanteile bei Fahrten innerhalb und zwischen den beiden Landkreisen Wolfsburg und Gifhorn, doch auch Fahrten zwischen Braunschweig und Gifhorn, Wolfsburg oder Peine werden überwiegend mit hohen elektrischen Streckenanteilen zurückgelegt. Mehrheitlich wohnten die betreffenden Nutzer(innen) in der Nähe ihres Arbeitsortes. Insbesondere MIX-Nutzer(innen), denen sowohl am Arbeitsplatz als auch am Wohnort eine Lademöglichkeit zur Verfügung stand, realisierten hohe elektrische Streckenanteile. Dabei konzentrierten sich diese Betriebe in Wolfsburg mit Wohnorten in Wolfsburg selbst oder im nördlichen Umland. Die elektrische Reichweite des TwinDRIVEs war hier ausreichend. Anders gestaltete es sich für einen Betrieb mit Sitz in Helmstedt und Wohnorten in der Nähe von Braunschweig: Diesem Betrieb mit überdurchschnittlichen Tagesfahrleistungen stand lediglich eine Lademöglichkeit am Betriebsort zur Verfügung. Die elektrische Reichweite des TwinDRIVEs war für die Alltagswege folglich nicht ausreichend, was in der Karte in Form zahlreicher 'roter' Wege sichtbar wird. Auch die seltener stattfindenden weiten Fahrten – etwa in die Region Hannover oder darüber hinaus – werden zu wesentlich geringeren Anteilen elektrisch gefahren. Häufig war eine Aufladung der Batterie an diesen Zielorten mangels Ladeinfrastruktur oder aufgrund zeitlicher Restriktionen nicht praktikabel.

Abb. 6-36: Elektrisch realisierte Wegeanteile auf Relationen in den Regionen Braunschweig-Wolfsburg und Berlin-Brandenburg (Potsdam)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Die größten elektrischen Streckenanteile im Großraum Berlin-Potsdam konnten innerhalb Potsdams sowie zwischen Potsdam und Zielen im Landkreis Potsdam-Mittelmark und innerhalb des Berliner S-Bahn-Rings realisiert werden. In diesen Gebieten war eine gute Versorgung mit Lademöglichkeiten an den Wohn- oder Arbeitsorten vorhanden. Im Gegensatz zur stark verflochtenen Untersuchungsregion in Niedersachsen bildeten sich im Großraum Berlin-Potsdam neben punktuellen Konzentrationen drei bandförmige Nutzungsstrukturen aus: ein Korridor im Nordwesten Richtung Havelland, ein weiterer im Südwesten Berlins und eine nordöstliche Achse Richtung Neuenhagen. Neben Berlin-Potsdam bewegten sich zwei Fahrzeuge regelmäßig im Landkreis Havelland und realisierten dort mehrheitlich elektrische Fahrten. Einen hohen Anteil verbrennungsmotorischer Fahrten wiesen hingegen Verbindungen aus dem südöstlichen Potsdamer Raum ins Berliner Zentrum auf.

FAZIT „FAHREN“

Die Nutzer(innen) legten mit dem TwinDRIVE im Mittel 4,5 Fahrten täglich und eine Tagesstrecke von 65,7 km zurück. 85% der Fahrten fanden tagsüber zwischen 7 und 19 Uhr statt, jede zweite Fahrt dauerte weniger als 18 Minuten. Die Verteilung der einzelnen Fahrtenlängen war stark asymmetrisch: Sehr viele kurze Fahrten – etwa ein Drittel aller Fahrten war kürzer als 4 km – ergaben in Summe 4% der gesamten Fahrstrecke und standen wenigen langen Strecken über 100 km gegenüber (etwa 1,5% aller Fahrten), die sich allerdings auf 14% der Laufleistung addierten. Das hybride Antriebskonzept des TwinDRIVEs wurde dieser Tatsache gerecht, sodass sowohl durch den Verbrennungsmotor als auch durch den Elektromotor jeweils rund die Hälfte der Fahrleistung getragen wurde. 42% des elektrischen Fahranteils wurde dabei bei aktiviertem E-MODE erbracht. Etwa jede vierte Fahrt erfolgte nahezu vollständig elektrisch, meistens in räumlicher Nähe zu den Wohn- und Arbeitsorten.

Deutliche Unterschiede zwischen den drei Nutzungssegmenten PRIVAT, MIX und GEWERBE gab es bei der globalen Durchschnittsgeschwindigkeit und der Tagesfahrleistung: MIX-Nutzer(innen) fuhren mit 46 km/h am schnellsten und legten mit 78 km die längsten Tagesstrecken zurück. Im Vergleich dazu fuhren gewerbliche Fahrer(innen) als langsamstes Segment mit einer um etwa 10 km/h geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit und private Nutzer(innen) als Segment mit den geringsten Tagesstrecken um etwa 15 km weniger pro Tag. Gewerbliche Fahrer(innen) legten mit 5,1 Fahrten pro Tag die meisten Wege mit dem TwinDRIVE zurück – fast einer Fahrt mehr als in den anderen beiden Segmenten. Die gewerblich und dienstlich genutzten Fahrzeuge wiesen unter der Woche eine höhere Nutzungsintensität auf als am Wochenende.

Abweichend zu den Zeiträumen mit dem Vergleichsfahrzeug wurden die TwinDRIVEs im globalen Schnitt bei gleichbleibender mittlerer Fahrtenlänge um 4,7 km/h langsamer bewegt. Die Auswertung der individuellen Mobilitätsprofile lässt auf teilweise deutliche Änderungen im Mobilitätsverhalten schließen.

Günstige Rahmenbedingungen und Bereitschaft der Nutzer vorausgesetzt, gibt es deutliche Spielräume, das Fahrverhalten zu ändern.

6.3 Laden

Das Laden der Fahrzeuge stellt neben den realisierbaren elektrisch Reichweiten einen wichtigen Aspekt in der Nutzung von Elektrofahrzeugen dar. Im Zusammenhang mit Fahrweiten und Tagesprofilen stellen Ladebedarf einerseits und Ladeverhalten andererseits in ihrer zeitlichen und räumlichen Ausprägung wesentliche Größen für die Nutzbarkeit der Technologie bezogen auf die Mobilitätsbedürfnisse des entsprechenden Nutzungskontextes dar. Besondere Bedeutung kommt hierbei dem Zeitbedarf für die im Versuch praktizierte normale einphasige AC-Ladung und deren Integration in den jeweiligen Tagesplan der Nutzer(innen) bei. Die Zufriedenheit mit eben dieser Integrierbarkeit in den Tagesablauf sowie dem Vorgang des Ladens an sich stellt eine wesentliche Komponente der Nutzerakzeptanz der Elektromobilität dar.

Basierend auf den Angaben der Versuchsteilnehmer(innen) zum Ladeverhalten in Fragebögen und Interviews sowie auf den erfolgten Beobachtungen im Feld lassen sich Aussagen zu Anforderungen an eine nutzungsgerechte Ladeinfrastruktur sowie möglichen Auswirkungen auf das Energiesystem ableiten.

In Tab. 6-8 sind zentrale Kennziffern der Ladevorgänge im Flottenversuch nach Nutzungssegment zusammengestellt.⁷ Die Analysen zeigen einerseits aggregiert auf Nutzungssegmente charakteristische Ergebnisse, andererseits ist die Streuung innerhalb der Segmente groß.

Die Analyse der zentralen Ladekennziffern zeigt unterschiedliches Ladeverhalten in den Segmenten. Die gewerblichen Nutzer(innen) fallen durch viele kurze Ladevorgänge mit geringen Ladehöhen und, verglichen mit den anderen beiden Segmenten, entsprechend kürzeren zurückgelegten Entfernungen zwischen Ladevorgängen auf.

Im privaten Nutzungssegment herrschen größere Ladehöhen vor. Dabei wird der Ladevorgang häufiger bei niedrigen Ladeständen der Batterie initiiert als in den anderen Segmenten, zudem sind die Ladehöhen im Mittel größer. Besonders deutlich wird dies beim Anteil der Vollladungen (Ladevorgänge mit einem Ladehub ab 90% SOC). Der Anteil der Vollladungen an allen Ladevorgängen liegt bei privater Nutzung mit rund 38% deutlich über den Werten der anderen Nutzungssegmente. Entsprechend legen Privatnutzer(innen) längere Strecken zwischen zwei Ladevorgängen zurück, wobei die elektrische Reichweite bei knapp der Hälfte der Ladevorgänge überschritten wird. In den anderen Segmenten liegt dieser Anteil bei rund 37% (MiIX) sowie 26% (GEWERBE).

Privatnutzer(innen) laden das Fahrzeug mit durchschnittlich einer Ladung pro Fahrtag seltener auf als Mischnutzer(innen) (1,3 Ladevorgänge/ Tag) und gewerbliche Nutzer(innen) (1,8 Ladevorgänge/ Tag). Die Mehrheit der Ladevorgänge endet in allen Segmenten mit einer Vollladung der Batterie. Dabei wird das Fahrzeug bei gewerblicher Nutzung oft schon bei vergleichsweise hohem Ladestand nachgeladen, die geringsten Ladestände bei Ladebeginn und damit die größten Ladehöhen sind bei privater Nutzung zu beobachten. Das Ladeverhalten der Privatnutzer(innen) zeichnet sich entsprechend gegenüber gewerblicher Nutzung durch vergleichsweise lange Ladevorgänge mit großen Ladehöhen und wenige Teil- oder Zwischendurchladungen aus. In den anderen Segmenten wird deutlich häufiger zwischendurch geladen. Mischnutzer(innen) – als klassische Dienstwagenfahrer(innen) mit dienstlicher und privater Fahrzeugnutzung – liegen beim beobachteten Verhalten zwischen privaten und gewerblichen Nutzer(inne)n. Insge-

Abb. 6-37: Intelligente Ladesäule



Foto: DLR.

⁷ Wegen hoher Belastungen der Hausinstallation während eines Ladevorgangs traten immer wieder Unterbrechungen der Ladevorgänge zur Gefahrenvermeidung auf (vgl. VW 2012, S. 20). Für die Analyse des Ladeverhaltens wurden diese fragmentierten Ladevorgänge unter Verwendung der Zeit des Ansteckens aggregiert.

samt führen die unterschiedlichen Nutzungsmuster dennoch in ähnlichem Umfang zu elektrischen gefahrenen Kilometern. Dies trifft sowohl auf das beobachtete Verhalten (vgl. Abb. 6-27, S. 42) als auch auf das rechnerische Potenzial (vgl. Abb. 6-52, S. 69) zu.

Tab. 6-8: Zentrale Kennziffern der Ladevorgänge nach Nutzungssegment

	PRIVAT	MIX	GEWERBE	GESAMT
	Mittelwert <i>unteres Quartil Median oberes Quartil *</i>			
Dauer je Ladevorgang (bei tatsächlichem Stromfluss) [hh:mm] **	5:53 1:53 3:07 4:23	7:19 1:43 2:57 4:19	5:13 1:14 2:09 3:12	5:55 1:32 2:50 3:51
State of Charge (SOC) bei Ladebeginn [%]	25,5 1,9 12,9 45,8	29,4 6,3 23,3 46,2	37,5 7,9 33,7 64,9	30,0 3,0 22,2 52,9
State of Charge (SOC) bei Ladeende [%]	93,8 99,5 100 100	92,1 96,5 100 100	90,1 93,4 99,5 100	92,4 97,8 100 100
Ladehub [%]	68,3 44,9 77,3 97,0	62,7 37,8 67,4 90,3	52,6 26,8 48,8 79,5	62,4 34,0 66,3 94,2
Anteil Vollladungen (Ladevorgänge mit einem Ladehub von 90% des nutzbaren*** SOC) [%]	38,4	25,0	17,1	29,4
zurückgelegte Entfernung zwischen Ladevorgängen [km]	59,6 20,2 37,4 62,7	59,5 17,1 33,1 76,9	39,5 11,5 21,9 41,0	53,3 15,8 31,0 59,2
Anteil Ladevorgänge mit zuvor mehr als 40 km zurückgelegter Strecke [%]	46,9	36,5	25,6	38,5
Anzahl Ladevorgänge je Fahrtag [n]	1,0	1,3	1,8	1,2

* Um die Breite des Nutzerverhaltens darzustellen, werden neben Mittelwerten auch die Quartile als Lagemaße ausgewiesen. Lesebeispiel Segment PRIVAT, Zeile „Dauer je Ladevorgang“: Die mittlere Ladedauer liegt bei 5:53 hh:mm (=Mittelwert). 50% der Ladevorgänge dauern zwischen 1:53 hh:mm (=unteres Quartil) und 4:23 hh:mm (=oberes Quartil), jeweils ein Viertel der Ladevorgänge dauert weniger als 1:53 hh:mm oder länger als 4:23 hh:mm. 50% der Ladevorgänge dauern weniger als 3:07 hh:mm (=Median).

** Insbesondere die Mittelwerte sind hier anfällig für Verzerrungen durch sehr lange Ladevorgänge, die sich aus einem Wechsel von Energieentnahme und Energierückspeisung ergeben.

*** In der Batterie verbleibt eine Restmenge Energie, die den Nutzer(inne)n nicht angezeigt wird und in der Regel nicht nutzbar ist. Für die Analysen wurde die nutzbare Energiemenge auf 100% skaliert.

Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

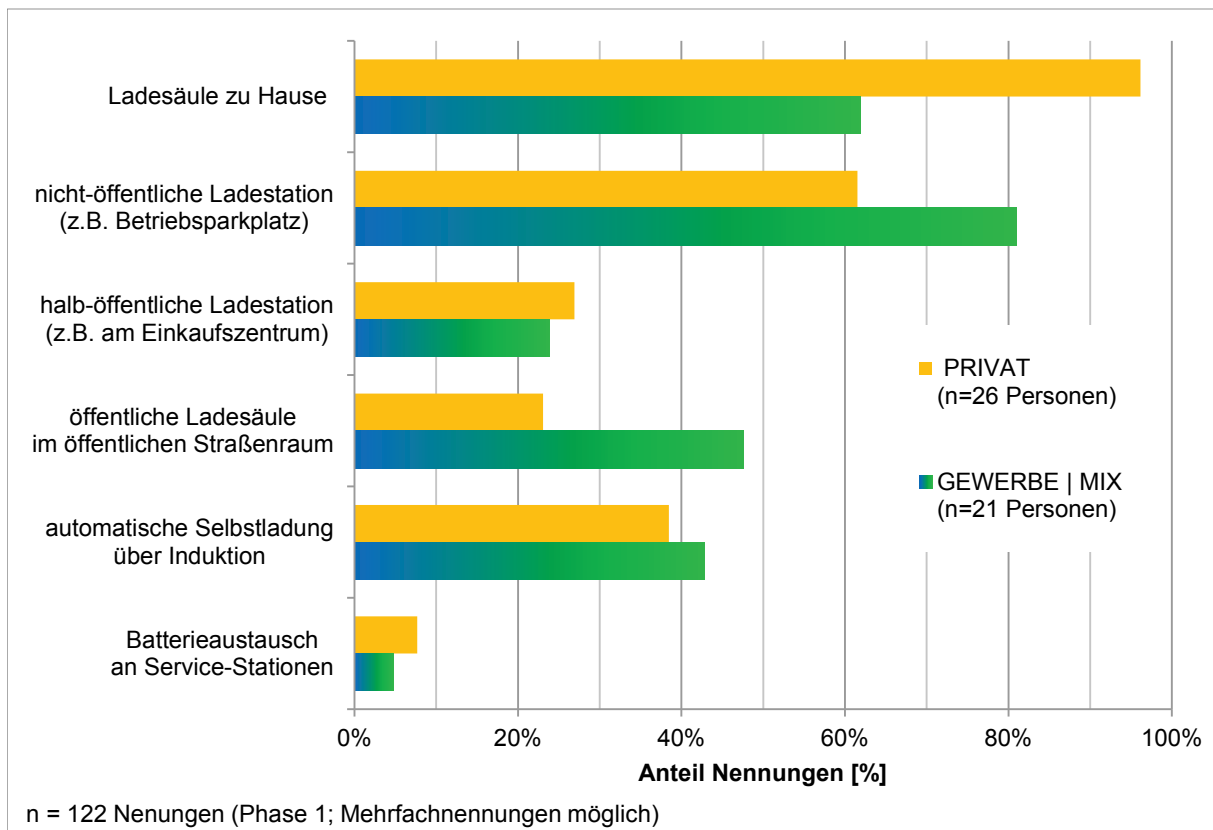
Am Beispiel der mittleren Ladedauer der einzelnen Nutzer(innen) wird die Variabilität des Nutzerverhaltens innerhalb der Segmente deutlich: In allen Segmenten gibt es Nutzer(innen) mit besonders langen und solche mit kurzen durchschnittlichen Ladedauern. Die mittlere Ladedauer größtenteils zwischen 2 und 3,5 Stunden.

6.3.1 Ladeorte und Ladegelegenheiten

Bei der Frage nach bevorzugten Ladeorten wird die Präferenz der Fahrer(innen) zum Laden zu Hause sowie an nicht-öffentlichen Ladestationen (z. B. auf dem Betriebsgelände) deutlich (Abb. 6-38). Dabei nennen vor Beginn der TwinDRIVE-Nutzung fast alle Privatanutzer(innen) die Ladesäule zu Hause als bevorzugten Ladeort. Gewerbliche und Mischnutzer(innen) ziehen entsprechend ihres anders gearteten Nutzungskontextes die Aufladung auf dem Betriebsgelände vor. Dies sind die Orte, an denen im jeweiligen Segment im Zuge des Flottenversuchs Lademöglichkeiten zur Verfügung standen. Prägnant zeigt

sich zudem, dass eine öffentliche Ladeinfrastruktur von privaten Nutzer(inne)n deutlich seltener genannt wird als von gewerblichen und Mischnutzer(inne)n.

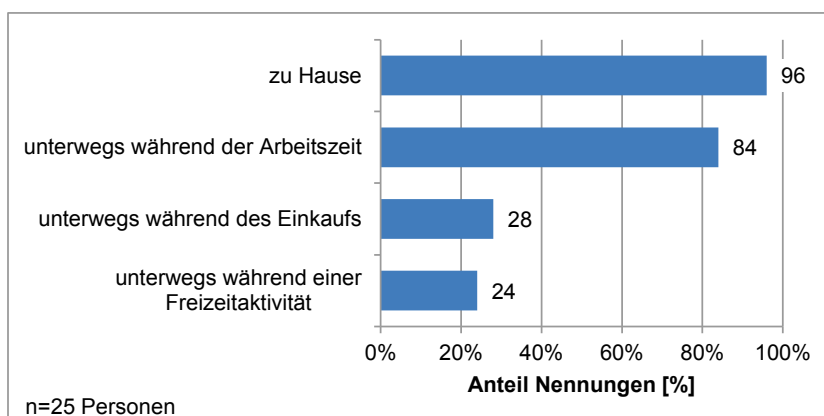
Abb. 6-38: Bevorzugter Ladeort nach Nutzungssegment



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Bei Betriebsleiter(inne)n oder Personen mit entsprechender Entscheidungsbefugnis wird die Präferenz zum Laden auf dem Betriebsgelände (an nicht-öffentlichen Ladestationen) noch deutlicher: Rund 80% der betrieblichen Entscheidungsträger(innen) bevorzugen diesen Ladeort. Zwei Drittel der Betriebsleiter(innen) nennen daneben die private Ladung zu Hause und messen - verglichen mit den jeweiligen Fahrer(inne)n der Betriebe – der öffentlichen Ladeinfrastruktur weniger Bedeutung bei: Lediglich von zwei Betrieben wird die Nutzung von öffentlichen Ladesäulen im öffentlichen Raum genannt, halb-öffentliche Ladestationen, beispielsweise an Einkaufszentren, werden nicht genannt.

Abb. 6-39: Bevorzugte Gelegenheit zum Aufladen der Batterie (nur PRIVAT)



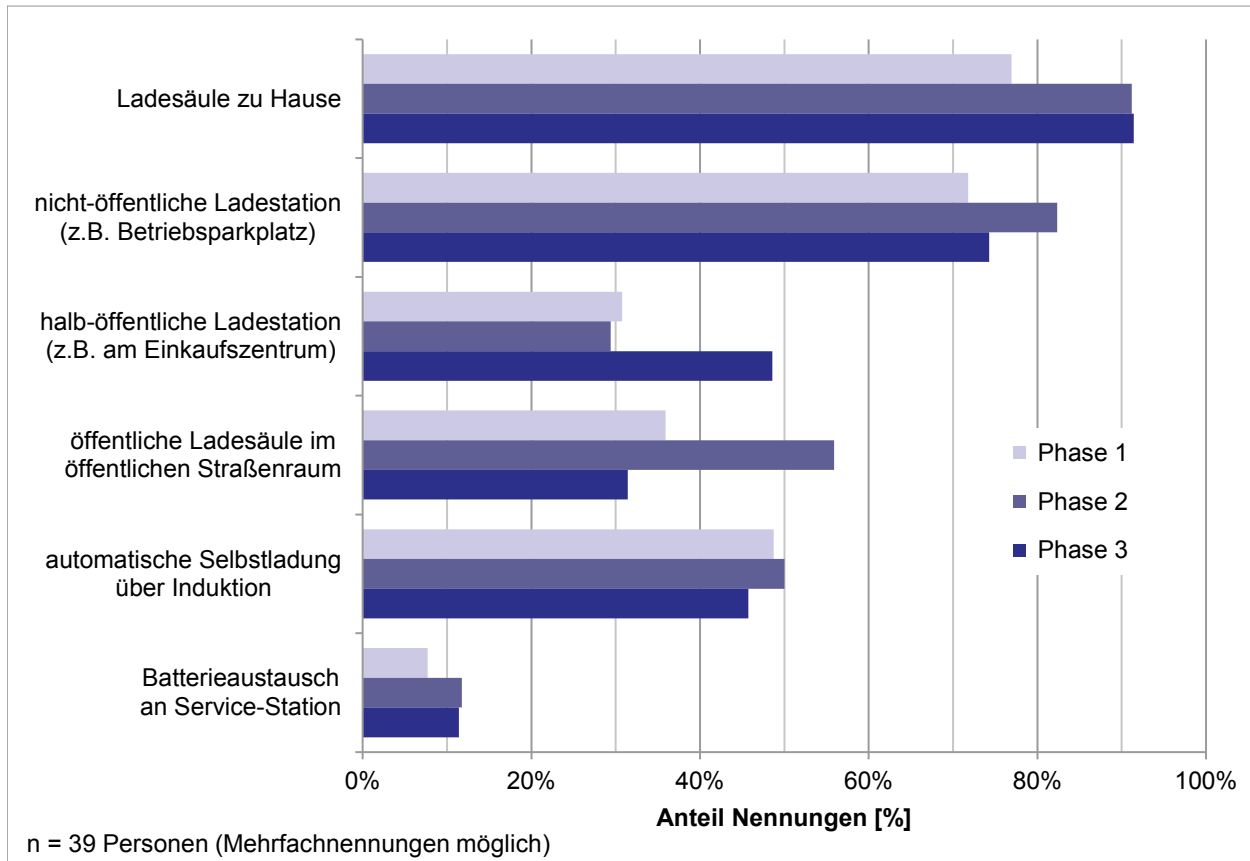
Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

In Zusammenhang mit bevorzugten Ladeorten wurden private Fahrer(innen) in der Vorversuchsphase auch nach der bevorzugten Ladegelegenheit gefragt (Abb. 6-39). Analog zu den Ladeorten zeigt sich eine deutliche Präferenz zum Laden zu Hause und während der Arbeitszeit.

Die Frage nach den präferierten Ladeorten wurde im Verlauf wiederholt gestellt, um Meinungsänderungen

der Teilnehmer(innen) und den Einfluss praktischer Erfahrungen auf deren diesbezügliche Einschätzung zu untersuchen (Abb. 6-40). Dabei wird die weiter zunehmende Bedeutung des privaten Ladens zu Hause deutlich. Im Laufe des Flottenversuchs nennen sämtliche Privat- und Mischnutzer(innen) die Ladesäule zu Hause als bevorzugten Ort zum Aufladen der Batterie. Auch bei rein gewerblicher Nutzung wird diese Option häufiger genannt. Analog wird bei gewerblicher und Mischnutzung die nicht-öffentliche Ladestation auf dem Betriebsgelände im Versuchsverlauf häufiger als bevorzugt genannt. Auf geringerem Niveau werden zum Versuchsende hin von beiden Gruppen halb-öffentliche Ladesäulen häufiger genannt.

Abb. 6-40: Entwicklung der bevorzugten Ladeorte im Versuchsverlauf



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Auch in Interviews wurden die Teilnehmer(innen) in offenen Fragen nach den genutzten Ladeorten befragt. Dabei wurden bis auf wenige Ausnahmen die Orte „zu Hause“ und „Arbeitsplatz/ Studienort“ genannt. Andere Orte wie „überall, wo es möglich ist“ oder „beim Kunden“ wurden nur in Einzelfällen genannt; (halb-)öffentliche Ladestationen wurden nicht explizit genannt.

"[...] mit unterschiedlichem Erfolg. Am besten geht es im Parkhaus, [...] da parkt man länger. Umständlich war das mit der Ladeerlaubnis: Zunächst braucht man eine Berechtigung."

Befragt nach weiteren Ladeorten gibt die Hälfte der Teilnehmer(innen) an, das Fahrzeug während des Versuchs nicht nur an der „eigenen“ Lademöglichkeit zu Hause (bei Privatnutzung) oder am Arbeitsplatz (bei betrieblicher Nutzung), sondern auch an anderen Orten geladen zu haben. Dabei nutzten mehr private als gewerbliche oder Mischnutzer(innen) andere Ladeorte. Auch waren die Ladeorte der Privatnutzer(innen) vielfältiger. So wurde bei

der Familie/ Freunden, am Arbeitsplatz/ Studienort und im Urlaub geladen. Ein(e) Privatnutzer(in) lud zudem im Parkhaus. Bei den gewerblichen und Mischnutzer(inne)n wurde als weiterer Ladeort dagegen ausschließlich „zu Hause“ genannt.

Bei den Privatnutzer(inne)n zeigt sich zudem ein verändertes individuelles Ladeverhalten: Gaben während der Nutzungsphase noch fast alle Interviewpartner(innen) an, den TwinDRIVE sofort aufzuladen,

sobald die Gelegenheit dazu besteht, beschrieben zum Ende des Versuchs nur knapp zwei Drittel ihr Ladeverhalten entsprechend. Dies spricht für eine zunehmende Gewöhnung an verfügbare Reichweiten und einen sichereren Umgang mit den Charakteristika der Technologie und hat mittelfristig Auswirkungen auf die tageszeitlichen Lade- und Lastkurven (vgl. Abschnitt 6.3.2).

Öffentliche Ladeinfrastruktur

Hinsichtlich der Bedeutung der Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum zeigt sich zwischen den Segmenten eine konträre Entwicklung: Fahrer(innen) der beiden betrieblichen Segmente nennen die öffentliche Ladeinfrastruktur nach der Testphase seltener, Privatnutzer(innen) hingegen häufiger. Demgegenüber wird von den Privatpersonen jedoch dem Vorhandensein von öffentlicher Ladeinfrastruktur als Kaufkriterium für Elektrofahrzeuge im Versuchsverlauf abnehmende Bedeutung beigemessen (vgl. Abschnitt 6.5.2).

"[...] habe eine Lademöglichkeit zu Hause und sehe – vielleicht noch am Arbeitsplatz – für mich keinen Bedarf an Ladesäulen [...]"

Gleichzeitig wird der persönliche Kenntnisstand zur öffentlichen Ladeinfrastruktur im Versuchsverlauf im Mittel positiver eingeschätzt: Fühlten sich vor Beginn des Flottenversuchs noch 50% der Teilnehmer(innen) „sehr schlecht“ oder „schlecht“ informiert, sind es mit Abschluss des Versuchs nur noch 30%, die ihren Kenntnisstand mit „schlecht“ bewerten; „sehr schlecht“ informiert fühlt sich niemand.

Knapp die Hälfte der Teilnehmer(innen) wünscht sich die Möglichkeit der technisch aufwendigen Selbstladung über Induktion (vgl. Abb. 6-40). Dabei verliert der Wunsch nach dieser Technik über die Phasen des Versuches bei privaten Fahrer(inne)n allerdings kontinuierlich an Relevanz, von betrieblichen Nutzer(inne)n wird sie hingegen öfter gewünscht. Auf insgesamt wenig Interesse stößt der Batterietausch an Servicestationen. Dabei wird diese Option im Verlauf des Flottenversuchs von insgesamt rund 20% der betrieblichen Nutzer(innen) gewünscht, Privatnutzer(innen) sehen geringeren Nutzen.

Insgesamt halten während des Flottenversuchs rund 78% der Befragten eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für erforderlich. Nach Abschluss des Versuches sinkt dieser Anteil leicht auf knapp 74%. Wieder zeigt sich, dass gewerbliche Nutzer(innen) der öffentlichen Infrastruktur größere Bedeutung beimessen als private und Mischnutzer(innen). Im privaten Segment sind größere Veränderungen in Form abnehmender Bedeutung zu beobachten.

„Sobald sich die Ladezeit verkürzt. Also dreieinhalb, vier Stunden dauert die Ladezeit ja. Von daher kann ich mir persönlich nicht vorstellen, dass ich ein Fahrzeug irgendwo abstelle und dann zur Arbeit laufe oder mit den Öffentlichen hinfahre und ihn dann wieder abhole. Das ist schwierig.“

Bezüglich der Ausgestaltung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur gibt es allerdings unterschiedliche Vorstellungen bei den Teilnehmer(inne)n. Unabhängig vom Segment stimmen die meisten der Notwendigkeit

„An guten Orten, zum Beispiel Parkhaus Innenstadt, Freizeiteinrichtungen, Shopping-Center. Nicht an der Tankstelle, weil ich da nicht dreieinhalb Stunden bin.“

einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur uneingeschränkt zu, da sie in dieser die Voraussetzung für eine flexible Nutzung des Fahrzeugs und damit der Elektromobilität sehen. Ebenfalls ein großer Teil der Befragten schränkt den vorangegangenen Wunsch jedoch insofern ein, als dass sie den Ausbau einer Ladeinfrastruktur nur an besonderen Knotenpunkten als sinnvoll erachten, die regelmäßig und dann vor allem über eine längere Zeitspanne frequentiert werden.

An dieser Stelle werden beispielsweise Einkaufszentren, Kinos, Parks oder andere Freizeiteinrichtungen genannt.

Alternativ zu einer Kopplung mit längeren Aufenthaltsdauern sehen einige Nutzer(innen) auch in einer Schnellladung die Prämisse für eine öffentliche Ladeinfrastruktur, so dass keine speziellen Anforderungen an den Ladeort mehr gestellt werden müssten. Andere Teilnehmer(innen) geben zwar an, Lademöglichkeiten im öffentli-

„Wenn man mit dem Auto verreisen möchte, dann kann man ja nicht jeden Abend nach Hause fahren.“

chen Raum nicht als bedeutsam zu erachten, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass zu Hause sowie am Arbeitsplatz ausreichende Lademöglichkeiten vorhanden sind. Aspekte wie Kosten, Angst vor Diebstahl oder fehlender Steckerkompatibilität spielen dagegen bei der Beantwortung der Fragestellung nur eine untergeordnete Rolle.

Zusammengefasst halten viele Nutzer(innen) eine öffentliche Ladeinfrastruktur generell für wünschenswert. Bevorzugt nutzen möchten diese Infrastruktur jedoch nur wenige Nutzer(innen). Hier fallen besonders gewerbliche und Mischnutzer(innen) auf, deren Betriebsleiter(innen) einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wiederum weniger Bedeutung beimessen. Insgesamt sprechen die Ergebnisse für eine psychologische Komponente der Ladeinfrastruktur. Entsprechende Ergebnisse zeigen Versuche in Japan, wonach nach der Etablierung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur die Batteriekapazität der Elektrofahrzeuge deutlich stärker ausgenutzt wurde, ohne dass die Ladeinfrastruktur substanziell genutzt wurde (vgl. ELECTRIFICATION COALITION 2009, S. 97).

Aufpreisbereitschaft für Strom an öffentlicher Ladeinfrastruktur

Die große Mehrheit der privaten Nutzer(innen) ist vor dem Hintergrund der Kosten für Aufbau und Betrieb der öffentlichen Ladeinfrastruktur dann jedoch bereit, für das Laden an einer öffentlichen Ladesäule einen höheren Strompreis zu zahlen als zu Hause. Es werden zusätzliche Zahlungsbereitschaften von bis zu 15 ct und damit 75% des für den privaten Bereich zugrunde gelegten Strompreises von 20 ct angegeben. Im Mittel liegt die Zahlungsbereitschaft um 6 ct bzw. 30% über dem angenommenen Strompreis und bleibt im Versuchsverlauf mit leicht positiver Tendenz vergleichsweise stabil.

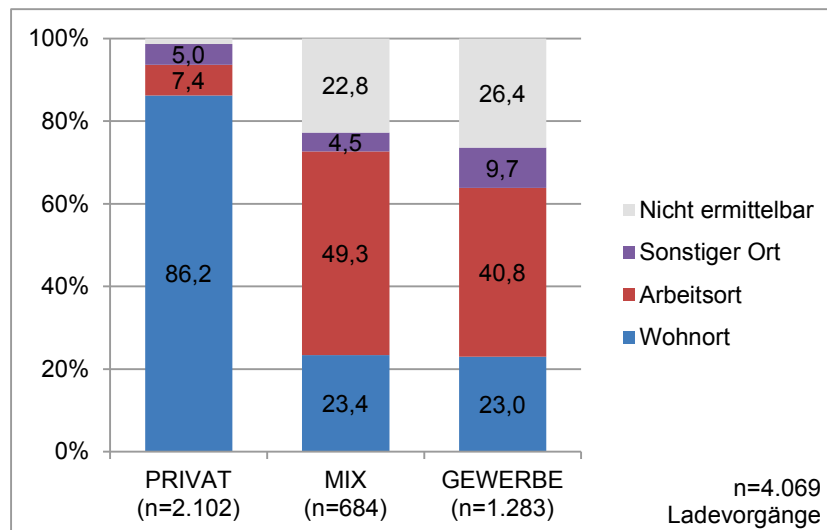
Fahrer(innen) des gewerblichen und Mischsegmentes geben ebenfalls an, an öffentlichen Ladesäulen bis zu 15 ct mehr zahlen zu wollen. Bezogen auf den für diese Segmente angenommenen Nettostrompreis von 15 ct stellt dies eine Verdoppelung des Strompreises dar. Die mittlere Aufpreisbereitschaft beträgt rund 9 ct beziehungsweise 60%. Mit genannten Preisen von 7 ct im Mittel und maximal 9 ct sind die antwortenden Betriebsleiter(innen) zurückhaltender als ihre Fahrer(innen). Allerdings machen zwei Drittel der Betriebsleiter(innen) überhaupt keine Angabe zur Aufpreisbereitschaft. Aufgrund der hypothetischen Fragestellung der Aufpreisbereitschaft ist zudem unsicher, inwieweit das reale Verhalten den gegebenen Antworten entspräche. Darüber hinaus konnte im Versuchsverlauf auch gezeigt werden, dass viele Teilnehmer(innen) auch nach sechsmonatiger Nutzung des Fahrzeugs noch kein Gefühl für die Kosten einer vollständigen Ladung der Batterie aufbauen konnten (vgl. Abschnitt 6.4).

Bedeutung Schnellladesäulen

Vor dem Hintergrund einer zeitaufwändigen Batterieladung mit der maximalen Leistung von 3,6 kW im gängigen einphasigen Wechselstromnetz (eine vollständige Ladung einer leeren Batterie dauert im besten Fall also rund 3 Stunden) wünscht sich ein großer Teil der Teilnehmer(innen) die Möglichkeit zur Schnellladung auch dann, wenn dies die Batterie zusätzlich belastet. 45% der Befragten halten die Schnellladung für „sehr wichtig“ oder „eher wichtig“, ein fast ebenso großer Teil der Befragten zeigt sich mit „teils, teils“ unentschlossen, 14% halten die Schnellladung für „eher unwichtig“. Dabei zeigen sich insgesamt kaum Veränderungen im Versuchsverlauf, aber Unterschiede zwischen den Segmenten: So halten gewerbliche und Mischnutzer(innen) die Schnelllademöglichkeit für deutlich wichtiger als private Nutzer(innen).

Anhand der Interviews kann zwischen gewerblichen und Mischnutzer(inne)n eine weitere Differenzierung in der Einschätzung belegt werden. Demnach schätzen nahezu alle gewerblichen Fahrer(innen) die Bedeutung von Schnellladesäulen zum Aufladen des TwinDRIVE als „hoch“ oder „sehr hoch“ ein. Von mehreren Mischnutzer(inne)n wird hingegen angeführt, das schnelle Laden sei generell wünschenswert, für sie persönlich jedoch nicht notwendig. Auch wird die Notwendigkeit der Schnellladung im Fall von Plug-In-Hybridautos generell angezweifelt. Über den Versuchsablauf ist im MIX-Segment eine abnehmende Tendenz in der Einschätzung der Bedeutung von Schnellladung erkennbar. Ähnlich sehen dies die Betriebsleiter(innen): Bei rein gewerblicher Nutzung wird die Schnellladung mehrheitlich als wichtig empfunden, bei Mischnutzung dagegen in der Mehrheit abgelehnt (vgl. hierzu auch Abschnitt 6.3.4).

Abb. 6-41: Ladevorgänge nach Ortstypen und Segmenten



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-41 zeigt die unterschiedlichen Ladeorte in den Segmenten. Besonders unterscheiden sich die Privatanutzer(innen) mit deutlich überwiegender Ladung am Wohnort von den gewerblichen und Mischnutzer(innen) mit vielen Ladevorgängen am Arbeitsplatz. Der Anteil der Ladungen an sonstigen Orten ist analog zum Antwortverhalten der Befragten gering. Dennoch fällt auf, dass auch von Nutzer(inne)n, die angeben, nicht an weiteren Orten geladen zu haben, einzelne

Ladevorgänge an anderen Orten beobachtet werden konnten. Bei einzelnen Fahrzeugen kam es zudem zeitweise zu Unterbrechungen der GPS-Koordinatenaufzeichnung, weshalb nicht alle Ladeorte räumlich zugeordnet werden konnten.

Die Analyse der Ladevorgänge nach Ortstypen bestätigt die Ergebnisse der segmentbasierten Auswertung mit großen Ladehuben am Wohnort.

6.3.2 Ladezeiten (Tagesgang)

Zu Beginn des Flottenversuches gaben sowohl die privaten als auch die gewerblichen und Mischnutzer(innen) an, vorwiegend die Abend- oder Nachtstunden für die Wiederaufladung der Batterie zu präferieren, während die mittleren Stunden des Tages weitgehend ausgeklammert wurden (Abb. 6-42).

Das tatsächliche Nutzungsverhalten zeigt jedoch ein beinahe komplementäres Bild: Praktisch über den ganzen Tag verteilt werden Ladevorgänge initialisiert, wobei das Nutzungssegment GEWERBE | MIX vor allem den Vormittag nutzt, die privaten Nutzer(innen) hingegen in etwas gleichmäßigerer Verteilung, aber zeitlich versetzt beginnen. Das tatsächlich Ladeprofil der gewerblichen Nutzer(innen) mit dem starken vormittäglichen Schwerpunkt lässt sich plausibel durch die im Betrieb/ am Arbeitsplatz in jedem Fall vorhandene Ladeeinrichtung erklären. Diese wird zum einen unmittelbar nach Eintreffen im Betrieb (sofern die Fahrzeuge von den Fahrer(inne)n nach Arbeitsende mit nach Hause genommen wurden), sowie zum anderen im Laufe des Arbeitstages für weitere Ladevorgänge zwischen einzelnen Fahrten im Rahmen der beruflichen Tätigkeit aufgesucht.

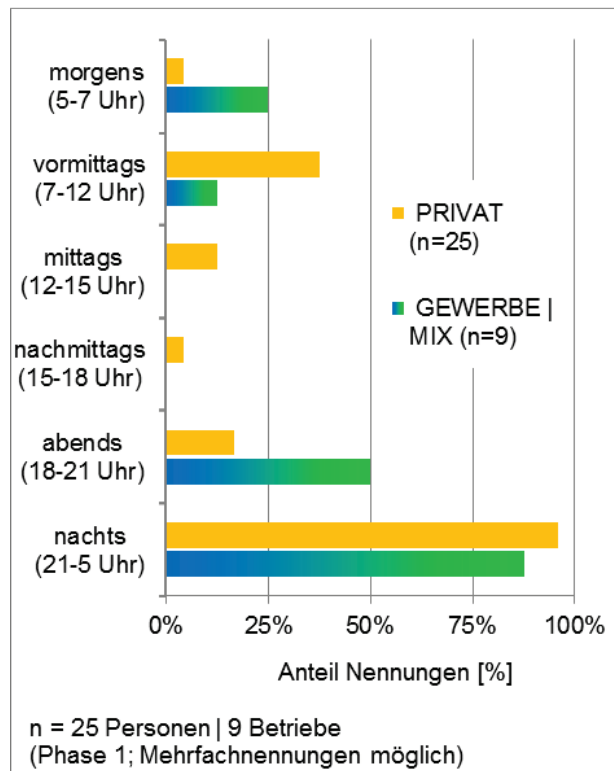
Im privaten Segment zeigt sich ein Nachfragemaximum in den Nachmittagsstunden. Hier wird das Fahrzeug in der Regel direkt nach der Ankunft zu Hause angeschlossen. Die diesbezüglichen Interviewaussagen lassen dabei auf unterschiedliches Ladeverhalten schließen. Die große Mehrheit der sich hierzu äussernden Privatanutzer(innen) gibt an, den TwinDRIVE sofort aufzuladen, sobald sich die Gelegenheit dazu ergibt. Dieses Verhalten scheint sich jedoch im Versuchsverlauf teilweise zu verändern. So geben während des Versuchs noch fast 95% der Nutzer(innen) an, das Fahrzeug bei jeder Gelegenheit aufzuladen, nach Abschluss des Versuches tun dies nur noch rund zwei Drittel.

„Wir schließen den Wagen abends erst dann an, wenn wir sicher sind, dass wir ihn nicht mehr benutzen.“

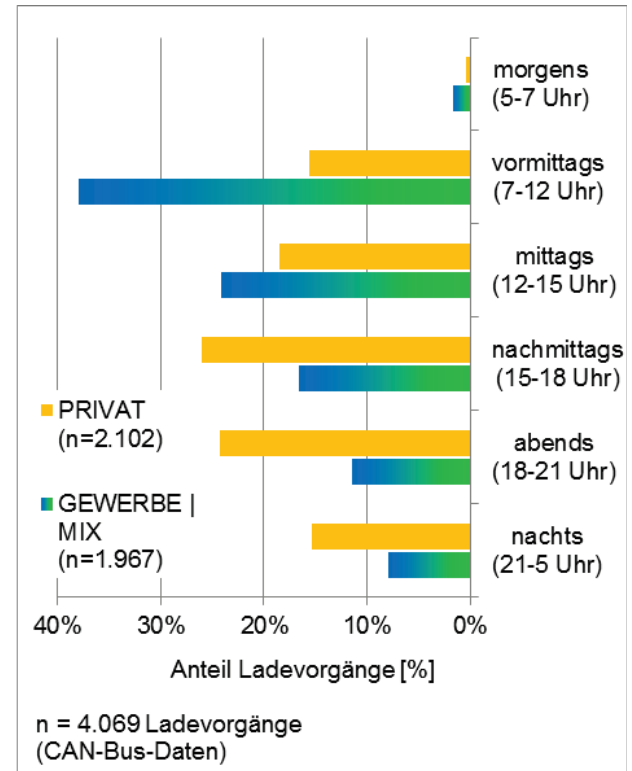
Abb. 6-42: Subjektiv bevorzugte und tatsächlich realisierte Ladezeitfenster nach Nutzungssegment

Bevorzugte Ladezeitfenster

(subjektive Präferenz der Personen)


Tatsächliche Ladestartzeiten

(Initialisierung des Ladens; Stecker gesteckt)



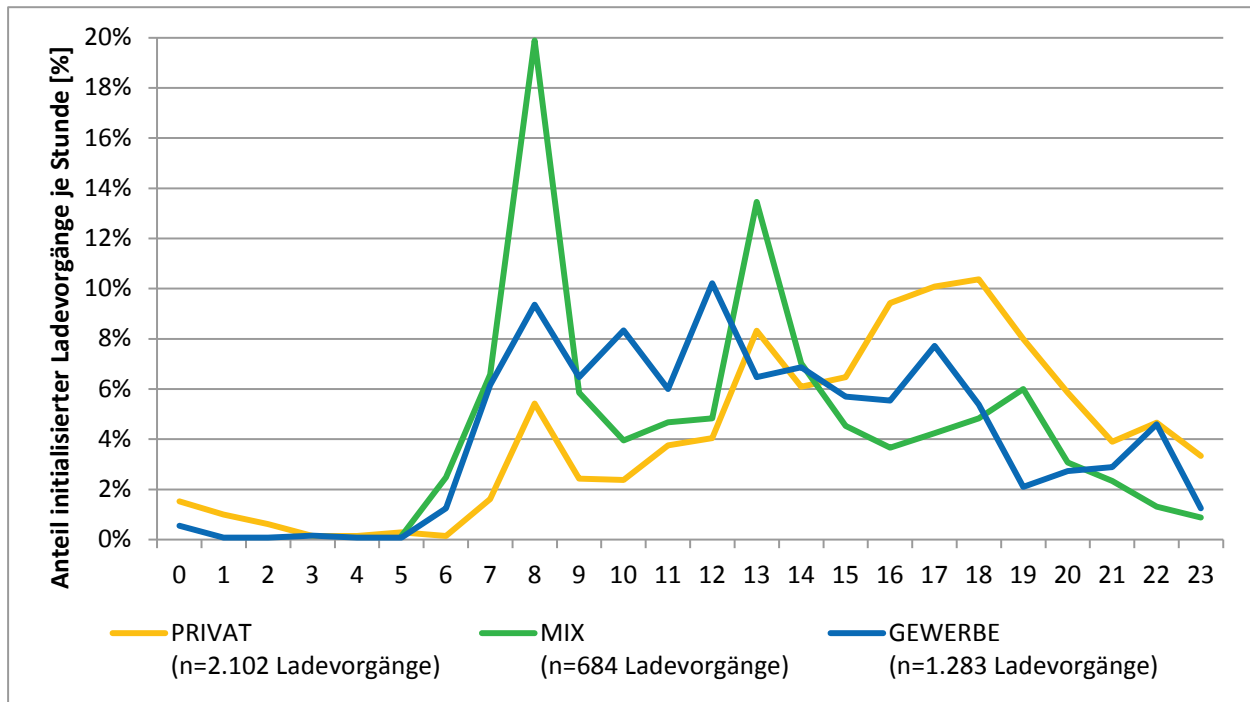
Quelle: EMOBIL 2012, EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

„[Ich lade] immer – weil ich nicht weiß, wann die nächste Fahrt ist.“

Offen nach den Ladezeiten gefragt, wird von der Mehrheit der Privatanutzer(innen) die abendliche oder nächtliche Ladung angegeben. Sehr häufig wird die Ladung darüber hinaus „bei jeder Gelegenheit“ durchgeführt oder „immer, wenn man zu Hause ist“.

Abb. 6-43 zeigt den detaillierten Tagesgang der Initialisierung des Ladevorgangs nach Nutzungssegmenten. Die Trends der morgendlichen Spitze der Ladeinitialisierung bei den Mischnutzer(inne)n, der vergleichsweise ausgeglichenen Verteilung der Ladevorgänge der gewerblichen Nutzer(innen) in den Tagstunden sowie der überwiegend abendlichen Ladung im privaten Segment werden deutlich.

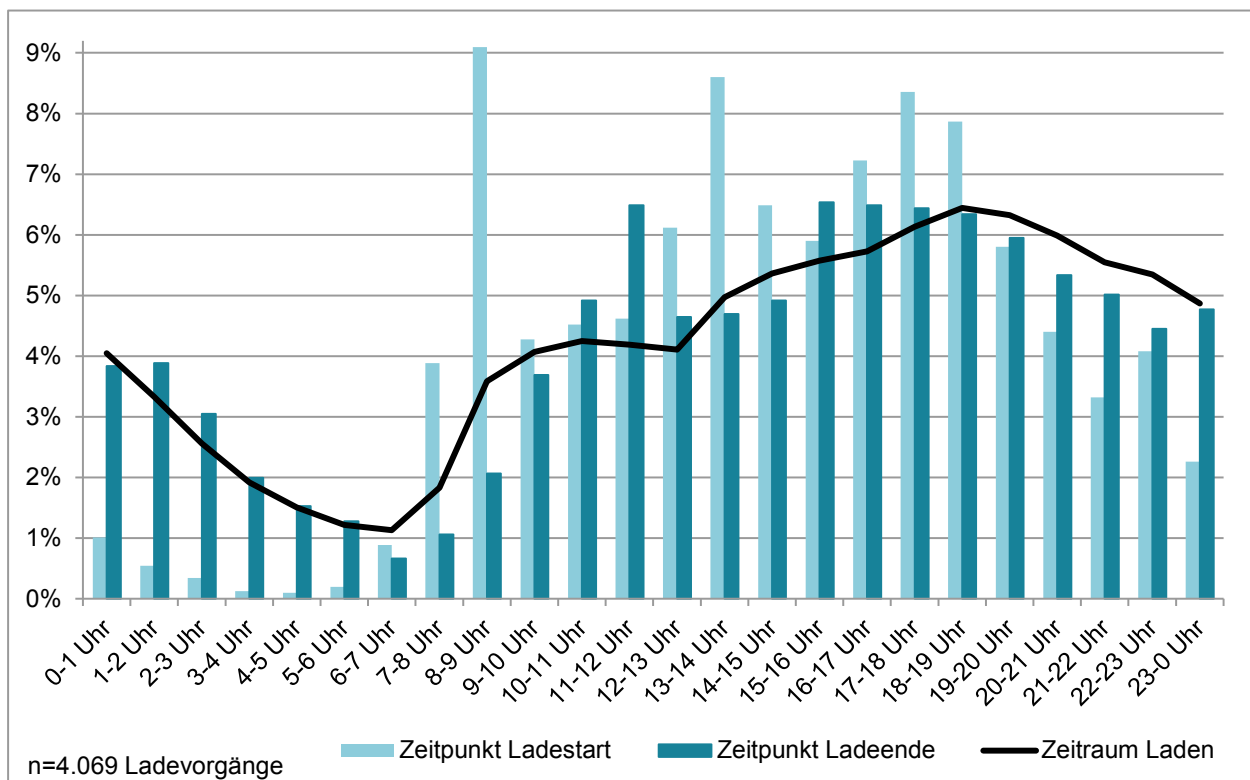
Abb. 6-43: Tagesganglinie des Ladens (Initialisierung)



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Die Initialisierung eines Ladevorgangs sagt jedoch noch nichts über die Länge des Ladevorgangs sowie die geladene Strommenge aus. Unter Beachtung der Dauer der jeweiligen Ladevorgänge zeigt Abb. 6-44 den Tagesgang der aggregierten Ladevorgänge. Es zeigt sich eine Verteilung mit vielen parallelen Ladevorgängen im Tagesverlauf. Sehr geringer Energiebedarf entsteht demnach in den frühen Mor-

Abb. 6-44: Tagesgang laufender Ladevorgänge nach Zeitpunkt von Ladestart und Ladende



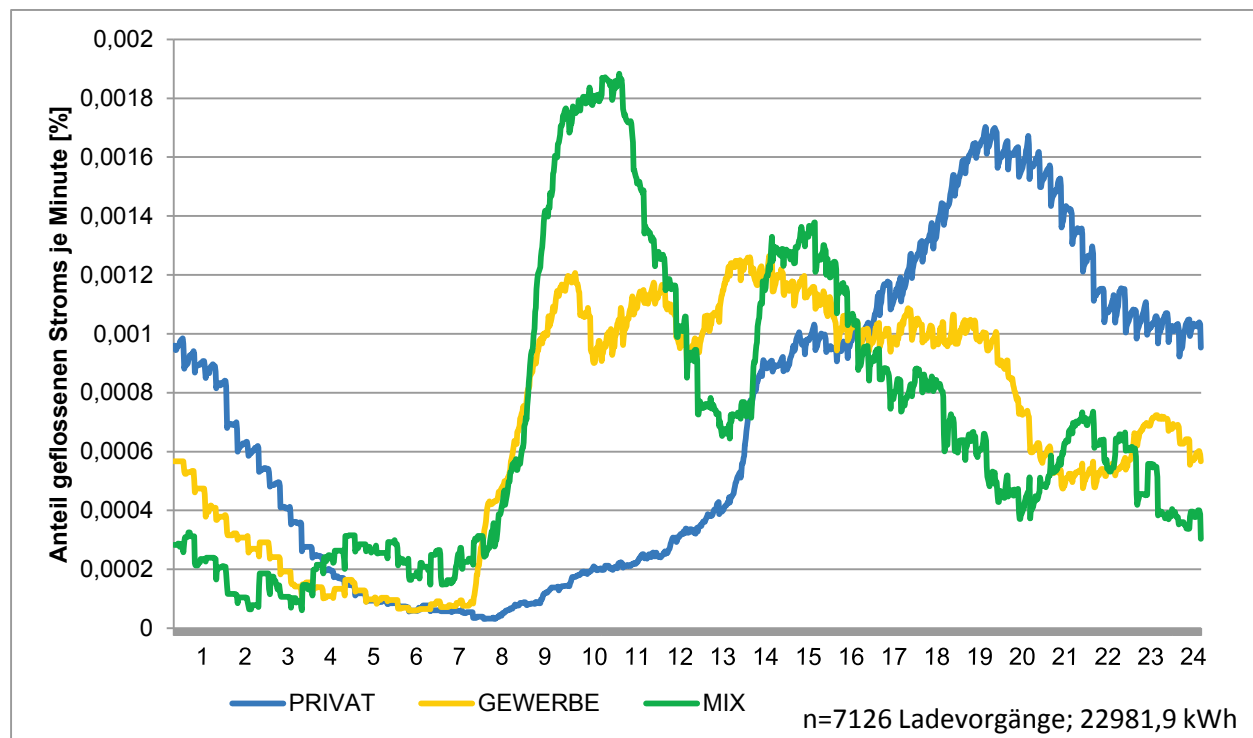
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

genstunden, ab 6 Uhr steigen die Ladevorgänge bis zu einem relativen Maximum um 10 Uhr stark an, die höchsten Energiebedarfe entstehen in den Abendstunden um 18 Uhr. Beim beobachteten Ladeverhalten entsteht der höchste Energiebedarf demnach zu Tageszeiten mit ohnehin hoher Nachfrage im Stromnetz. In den Niedriglastzeiten zwischen 2 und 5 Uhr wird auch die geringste Energiemenge zum Laden der Elektrofahrzeuge nachgefragt. Dies zeigt die Notwendigkeit der Nutzung intelligenter Ladetechnologien mit Festlegung der Ladezeiten durch den Energieversorger zur Entlastung der Stromnetze auf.

In der beobachteten zeitlichen Verteilung der Ladevorgänge ist der Energiebedarf von der Initialisierung des Ladens und dem anschließendem Beginn des Ladevorgangs abhängig. Wie beschrieben geschieht das Anschließen des Fahrzeugs an das Stromnetz in der Regel direkt nach dem Eintreffen am Wohn- oder Arbeitsort.

Abb. 6-45 zeigt den Tagesverlauf der Netto-Energieentnahme aus dem Stromnetz je Segment. Der Tagesgang der drei Nutzungssegmente unterscheidet sich deutlich und zeichnet das charakteristische Ladeverhalten nach. Demnach werden die privat genutzten Fahrzeuge vor allem am Nachmittag und am Abend geladen, das Maximum liegt etwa bei 19:30 Uhr. Bei den Privatanutzer(inne)n überlagern sich zwei unterschiedliche Verhaltensweisen: Deren überwiegende Mehrheit initialisiert die Ladevorgänge am frühen Abend; die spätabendlichen und frühmorgendlichen Energieflüsse gehen auf eine(n) Nutzer(in) mit Nachtstromtarif zurück.

Abb. 6-45: Tagesgang des Energieflusses aufgrund laufender Ladevorgänge



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

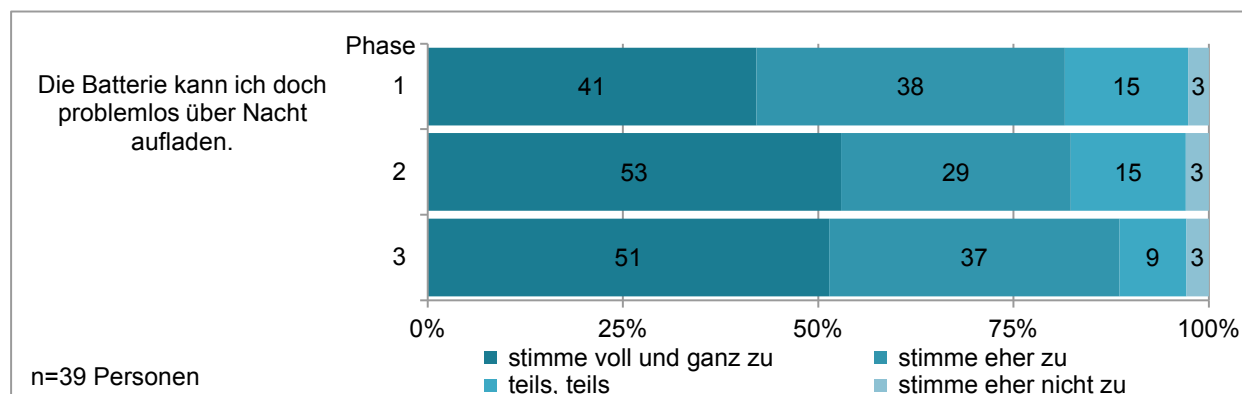
Gewerblich genutzte Fahrzeuge werden während der Nutzungszeiten zwischen 8 und 20 Uhr im Tagesverlauf aggregiert vergleichsweise gleichmäßig geladen.

Beim Energiefluss der Fahrzeuge in Mischnutzung sind im Tagesverlauf mehrere relative Maxima zu beobachten. Besonders viel Energie fließt demnach am Morgen zwischen 9 und 11 Uhr. Weitere Maxima liegen zwischen 14 und 16 Uhr sowie zwischen 21 und 23 Uhr. Dieses Muster mit hoher morgendlicher Nachfragespitze entsteht in der klassischen Dienstwagennutzung dadurch, dass die Nutzer(innen) das Fahrzeug einerseits nach Erreichen des Arbeitsplatzes zum Aufladen anschließen. Die relativen Maxima am Nachmittag und Abend hingegen resultieren aus Ladevorgängen nach der Arbeit, wobei sich die Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten am Wohnort sowie die verschiedenen Arbeitszeitmodelle (z. B. Halb- oder Ganztagsarbeit) unterschiedlich auswirken. Weiterhin wird die abendliche Nachfragespitze bei Ver-

fügbarekeit intelligenter Ladeinfrastruktur durch Energierückspeisung zeitlich überlagert und das relative Maximum somit nivelliert.

Der Großteil der Befragten hält die nächtliche Ladung für geeignet, um alltägliche Mobilitätsbedürfnisse zu realisieren. Über die Phasen des Flottenversuchs hinweg ist da bei eine steigende Zustimmung zur Batterieladung über Nacht zu verzeichnen (Abb. 6-46). Durch eine Veränderung des Verhaltens oder die Nutzung intelligenter Ladetechnologien könnten nicht nur der Ladevorgang in die frühen Morgenstunden verschoben und das Stromnetz entsprechend entlastet werden, sondern auch finanziell günstige Strompreise genutzt werden. Fahrzeughalter(innen) könnten auf diese Weise durch Energierückspeisung ins Netz finanziell profitieren. (vgl. Abschnitt 6.3.3).

Abb. 6-46: Praktikabilität der nächtlichen Ladung



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Zufriedenheit mit Lademöglichkeiten

Mit 80% ist der größte Teil der Privatanutzer(innen) mit der Lademöglichkeit zu Hause „sehr zufrieden“ oder „eher zufrieden“. Bei gewerblichen und Mischnutzer(inne)n war eine Lademöglichkeit zu Hause allerdings nicht zwingend vorgesehen, vielmehr wurde am jeweiligen Betriebsstandort eine Lademöglichkeit eingerichtet. Am Arbeitsplatz ist der Großteil der privaten Nutzer(innen) „sehr unzufrieden“ oder gibt an, die Zufriedenheit nicht beurteilen zu können. Beides kann als Fehlen einer Lademöglichkeit am Arbeitsplatz interpretiert werden. Gewerbliche und Mischnutzer(innen) hingegen sind mit den Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz größtenteils zufrieden.

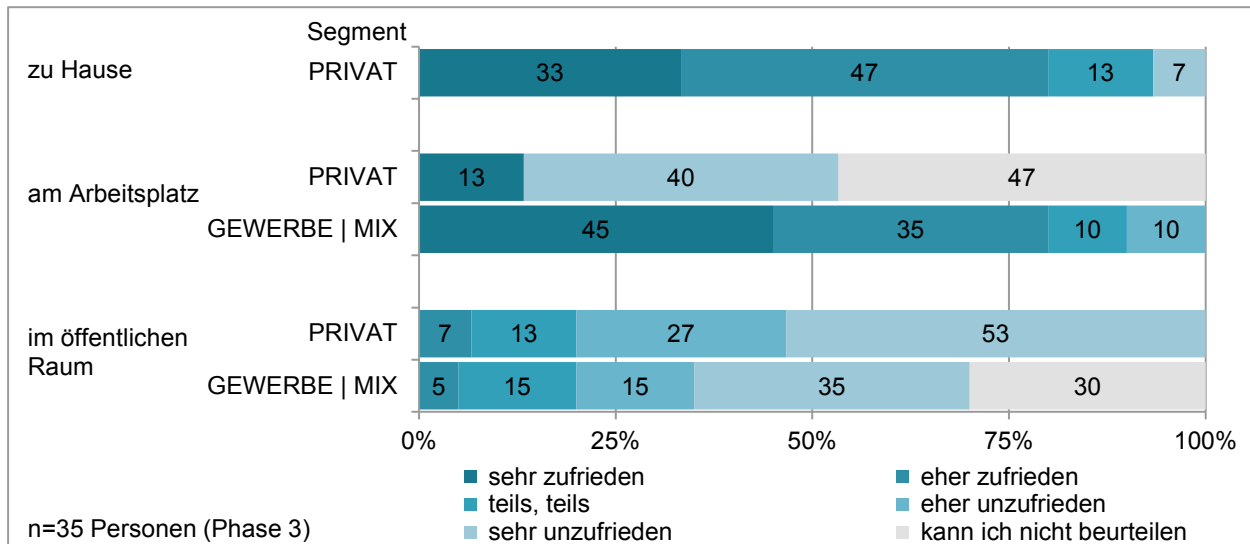
Mit Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum sind insgesamt rund 60% der Befragten „sehr unzufrieden“ oder „eher unzufrieden“. Allerdings würden auch nur rund 30% der Befragten bevorzugt öffentliche Ladeinfrastruktur nutzen (Abb. 6-47).

Der Aufwand beim Aufladen der Batterie wird sehr unterschiedlich wahrgenommen. Dabei beurteilen gewerbliche Nutzer(innen) im Vergleich zu den anderen beiden Segmenten den organisatorischen Aufwand

„Der organisatorische Aufwand ist ziemlich gering: Reinstöpseln und weggehen. Da ich nicht lange überlegen muss und die Steckdose im Carport ist, ist das einfach.“

unproblematischer. Sehr deutlich wird diese positivere Einschätzung des organisatorischen Aufwandes im Verlauf des Flottenversuchs: Beurteilten in Phase 2 noch 15 Teilnehmer(innen) den Ladeprozess als zu aufwändig und umständlich, taten dies in Phase 3 nur noch 6 Nutzer(innen). Auch der zeitliche Aufwand wird unterschiedlich eingeschätzt. Obwohl die meisten diesen als eher gering ansahen und im Versuchsverlauf eine positivere Einschätzung zu beobachten ist, schätzen einzelne Nutzer(innen) die Prozedur als zu zeitintensiv ein.

Abb. 6-47: Zufriedenheit mit Lademöglichkeiten an verschiedenen Orten



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Befragt nach der Handhabung von Ladekabel, Stecker und Ladesäule sieht über die Hälfte der Nutzer(innen) zudem noch Probleme. Am häufigsten werden dabei Handhabungsschwierigkeiten mit dem Kabel genannt (zu schwer oder unhandlich). Seltener werden eine umständlich Handhabung des Kabelfachs oder der Ladeklappe benannt. Einzelne Nutzer(innen) führen Probleme mit der Ladesäule oder Sicherheitsbedenken bei starkem Regen an.

„[...] möchte nicht jedes Mal meine Handtasche auf die Straße stellen müssen, um beide Hände frei zu haben. [...] Kabel recht schwer. [...] ein Rumgefummel. Wenn es dann klamm ist, frieren die Hände. Dann hat man das hoffentlich so schnell hingekriegt, dass an anschließend dann die Ladeklappe hinten aufkriegt. [...] leuchtet nicht ein, warum das alles so schwierig sein muss.“

6.3.3 Intelligentes Laden

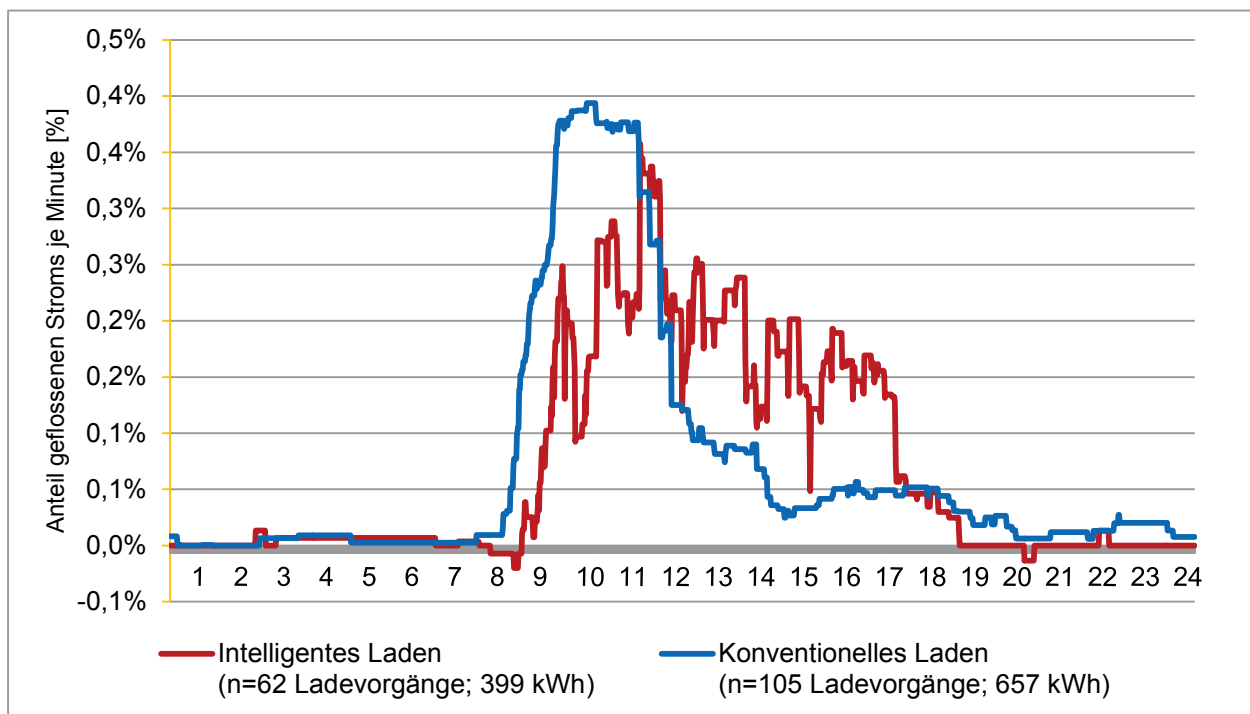
Im Flottenversuch wurden neben der konventionellen einphasigen Ladung insgesamt drei so genannte *intelligente* Lademöglichkeiten bereitgestellt, die zusätzlich sowohl eine Ladeplanung als auch die Rückspeisung von Energie ins Stromnetz ermöglichen (V2G = Vehicle to Grid). Die entsprechenden Nutzer(innen) konnten nach Beendigung der Fahrt über ein Menü den voraussichtlichen Startzeitpunkt ihrer nächsten Fahrt angeben; im Zusammenspiel von Fahrzeug und Ladeanlage wurde dann der Ladevorgang unter Ausnutzung besonders günstiger Strompreise gesteuert. War die geplante Standzeit länger als die notwendige Ladedauer, nutzte das Ladesystem bei entsprechendem Bedarf die Möglichkeit der Energierückspeisung ins Stromnetz. Für den Fall, dass die Nutzer(innen) sicherstellen wollten, die nächste, gegebenenfalls vor dem ursprünglich geplanten Startzeitpunkt liegende Fahrt in jedem Fall elektrisch realisieren zu können, bestand die Möglichkeit, einen beliebigen Teil der elektrischen Reichweite zu reservieren. Die hierfür voraussichtlich benötigte Energiemenge wurde vom Ladesystem durch die Entladevorgänge nicht unterschritten.

Wie oben gezeigt wurde, erzeugt das beobachtete Ladeverhalten der Nutzer(innen) durch die automatische Initiierung des Ladevorgangs beim Anstecken am Zielort zum Teil eine zeitlich ungünstige zusätzliche Energienachfrage in den frühen Abendstunden. Dies ist den eingeschränkten Möglichkeiten der konventionellen Ladung an ungesteuerten Ladeanlagen geschuldet. Insbesondere private Nutzer(innen) präferieren eine Ladung über Nacht (vgl. Abb. 6-44). Durch den automatischen Start der Ladung unmittelbar nach Anschluss ans Stromnetz ist diese jedoch häufig bereits am frühen Abend beendet.

Eine intelligente Ladetechnologie bietet hingegen die Möglichkeit, das Stromnetz durch flexibel ladende Fahrzeuge zu entlasten. Dabei bietet zunächst besonders das gesteuerte Laden in Schwachlastzeiten (vor allem nachts) und die Meidung von Hochlastzeiten Potenziale zur besseren Auslastung der Energienetze. Daneben können durch Energierückspeisung in das Stromnetz (V2G) Nachfragespitzen abgefedert werden.

Die Installation der intelligenten Ladeanlagen bei den drei Nutzern nach etwa der Hälfte der Versuchslaufzeit lässt den direkten Vergleich des Tagesgangs der Energieflüsse zwischen konventionellem und intelligentem Laden zu. Abb. 6-48 zeigt die unterschiedlichen Tagesgänge des Energieflusses bei einem Fahrzeug aus dem MIX-Segment, bei dem Lademöglichkeiten an den Wohnorten der Fahrer(innen) in der Regel nicht verfügbar waren und das Fahrzeug somit überwiegend am Arbeitsort geladen wurde (Taglader). Durch das verzögerte Einsetzen der Ladung am Vormittag kann die morgendliche Spitze der Energienachfrage nach Eintreffen am Arbeitsplatz entschärft werden. Darüber hinaus konnte beobachtet werden, dass vermehrt im gesamten Tagesverlauf geladen und somit beispielsweise ins Stromnetz eingespeister Solarstrom optimal ausgenutzt werden kann.

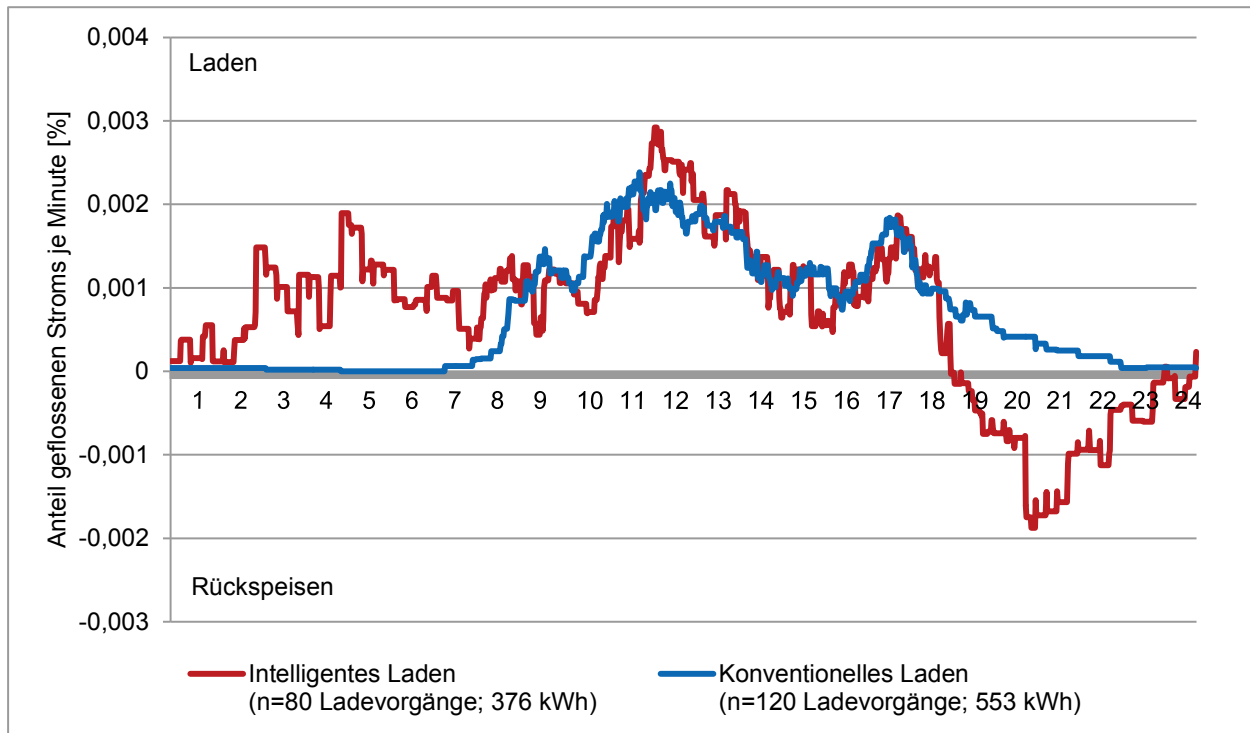
Abb. 6-48: Intelligentes vs. konventionelles Laden am Beispiel eines Tagladers



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Im Vergleich dazu sind in Abb. 6-49 die unterschiedlichen Tagesgänge konventioneller und intelligenter Ladung anhand eines Beispiels gewerblicher Nutzung dargestellt. Hier ist das Fahrzeug potenziell zu jeder Zeit am Netz. Mit intelligenter Ladetechnologie werden die frühmorgendlichen Schwachlastzeiten zur Beladung des Fahrzeugs ausgenutzt, am Abend hingegen wird Energie zurückgespeist.

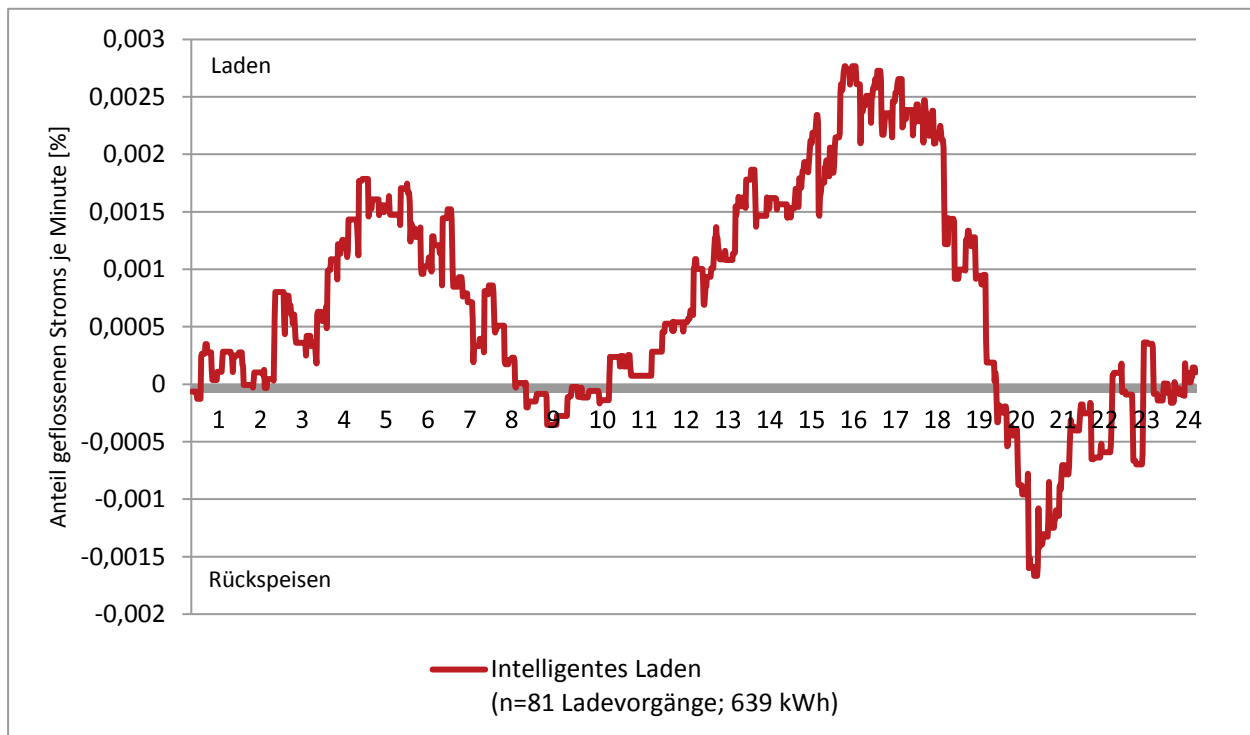
Abb. 6-49: Intelligentes vs. konventionelles Laden am Beispiel eines gewerblichen Nutzers



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Ein Fahrzeug wurde fast ausschließlich mit intelligenter Ladetechnologie geladen und befand sich zudem besonders häufig am Netz. Hier zeigt sich die Funktion der Fahrzeugbatterie als Stromspeicher besonders anschaulich. Geladen wird in der Schwachlastzeit der frühen Morgenstunden und am Mittag oder Nachmittag. Zurückgespeist wird Energie zur abendlichen Spitzenlastzeit und am Morgen (Abb. 6-50).

Abb. 6-50: Tagesgang des intelligenten Ladens bei hoher Verfügbarkeit des Fahrzeugs am Netz



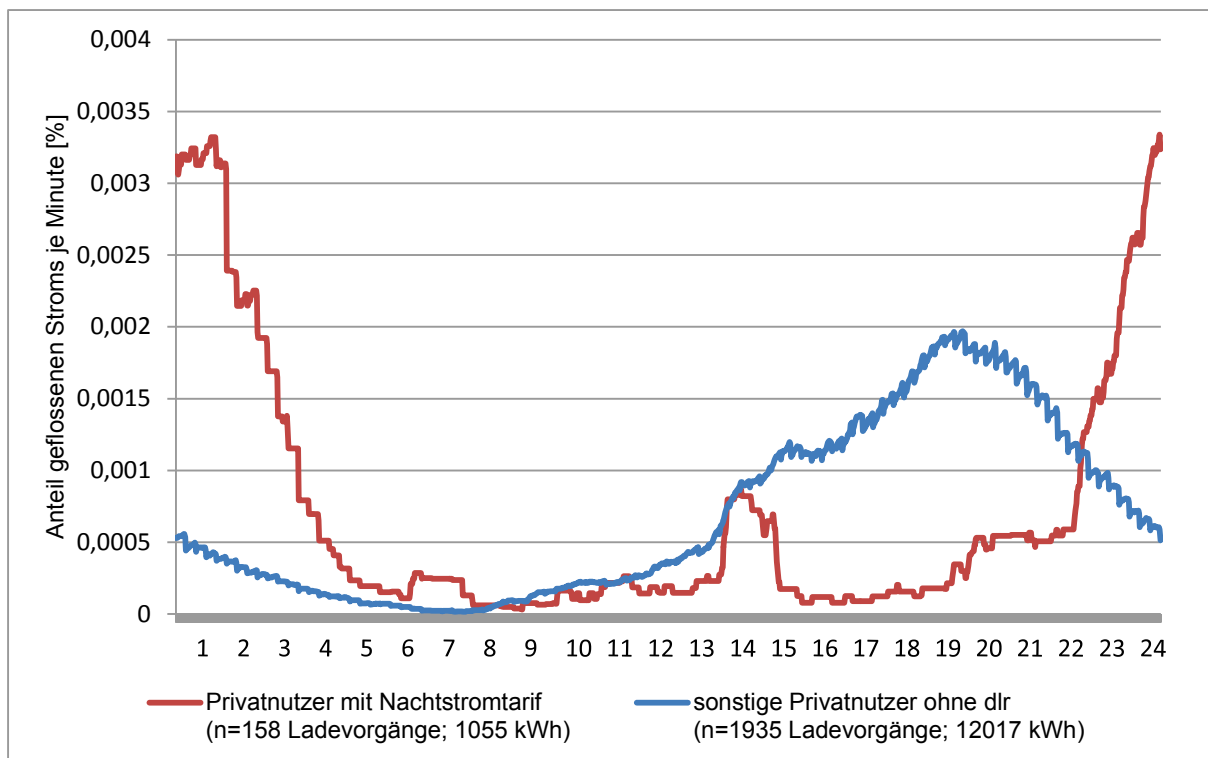
Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Die gesteuerte Ladung von Fahrzeugen und Rückspeisung von Energie ins Stromnetz kann neben Vorteilen für das Energiesystem auch monetäre Vorteile für den Fahrzeugnutzer(innen) bieten. Die Steuerung der Ladevorgänge mittels intelligenter Lademöglichkeiten basiert auf unterschiedlichen Preisen für elektrische Energie im Tagesverlauf, welche weitestgehend mit der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom im Netz zusammenhängt. Durch die Entnahme von Energie bei geringer Nachfrage einerseits und gegebenenfalls die Rückspeisung von Energie bei hoher Nachfrage und entsprechend höheren Preisen andererseits können Kosten gesenkt und Einnahmen erzielt werden.

Allerdings sind Ladeanlagen mit Rückspeisefähigkeit deutlich kostenintensiver, und insbesondere Privatpersonen sind in der Regel nicht bereit, viel Geld für eine solche Funktionalität auszugeben. Bei Privathaushalten liegt die Aufpreisbereitschaft für eine solche intelligente Ladeanlage bei durchschnittlich rund 380 €.

Daneben zeigt das Beispiel eines Privatinutzers mit speziellem Nachtstromtarif und entsprechend angepasstem Ladeverhalten, dass bereits durch einfache Mittel die Energienachfrage gezielt gesteuert werden kann. In Abb. 6-51 ist die Verteilung des Energieflusses im Tagesverlauf dargestellt. Gegenübergestellt sind der Energiefluss im Tagesverlauf des Privatinutzers mit Nachtstromtarif einerseits sowie der aggregierte Energiefluss aller sonstigen Privatinutzer(innen). Die Nutzung des besonderen Tarifes führt dabei zu deutlich abweichendem Ladeverhalten. Gegenüber der Gesamtheit der Privatinutzer(innen) wird der Ladevorgang durch spätere aktive Initialisierung oder die Nutzung einer Zeitschaltuhr deutlich später gestartet. Damit wird der größte Teil des Energiebedarfs des Fahrzeuges in der Schwachlastzeit der späten Abend- und frühen Morgenstunden gedeckt. Eine solche Lösung ist zum einen profitabel für den Nutzer, da die Kosten pro kWh Energie im Nachtstromtarif geringer sind und zum anderen netzverträglicher, da die Ladung zu Schwachlastzeiten stattfindet.

Abb. 6-51: Tagesgang des Ladens eines Privatinutzers mit Nachtstromtarif



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

6.3.4 Potenziale für weitere elektrische Kilometer bei anderem Ladeverhalten/ Infrastruktur

Zur Bestimmung des weiteren Potenzials der Elektromobilität wurde das beobachtete Fahrverhalten näher analysiert. In verschiedenen Szenarien wurden exemplarisch die maximal elektrisch zurückzulegen- den Kilometer für die beobachtete Fahrzeugnutzung ermittelt. Für die aufgezeichneten Wege wurde der elektrische Verbrauch unter maximaler Ausnutzung des E-MODES berechnet. Hierfür wurde der Durchschnittswert des Verbrauchs auf rein elektrischen Wegen zugrunde gelegt und die nutzbare Batteriekapa- zität ausgeschöpft.

Im Szenario „Ubiquitäre Normalladung“ wurde das Fahrzeug während Standzeiten von mehr als einer Stunde mit einer Ladeleistung von 3,1 kW nachgeladen. Dabei wurde der im Versuch beobachtete, um rund 6 Minuten verzögerte Beginn des Ladevorgangs berücksichtigt.

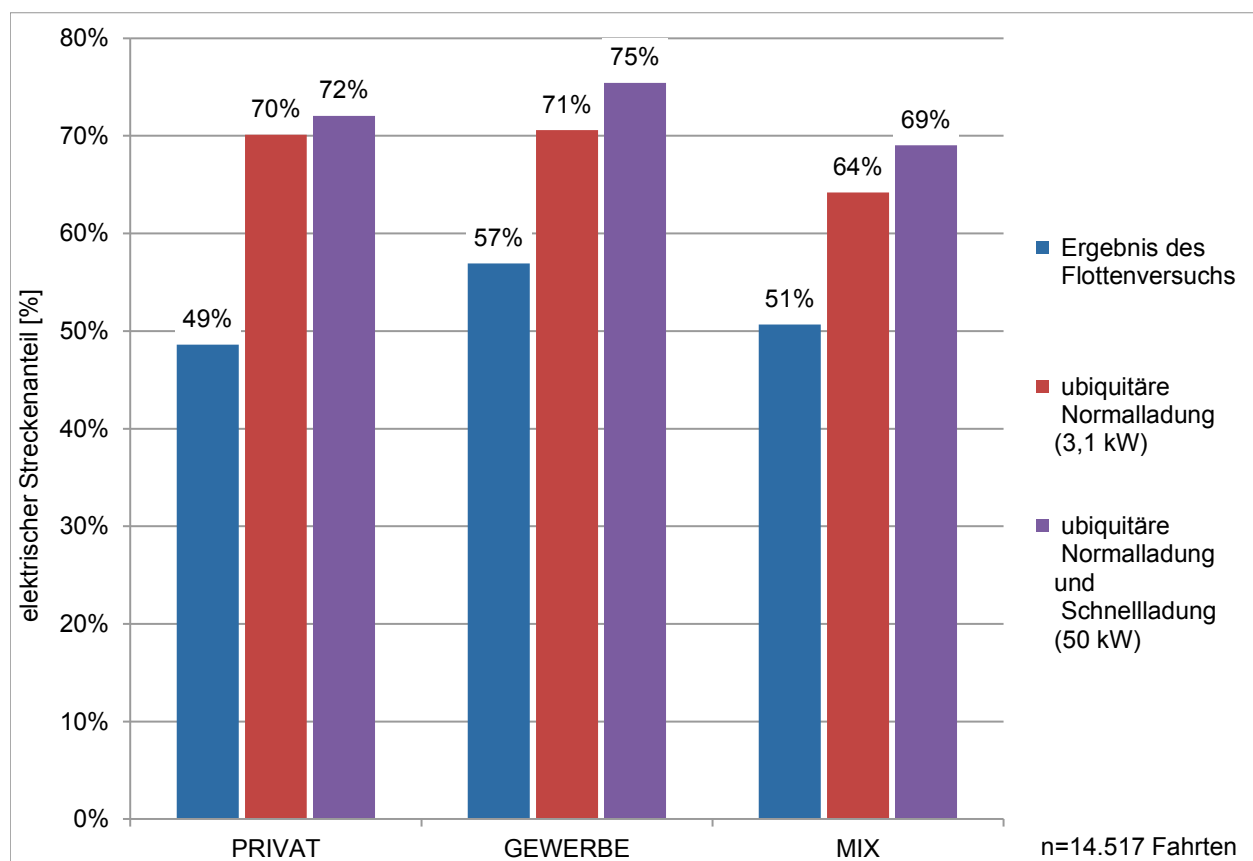
Im Szenario „Ubiquitäre Normalladung und Schnellladung“ wurde zudem eine Schnellladung simuliert, wenn die folgenden Kriterien erfüllt waren:

- Die Schnellladung führt gegenüber der Normalladung zu mindestens 20 km zusätzlich zurückgelegter elektrischer Strecke im Verlauf der nächsten zwei Fahrten.
- Vor der Schnellladung darf die Batterie einen nutzbaren SOC von höchstens 15% aufweisen.
- Die Batterie muss durch die Schnellladung auf mindestens 90% geladen werden, was einer Energie- menge von rund 6 kWh entspricht.

Bei Erfüllung dieser Kriterien startet die Schnellladung ohne Verzögerung mit einer Leistung von 50 kW.

In Abb. 6-52 sind die beobachteten Anteile rein elektrisch zurückgelegter Kilometer im Versuch (blau) so- wie die Anteile potenziell elektrisch zurücklegbarer Kilometer an allen Kilometern über die gesamte Nut- zungsdauer des TwinDRIVES in den beschriebenen Szenarien nach Nutzungssegment dargestellt.

Abb. 6-52: Potenziale für elektrische Kilometer



Quelle: EMOBIL CAN-Bus 2012. Eigene Berechnungen.

Mit rund 20% fällt das Potenzial für zusätzliche elektrisch fahrbare Kilometer bei entsprechend konsequenter Nutzung des E-MODES und konsequentem Nachladen (vorbehaltlich der Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten) im Szenario „Ubiquitäre Normalladung“ gegenüber den beobachteten Anteilen des Flottenversuchs beträchtlich hoch aus.

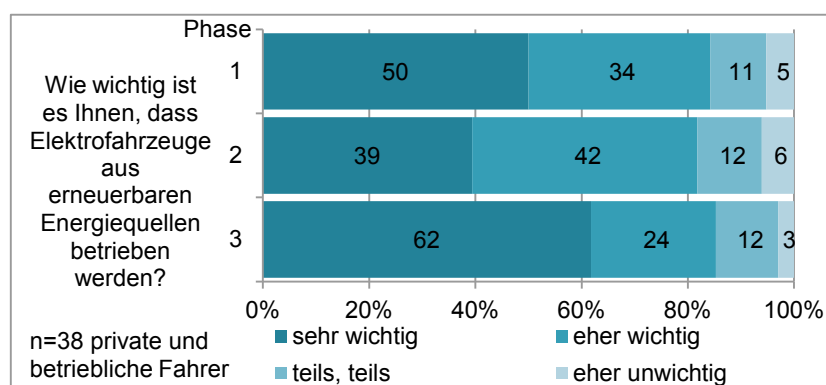
Diese Differenz wird durch technisch bedingte Unterbrechungen von Ladevorgängen, den in der Regel nicht vom Nutzer beeinflussten Betrieb der verschiedenen Fahrmodi sowie die eingeschränkte Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten relativiert. Entscheidend ist jedoch die Aussage, dass unter den getroffenen Annahmen ohne eine Änderung des Fahrverhaltens (wie z. B. das Einplanen von Fahrtunterbrechungen zum Aufladen der Batterie) der zusätzliche Nutzen von Schnellladungen mit 2% (PRIVAT) bis 5% (MIX) gering ausfällt. Bei der Betrachtung der Potenziale der einzelnen Nutzer(innen) zeigt sich, dass es zahlreiche Nutzer(innen) gibt, deren elektrische Fahrleistung durch Schnellladungen gar nicht oder nur wenig erhöht würde. Auf der anderen Seite gibt es vornehmlich gewerbliche und Mischnutzer(innen), deren elektrisch zurückgelegte Strecke durch Schnellladungen zusätzlich zur *ubiquitären Normalladung* um bis zu 9% erhöht würde. Weiter ist der zusätzliche Nutzen der Schnellladung besonders bei Nutzer(inne)n mit eher geringem Potenzial für elektrische Fahrleistung hoch. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen in diesen Nutzungsprofilen ist daher unwahrscheinlich, was den potenziellen zusätzlichen Nutzen der Schnellladung weiter relativiert.

Die Schnellladung bringt dabei den gewerblichen und Mischnutzer(inne)n mehr zusätzliche elektrische Streckenanteile als den Nutzer(innen)n des privaten Segments. Entsprechend messen die privaten Nutzer(innen) der Möglichkeit der Schnellladung weniger Bedeutung bei als jene der anderen Segmente (vgl. Abschnitt 6.3.1).

6.3.5 Energiemanagement

Für die Mehrheit der Nutzer(innen) hat der Betrieb der Fahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen einen hohen Stellenwert: Über 80% der Befragten halten die Nutzung regenerativer Energiequellen für „sehr wichtig“ oder „eher wichtig“, wobei sich im Versuchsverlauf eine Tendenz zu steigender Wichtigkeit abzeichnet (Abb. 6-53). Zudem ist der Betrieb mit regenerativ erzeugtem Strom für private Nutzer(innen) deutlich wichtiger als für jene der anderen beiden Segmente.

Abb. 6-53: Bedeutung regenerativer Energiequellen



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Rückspeisung

Die Entnahme von elektrischer Energie aus der Fahrzeugbatterie und deren Rückspeisung ins Stromnetz wurde von drei Nutzer(inne)n getestet (vgl. Abschnitt 6.3.3). Alle Nutzer wurden jedoch bezüglich der potenziellen Nutzung einer entsprechenden Möglichkeit befragt.

Private Nutzer stehen dem Verfahren dabei uneinheitlich gegenüber. 40% der Befragten befürworten die Funktion generell, jeweils 30% lehnen die Energieentnahme ab oder haben keine Meinung dazu. Im Fall einer grundsätzlichen Zustimmung zur Energieentnahme aus dem Fahrzeug zeigt sich hinsichtlich der hierfür erwartete Rückvergütung eine große Spannbreite monatlicher Beträge zwischen 20 € und 100 €, zwei Drittel der Befragten

„Das Auto sollte definiert für mich 100% zur Verfügung stehen.“

halten dabei Beträge zwischen 40 € und 60 € für attraktiv. Als Hemmnisse werden besonders befürchtete Einschränkungen in der spontanen Nutzbarkeit des Fahrzeuges und die Sorge um eine verkürzte Lebensdauer der Batterie genannt. Weiter werden Informationsdefizite deutlich: So können sich mehrere Teilnehmer(innen) den Vorgang nicht vorstellen und sind hinsichtlich eventueller Auswirkungen auf ihre persönliche Mobilität unsicher. Auch die Frage der Art der Messung und Abrechnung wird aufgeworfen.

Die befragten Betriebe stehen der Energierückspeisung eher vorsichtig gegenüber: Für ein Drittel der Betriebe kommt diese nicht in Frage, die Mehrheit antwortet mit „weiß nicht“. Nur von einem Betrieb wird mit 40 € monatlich ein Preis für die attraktive Rückspeisung ins Netz genannt. Motive der Zurückhaltung sind befürchtete Einschränkungen hinsichtlich der Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge, fehlende Erfahrungswerte sowie das Fehlen einer betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnung.

FAZIT „LADEN“

Die Ergebnisse zeigen eine große Variabilität im Ladeverhalten – auch innerhalb der Segmente. Für das Aufladen der Fahrzeuge wird eine deutliche und im Versuchsverlauf weiter steigende Präferenz der großen Mehrheit der Teilnehmer(innen) zum Laden zu Hause und im Betrieb deutlich.

Eine (halb-)öffentliche Ladeinfrastruktur wird mehrheitlich als erforderlich eingeschätzt. Für die Nutzung solcher Lademöglichkeiten ist eine hohe Zahlungsbereitschaft vorhanden, allerdings würde nur ein kleiner Teil der Befragten diese Infrastruktur auch bevorzugt in Anspruch nehmen. Die öffentliche Ladeinfrastruktur hingegen wird dabei generell als wichtig empfunden, auch wenn einzelne Nutzer(innen) angeben, für sich persönlich keinen Bedarf zu sehen. Damit kommt der Infrastruktur eine Grundsicherungsfunktion zu. Unter diesen Voraussetzungen ist von den untersuchten Nutzergruppen nur eine geringe Nachfrage nach Strom aus öffentlichen Infrastrukturen zu erwarten. Die grundsätzliche Möglichkeit zur öffentlichen Ladung und damit die psychologische Komponente der Ladeinfrastruktur stellt jedoch aus Nutzersicht eine wichtige Prämisse zur Etablierung der Elektromobilität dar.

Bei der Analyse der Ladezeiten zeigen die starke Divergenz zwischen angegebenen bevorzugten Ladezeiten und beobachtetem Ladeverhalten und speziell die Darlegung der aggregierten Tagesgänge der Ladevorgänge die Potenziale für intelligente Ladetechnologien auf. In Abschnitt 6.3.3 wurde gezeigt, dass durch die Nutzung intelligenter Ladetechnologie (V2G) der Tagesgang der Energieflüsse deutlich verändert werden kann. So werden vermehrt Schwachlastzeiten zur Beladung des Fahrzeuges genutzt, während zu Spitzenlastzeiten Energie in das Netz zurückgespeist wird. Das Beispiel eines Privatanwenders mit Nachtstromtarif zeigt, dass im privaten Bereich bereits mit einfachen Mitteln oder einer Verhaltensänderung eine Verlagerung der abendlichen Ladung in die Nacht und/oder in den frühen Morgen möglich ist. Bei entsprechenden Tarifen bietet die Verlagerung neben Vorteilen für die Auslastung der Energienetze auch Kostenvorteile für die Nutzer(innen) der Fahrzeuge.

6.4 Nutzung von Anzeigen im Fahrzeug

6.4.1 Verwendung der Kombi- und Multifunktionsanzeigen

Die Kombi- und Multifunktionsanzeigen im TwinDRIVE dienen der Bereitstellung der wichtigsten Fahrzeuginformationen für die Fahrer(innen) (Abb. 6-54). Neben herkömmlichen Anzeigen wie dem Tachometer und der Kraftstoffanzeige auf der rechten Seite konnte auf der linken Seite die aktuelle Leistung (in kWh) abgerufen werden. Der negative Bereich Leistungsanzeige stellte im Fall von Rekuperation (Bremsenergieerückgewinnung) die in die Batterie zurückgespeiste Energie dar. Die Bereitschafts- und Leistungsanzeige ist somit das Pendant zum Drehzahlmesser für den elektrischen Antrieb. Die so genannte Multifunktionsanzeige, mittig angeordnet, stellte weitere Informationen dar. Diese umfassten neben elektromobilitätsspezifischen Anzeigen wie der aktuellen elektrischen Reichweite, dem aktuellen sowie dem durchschnittlichen Energieverbrauch (in kWh/100 km) und der so genannten Komfortanzeige des elektrischen Verbrauchs der Nebenverbraucher (in kWh) auch weitere herkömmliche Informationen wie den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) oder die aktuelle Reichweite im Hybridbetrieb.

Abb. 6-54: TwinDRIVE: Kombi- und Multifunktionsanzeige (MFA)



Quelle: VW AG. Ergänzte Darstellung.

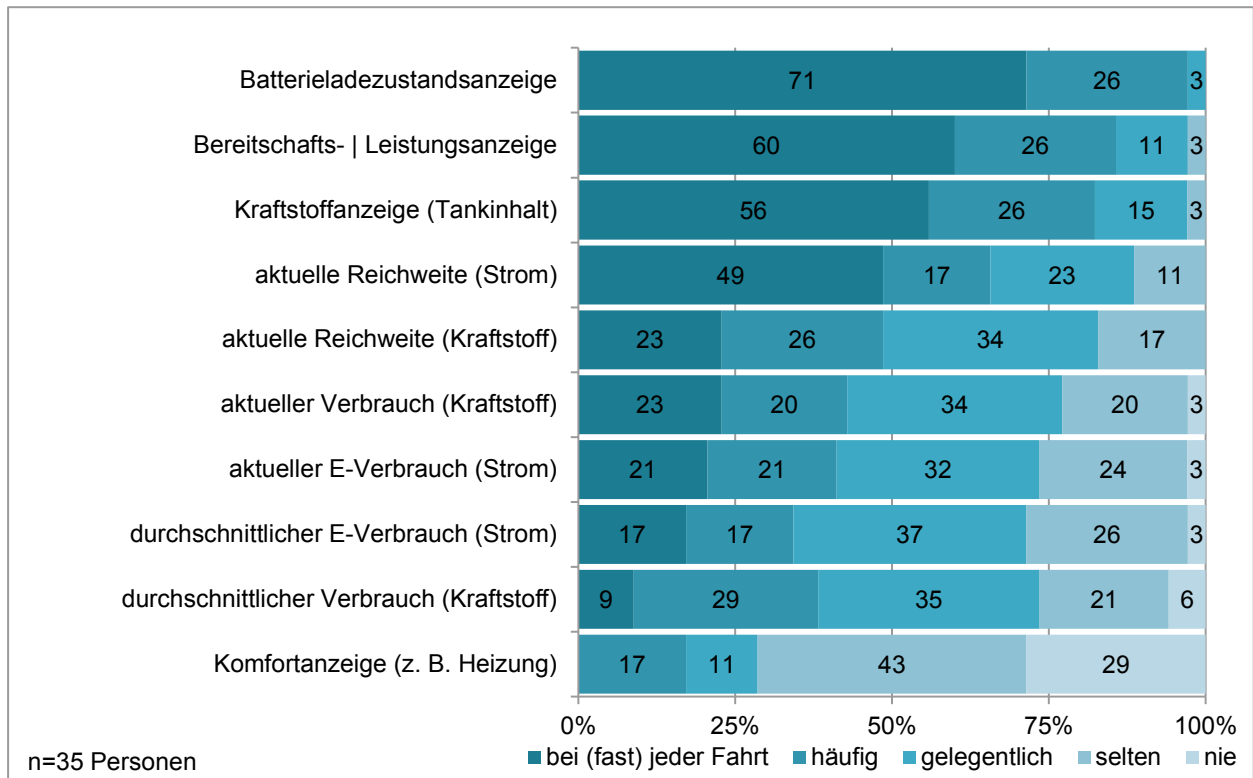
Bei den Kombianzeigen wurden die Batterieladezustandsanzeige (71%) und die Bereitschafts-/ Leistungsanzeige (60%) „bei (fast) jeder Fahrt“ und damit am häufigsten genutzt. Auch die Kraftstoffanzeige wurde weiterhin wie in einem herkömmlichen Fahrzeug „bei (fast) jeder Fahrt“ genutzt (Abb. 6-55).

Unter den Multifunktionsanzeigen wurde vor allem die Anzeige der aktuellen elektrischen Reichweite „bei (fast) jeder Fahrt“ verwendet (49%). Von der Häufigkeit der Nutzung der Anzeigen folgen auf die Reichweitenanzeigen die Verbrauchsanzeigen: Dabei wurden die Anzeigen zum aktuellen Verbrauch häufiger verwendet als die Anzeigen des durchschnittlichen Verbrauchs. Die Komfortanzeige wurde von 72% der Versuchsteilnehmer(innen) nur „selten“ oder „nie“ verwendet.

Hinsichtlich der Nutzungssegmente wurden die Anzeigen von Tankinhalt, Batterieladezustand sowie die Bereitschafts- und Leistungsanzeige häufiger von Privatpersonen genutzt. Anzeigen der aktuellen Verbräuche (Strom sowie Kraftstoff) wurden hingegen häufiger von Nutzer(inne)n des gewerblichen und Mix-Segmentes genutzt.

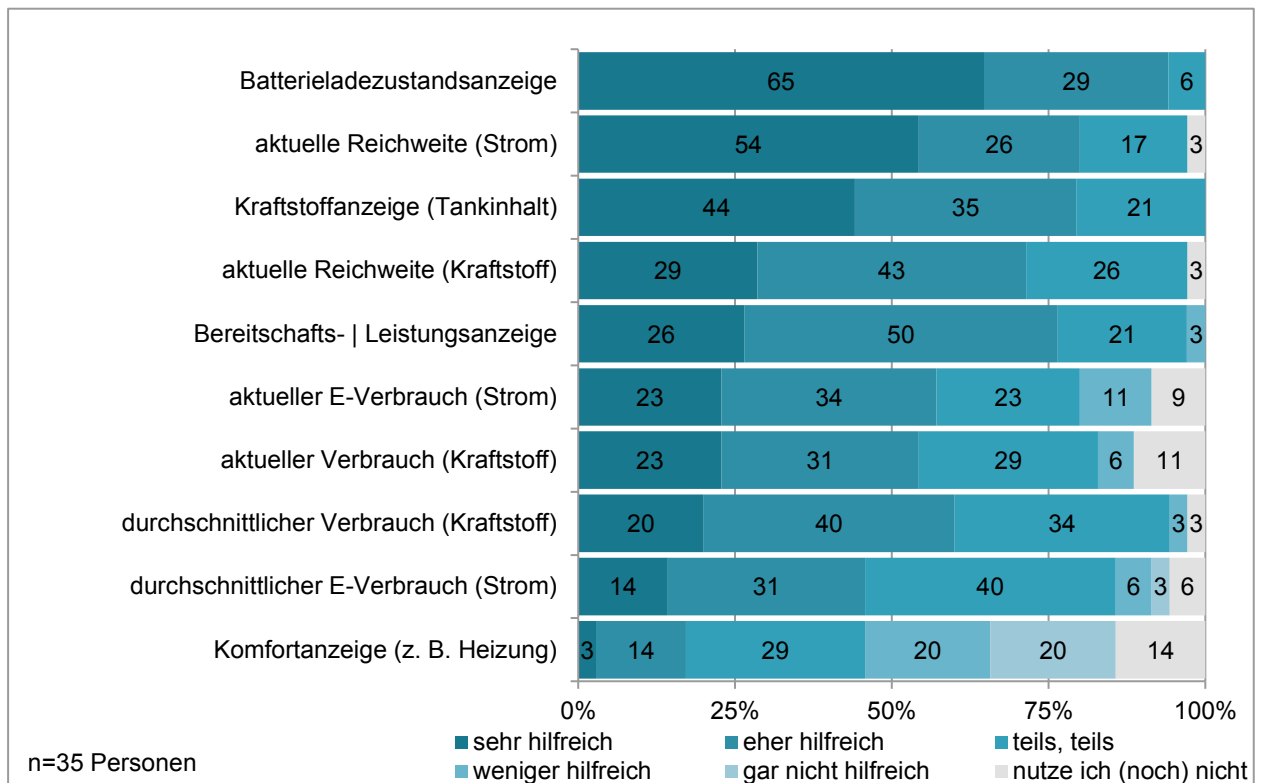
Die subjektiv empfundene Nützlichkeit der Anzeigen beim Fahren entspricht im Wesentlichen der Häufigkeit von deren Nutzung (Abb. 6-56). Als „sehr hilfreich“ empfinden die Versuchsteilnehmer(innen) die Batterieladezustandsanzeige sowie die Anzeige der aktuellen elektrischen Reichweite. Auch die Kraftstoffanzeige wird von 79% der befragten Fahrer(innen) als „hilfreich“ angesehen. Lediglich die Bereitschafts- und Leistungsanzeige wird von 60% der Teilnehmer „bei (fast) jeder Fahrt“ genutzt, aber nur von 26% als „sehr hilfreich“ eingeschätzt. Die durchschnittlichen Verbräuche von Strom und Kraftstoff werden zwar ebenfalls als hilfreich eingeschätzt, jedoch im Vergleich zu den aktuellen Verbräuchen als weniger hilfreich empfunden.

Abb. 6-55: Häufigkeit der bewussten Nutzung der Kombi- und Multifunktionsanzeigen



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Abb. 6-56: Subjektiv empfundene Nützlichkeit der Kombi- und Multifunktionsanzeigen



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

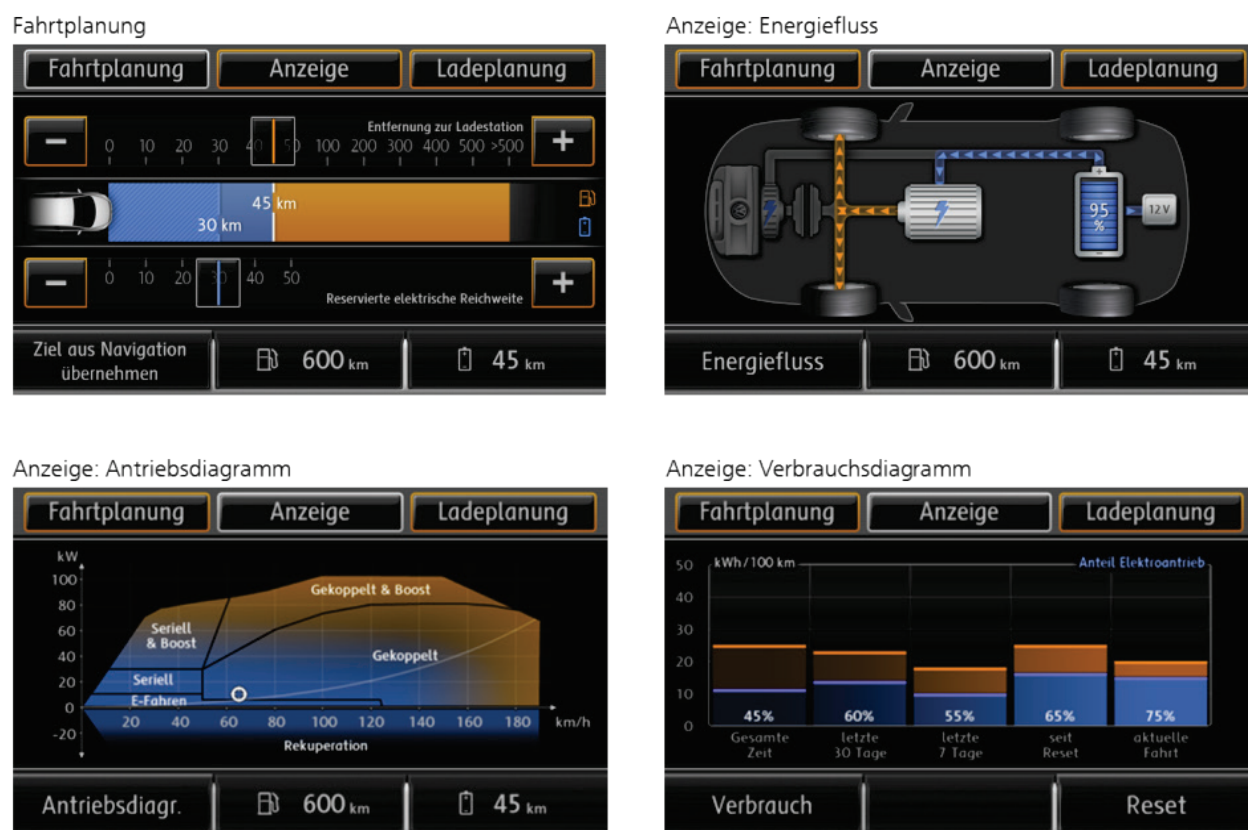
Die Nutzer(innen) gaben an, die Kombi- und Multifunktionsanzeigen vorwiegend genutzt zu haben, um die elektrische Reichweite sowie die verbleibende Reichweite im Hybridbetrieb zu kontrollieren. In diesem Zusammenhang wurden häufig der Verbrauch von Kraftstoff und Strom mit dem Ziel beobachtet, eine möglichst energieeffiziente Fahrweise zu realisieren. Mit Hilfe der Verbrauchsanzeigen wurde auch die Planung von Energieverbrauch und -versorgung unterstützt (z. B. durch die Reservierung elektrischer Reichweite speziell für innerstädtische Fahrten oder die Terminierung von Lade- und Tankvorgängen).

„Eine Anzeige hat mir gadenlos gefehlt: Wenn ich jetzt tanke, wie viele kWh waren das jetzt? [...] ungefähr wissen, wie viel habe ich denn jetzt aus dem Stromnetz da rausgezogen?“

6.4.2 Verwendung des Fahrer-Informations-Systems (FIS)

Eine Besonderheit des TwinDRIVES stellten die verschiedenen Anzeigen des so genannten Fahrer-Informations-Systems dar, dessen Display sich in der Mittelkonsole befand (Abb. 6-57). Über dieses System konnten Informationen zum Energiefluss sowie eine grafische Darstellung der verschiedenen möglichen Antriebsmodi (= Antriebsdiagramm) eingesehen werden, so dass die Fahrer(innen) genaue Details über die Funktionsweise des TwinDRIVES erfahren konnten. Darüber hinaus konnten Statistiken zur Nutzung der verschiedenen Antriebsmodi, zum Verbrauch und zu resultierenden Kosten abgerufen werden.

Abb. 6-57: TwinDRIVE: Ausgewählte Anzeigen des Fahrer-Informations-Systems (FIS)



Quelle: VW AG. Eigene Zusammenstellung.

Im Hinblick auf die Planung von Ladevorgängen konnte zusätzlich über die Funktion ‚Ladeplanung‘ für einen Tag oder auch eine ganze Woche voreingestellt werden, wann das Fahrzeug voraussichtlich genutzt werden würde.⁸ Auf diese Weise konnte es dem Fahrzeug-Lade-System überlassen werden, die Batterie

⁸ Diese Funktion konnte jedoch von nur jenen Nutzer(inne)n sinnvoll genutzt werden, denen über eine intelligente Ladesäule die Möglichkeit zur Energierückspeisung zur Verfügung stand.

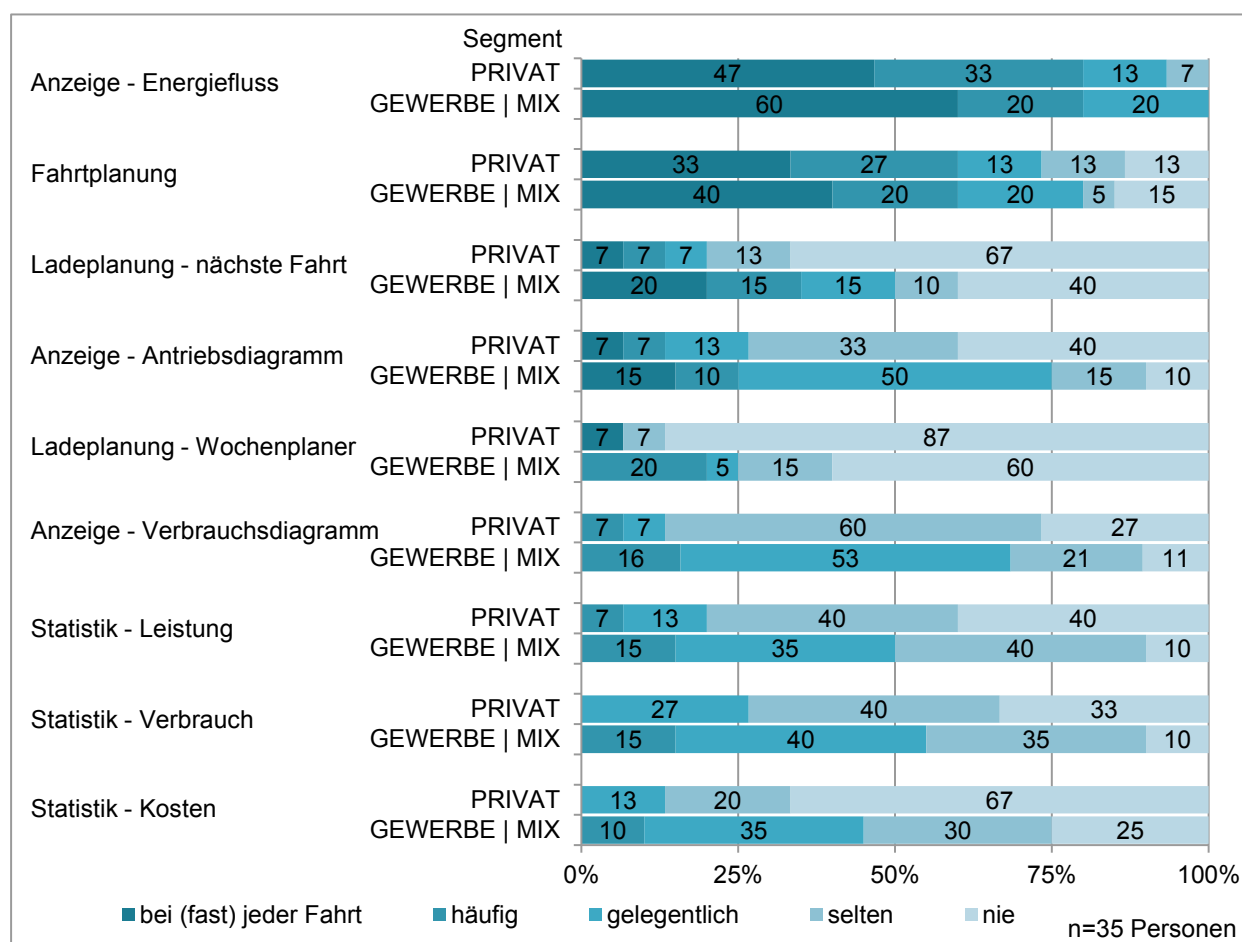
während der geplanten Standzeiten zum Zweck der Rückspeisung elektrischer Energie ins Stromnetz zu entladen. Dabei bestand die Möglichkeit, die Entladung so zu beschränken, dass eine bestimmte elektrische Mindestreichweite noch zur Verfügung stand.

Bezüglich der Nutzung des FIS ist auffällig, dass die Anzeigen von gewerblichen und MIX-Nutzer(inne)n insgesamt häufiger genutzt wurden als von den privaten Nutzer(inne)n. Aus den Gruppendiskussionen geht hervor, dass private Fahrer(innen) die Anzeigen eher seltener verwendet haben, da diese aus deren Sicht nur wenige für den Fahrbetrieb relevante Informationen darstellen würden und zudem die Betrachtung des Displays während der Fahrt ablenken könnte. Das FIS wurde von den privaten Fahrer(inne)n also insgesamt selten aktiv während der Fahrt – und wenn überhaupt – dann eher aus generellem Interesse und Neugier verwendet.

„Um das Fahrzeug zu fahren, brauche ich diese Information ja nicht.“

Hinsichtlich der Häufigkeit wurden das Energieflussdiagramm und die Fahrtplanung am häufigsten verwendet (Abb. 6-58). Die Anzeige „Energiefluss“ diente der Darstellung des aktuell genutzten Antriebs oder der Antriebskombination. Hauptkomponenten in der Darstellung sind die Batterie, der Elektromotor und der Verbrennungsmotor. Den Nutzer(inne)n wurden damit auf anschauliche Art und Weise die Energieflüsse zwischen den verschiedenen Komponenten dargestellt. Somit war es beispielsweise möglich zu beobachten, ob der Verbrennungsmotor läuft oder ob gerade Bremsenergie zurück in die Batterie fließt. Nutzer(innen), die rückmeldeten, besonders energiebewusst zu fahren, gaben entsprechend an, diese Anzeige besonders häufig genutzt zu haben, da diese eine motivierende Wirkung ausüben würde.

Abb. 6-58: Häufigkeit der bewussten Nutzung des Fahrer-Information-Systems (FIS)



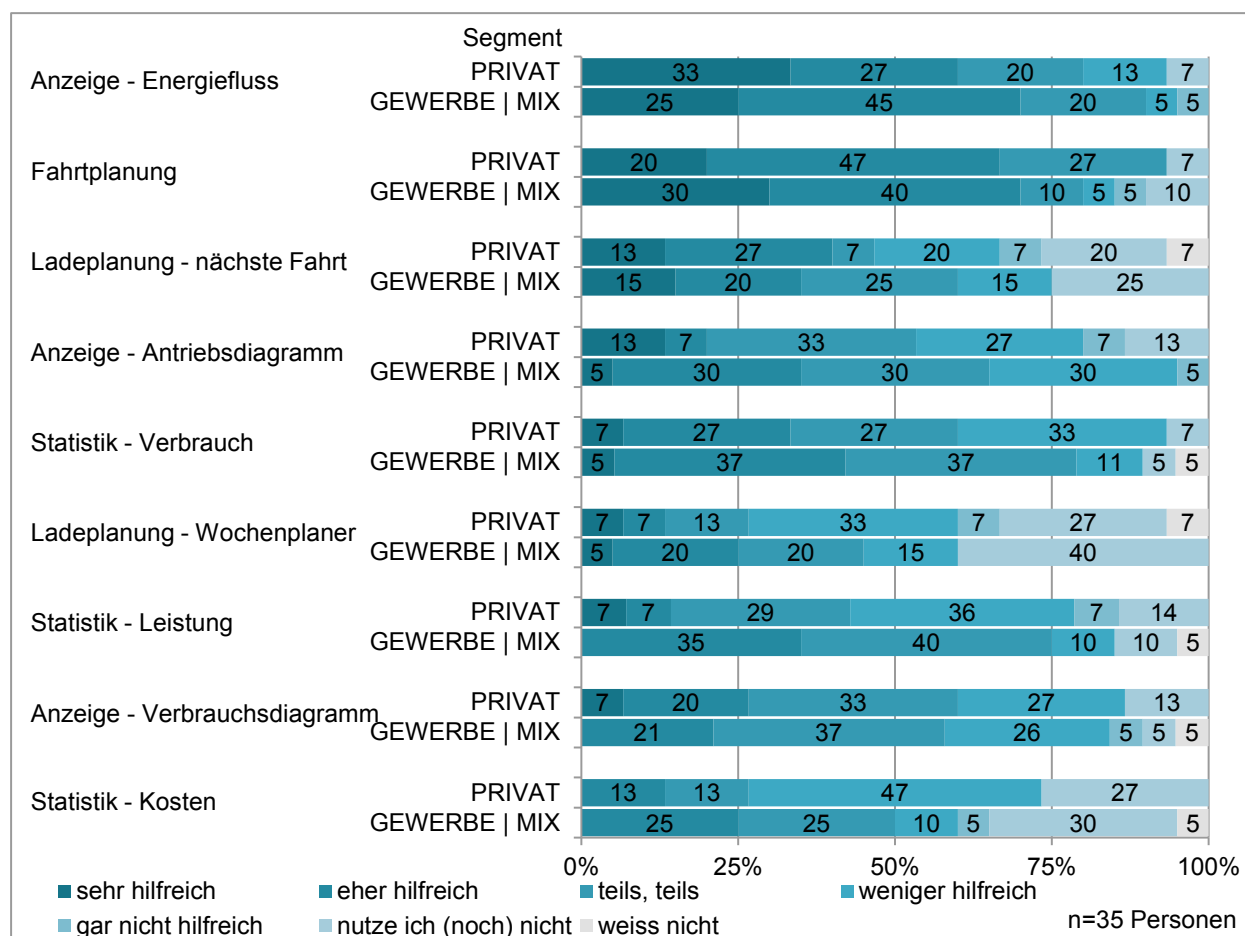
Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Der Einsatz der verfügbaren elektrischen Energie wurde dahin gehend optimiert, dass beispielsweise die Funktion der „Fahrtplanung“ zur Reservierung elektrischer Reichweite verwendet wurde, um diese gezielt

etwa für Innenstadtfahrten, die Einfahrt in Umweltzonen oder auch absehbare Rückfahrten zu nutzen. Es bestand darüber hinaus die Möglichkeit, Ziele aus der Navigation zu übernehmen und dem Fahrzeug selbstständig die Wahl der passenden Antriebsstrategie zu überlassen. Die Möglichkeit, sich statistische Auswertungen zu Kosten, Verbrauch und Leistung anzeigen zu lassen, wurde eher selten genutzt.

Auch die Rangfolge der Bedeutung und der subjektiven Nützlichkeit der Anzeigen entspricht im Wesentlichen jener der Nutzungshäufigkeit (Abb. 6-59). Tendenziell zeichnet sich eine höhere Einschätzung der Nützlichkeit durch das GEWERBE- und MIX-Segment ab. Dies könnte an einer Unterstützung der Planung der Fahrten liegen: Einige betriebliche Fahrer(innen) gaben an, dass sich während einer Tour häufig Ziele ändern. Zwar ist eine Vorausplanung somit eher schwierig, aber durch die Anzeigen war es möglich abzuschätzen, ob im E-MODE oder im Hybridmodus gefahren werden sollte, um den Gesamtenergieverbrauch zu minimieren.

Abb. 6-59: Subjektive Nützlichkeit des Fahrer-Informations-Systems (FIS)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass die Fahrer(innen) häufig die Fahrtplanung vor Fahrtantritt nutzten und sich während der Fahrt stetig den Energiefluss anzeigen ließen. Ein Umschalten zwischen verschiedenen Anzeigen erfolgte selten. In Verbindung mit den Anmerkungen der Nutzer(innen) hinsichtlich des Ablenkungspotenzials lässt sich ableiten, dass die Versuchsteilnehmer(innen) gern alle für die aktuelle Fahrt relevanten Informationen auf einem Bildschirm erhalten würden. Von der Darstellung sekundärer Informationen, welche über verschiedene Menüs erreichbar sind, wurde während der Fahrt kaum Gebrauch gemacht. Dementsprechend sollten diese aus Sicherheitsgründen während der Fahrt nicht zugänglich sein.

In Phase 1 der Nutzerbefragung, also vor Übernahme des TwinDRIVEs, machten die Teilnehmer(innen) Angaben zur Nutzung von Informationsmedien wie z. B. einem Bordcomputer in herkömmlichen Fahrzeugen zur Überprüfung des Kraftstoffverbrauchs. Es wurde vor Versuchsbeginn angenommen, dass vorwie-

gend Personen, welche entsprechende Informationen bereits in herkömmlichen Fahrzeugen nutzten, diese auch im TwinDRIVE nutzen würden. Es zeigte sich jedoch, dass unabhängig vom Nutzungsprofil ähnlicher Anzeigen in herkömmlichen Fahrzeugen die über das FIS und die MFA zugänglichen Informationen von allen Teilnehmer(inne)n in ähnlicher Weise stark genutzt werden.

In den Gruppendiskussionen ergab sich, dass sowohl privaten als auch gewerblichen Nutzer(inne)n einige Informationen fehlen. Dazu zählen insbesondere Anzeigen der Batterietemperatur oder der Temperatur des Elektromotors, welche den Fahrer auf mögliche Grenzbereiche aufmerksam macht. Ungeachtet der Frage, ob dies (technisch) sinnvoll sei, wird jedoch angenommen, dass das Fehlen dieser Anzeigen vergleichbar wäre mit dem Fehlen entsprechender Anzeigen in herkömmlichen Fahrzeugen (z. B. Kühlwasser- oder Öltemperaturanzeigen).

Darüber hinaus wünschen sich die Nutzer(innen) mehr Informationen bezüglich der entnommenen Strommengen und der Kosten, welche durch das Laden der Batterie entstehen. Dies erschien den Teilnehmer(inne)n insbesondere vor dem Hintergrund der Notwendigkeit, auch an anderen Orten als zu Hause oder am Betriebsstandort laden zu können, wichtig, da anfallende Kosten unter Umständen ausgeglichen werden müssen. Auch Angaben zu den allgemeinen durchschnittlichen Mobilitätskosten unter Berücksichtigung der Kraftstoff- und Elektrizitätskosten wurden als sehr sinnvoll angesehen.

Einige Nutzer(innen) gaben zudem an, dass Begrifflichkeiten innerhalb der Anzeigen wie zum Beispiel „seriell“ oder „boosten“ nicht ohne Weiteres verständlich seien. Auch sei es wichtig, den aktuellen Betriebsmodus des Plug-In-Hybridautos schnell erfassen zu können. Dies empfanden insbesondere die gewerblichen Nutzer(innen) als noch nicht optimal gelöst.

„Sieht schick aus [...] aber keiner hat eine Ahnung, was da drauf ist.“

Anhand der relativ geringen Nutzungshäufigkeit und der zum Teil geringen Nutzenbewertung z. B. des Verbrauchsdiagramms oder der verschiedenen Statistikauswertungen des FIS kann abgeleitet werden, dass den meisten Teilnehmer(inne)n die Unterstützung des Systems im Hinblick auf eine energieeffiziente Fahrweise noch nicht in

vollem Umfang bewusst war. So hätte durch die Nutzung der Fahrtplanung der Verbrauch einiger Teilnehmer(innen) noch weiter gesenkt werden können, da es beispielsweise bei längeren Fahrten meist nicht sinnvoll ist, erst die Batterie im rein elektrischen Betrieb zu entladen und anschließend eine lange Strecke im rein verbrennungsmotorischen Betrieb zu fahren. Die Fahrtplanung ermöglicht es, entsprechend der Fahrtlänge die passende An-

„Braucht man nicht, so einen Schnickschnack.“

triebsstrategie zu wählen, um den Gesamtverbrauch zu minimieren. Es ist allerdings wichtig zu erwähnen, dass entsprechende Möglichkeiten des FIS bei der Nutzungseinweisung vor Versuchsbeginn lediglich kurz besprochen wurden. Dementsprechend erscheint es sinnvoll, zukünftigen Nutzer(inne)n im Rahmen einer

„Mäusekino“

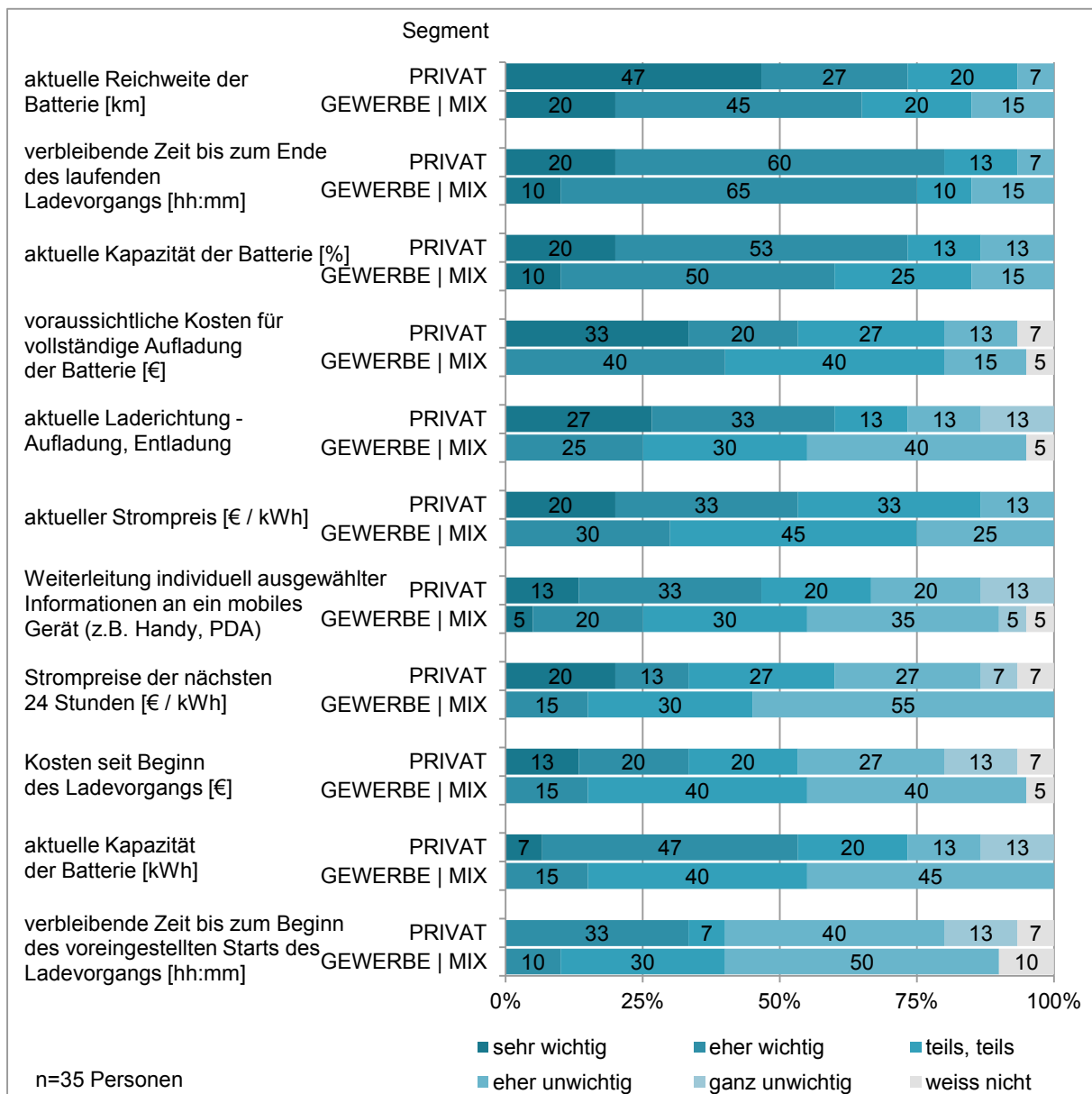
intensiven Einweisung die Funktionsweise und den Mehrwert der verschiedenen Anzeigen zu erläutern, um ein erhöhtes Verständnis der Nutzer für das FIS zu erlangen und eine höhere Akzeptanz zu erreichen.

6.4.3 Informationsbedarf beim Laden

Die Nutzer(innen) des TwinDRIVEs hatten keine Möglichkeit, den Ladezustand außerhalb des Fahrzeugs abzufragen. Aufgrund der allgemein kürzeren Ladedauer eines Plug-In-Hybridautos im Vergleich zu einem gleichwertigen, rein batterieelektrischen Fahrzeug sowie des Vorhandenseins eines Verbrennungsmotors, mit dem das Fahrzeug auch mit gänzlich leerer Batterie genutzt werden konnte, ließ sich dieses Manko im Flottenversuch grundsätzlich verschmerzen. Jedoch äußerte die Mehrheit der Nutzer, dass gewisse Basisinformationen über die Darstellungsmöglichkeiten im Fahrzeug hinaus z. B. auch über das Internet oder auf einem Smartphone verfügbar sein sollten, da dies insbesondere den Komfort erhöhe und Nutzungssicherheit vermitteln würde.

Die gewünschten Informationen und deren Bedeutung für die Nutzer(innen) wurden mittels des Personen-/ Fahrerfragebogens erfasst. Die Ergebnisse sind in Abb. 6-60 zusammengefasst.

Abb. 6-60: Wichtigkeit von Informationen beim Laden



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Dabei zeichnete sich ab, dass Informationen zum aktuellen Ladevorgang von Privatanutzer(inne)n insgesamt als wichtiger bewertet wurden als von gewerblichen Nutzer(inne)n. Bezüglich der gewünschten Art der Informationen zeigt sich, dass 47% der privaten und 20% der gewerblichen Nutzer(innen) die Abfrage der aktuell zur Verfügung stehenden elektrischen Reichweite – angegeben in Kilometern – außerhalb des Fahrzeugs als „sehr wichtig“ bewerten. Auch die Zeit bis zum Ende eines laufenden Ladevorgangs empfinden 20% der privaten und immerhin noch 10% der betrieblichen Fahrer(innen) als „sehr wichtige“ Information.

Bei den privaten Fahrer(innen) spielen darüber hinaus besonders Anzeigen zu den Kosten des Ladevorgangs eine Rolle. Immerhin 33% der privaten Fahrer(innen) wünschen sich eine Anzeige zu den voraussichtlichen Kosten für die vollständige Aufladung der Batterie. Auch die Darstellung der Strompreise ist für die privaten Fahrer(innen) eine wesentliche Information bei den Ladevorgängen. Dazu gehört auch die Zusammenfassung der Kosten für einen Ladevorgang, um diese beispielsweise nach einer Ladung an

herkömmlichen, nicht-öffentlichen Steckdosen quantifizieren zu können. Für gewerbliche Nutzer(innen) hingegen haben Informationen zu Stromkosten insgesamt einen geringeren Stellenwert.

Neben der Möglichkeit, Informationen zum Ladevorgang, zu Kosten und zur aktuellen Reichweite z. B. über das Internet abzurufen, bewerten immerhin 46% der privaten und 25% der gewerblichen Nutzer(innen) die Möglichkeit der Informationsabfrage über mobile Endgeräte wie Handy und PDA (Smartphone) als „sehr wichtig“ oder „wichtig“. Auch die Anzeige einzelner Kerninformationen an der Ladeanlage selbst sollte gewährleistet sein.

Zu den Informationen, welche die Nutzer(innen) am wenigsten wünschen, gehören beispielweise die verbleibende Zeit bis zum Beginn des voreingestellten Ladevorgangs (20%) oder auch die voraussichtlichen Strompreise der nächsten 24 Stunden (17%).

FAZIT „ANZEIGEN“

Die Kombi- und Multifunktionsanzeige (MFA) des TwinDRIVE wird von den Nutzer(inne)n ähnlich wie in einem herkömmlichen Fahrzeug verwendet (z. B. Tachometer, Kraftstofftankanzeige, Bereitschafts- und Leistungsanzeige). Die wichtigsten und am häufigsten genutzten Informationen sind die Ladezustandsanzeige der Batterie sowie die Anzeigen zur aktuellen elektrischen und verbrennungsmotorischen Reichweite.

Das Fahrer-Informationen-System (FIS) stellt subjektiv für die Teilnehmer(innen) nur wenige relevante Informationen oder Funktionen bereit. Wichtig waren das Energieflussdiagramm zur Darstellung des aktuellen Antriebs sowie die Funktion der Fahrtplanung zur Einsatzplanung des elektrischen Antriebs. Die Mehrheit der Nutzer(innen) hat die Anzeigen des FIS während des Versuchs eher außer Acht gelassen und vorwiegend aus Neugier verwendet.

Die Mehrheit der Versuchsteilnehmer(innen) äußerte den Bedarf, zusätzliche Informationen zum Ladezustand und der aktuellen elektrischen Reichweite auch außerhalb des Fahrzeugs abrufen zu können. Diese sollten sowohl über das Internet (inklusive Smartphone), aber auch an der Ladeanlage selbst verfügbar sein.

Um seitens der Nutzer(innen) die Möglichkeiten eines komplexen Informationsmediums wie dem FIS ausschöpfen zu können, bedarf es einer Vereinfachung der Funktionsweise sowie einer praktischen Einweisung z. B. im Hinblick auf Energieeinsparpotenziale durch richtigen Einsatz des FIS.

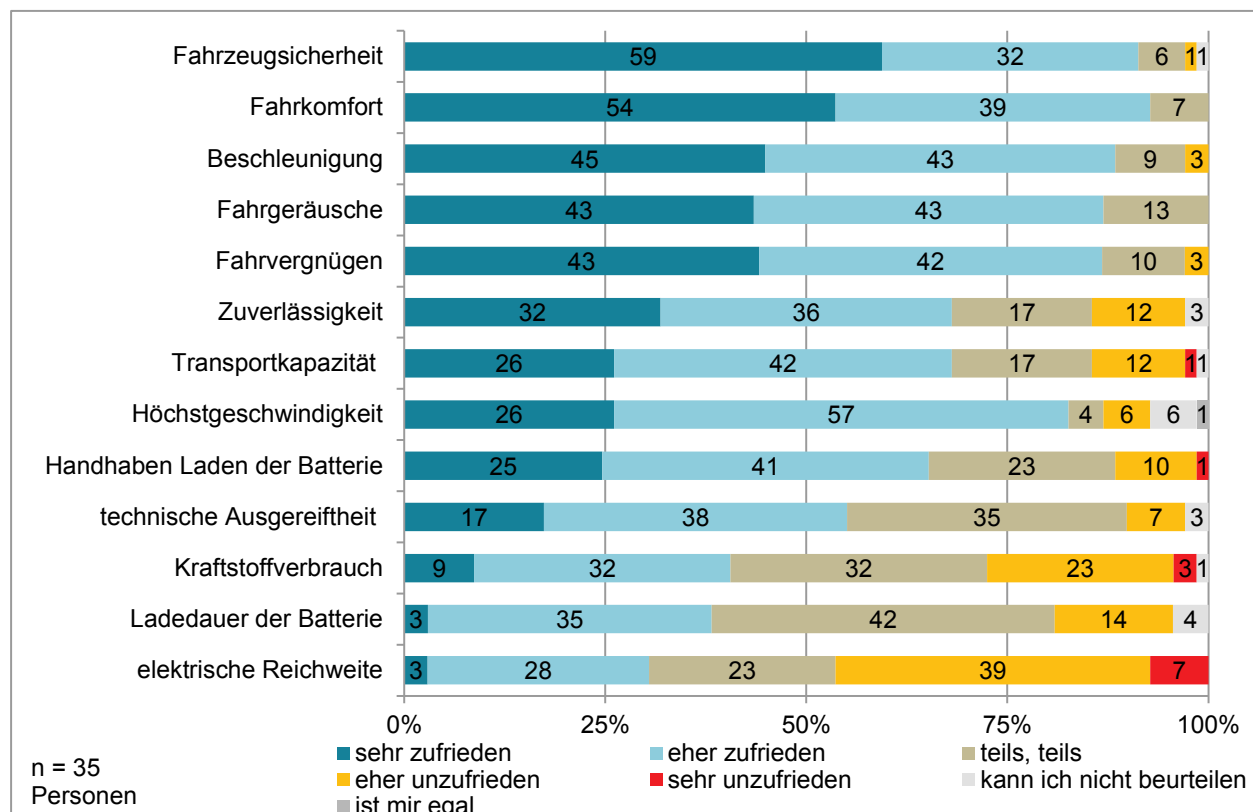
6.5 Anforderungen an zukünftige Fahrzeuge

Die Akzeptanz eines neuen Fahrzeugkonzepts wie des Plug-In-Hybridautos des VW TwinDRIVE und das daraus resultierende Kaufinteresse sind eng mit der Zufriedenheit mit dem Fahrzeug verknüpft. Daher soll nachfolgend zunächst die Zufriedenheit der Nutzer mit dem Versuchsfahrzeug TwinDRIVE dargestellt werden. Daran anschließend wird die Kaufbereitschaft für ein Elektrofahrzeug ermittelt, um die mögliche Akzeptanz der Elektromobilität unter den Nutzer(inne)n messbar zu machen. Die Analyse von Zufriedenheit und Kaufbereitschaft beruht auf der schriftlichen Befragung der Versuchsteilnehmer(innen) über drei Versuchsphasen hinweg. Zusätzlich wurde auch in den Gruppendiskussionen das Thema Kaufbereitschaft als Indikator für die Akzeptanz der Elektromobilität thematisiert. Abschließend werden mögliche Anforderungen an zukünftige Elektrofahrzeuge abgeleitet.

6.5.1 Gesamtzufriedenheit mit dem TwinDRIVE

Die Gesamtzufriedenheit mit dem TwinDRIVE wurde im Hinblick auf eine Reihe technischer Eigenschaften und sich daraus ergebenden Fahreigenschaften ermittelt (Abb. 6-61)..

Abb. 6-61: Zufriedenheit der Teilnehmer mit technischen Aspekten des TwinDRIVE



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Fahreigenschaften

Bei den technischen Eigenschaften des TwinDRIVEs zeigte sich, dass überwiegend für Elektromobilität unspezifische Eigenschaften eine hohe Zufriedenheit erzeugen. Diese sind unabhängig von den Kosten des Fahrzeugs, aber auch von der Umweltverträglichkeit. Besonders subjektive Aspekte wurden mit einer hohen Zufriedenheit bewertet. Insbesondere mit der **Fahrzeugsicherheit** waren 91,3% der Versuchsteilnehmer(innen) „sehr“ bis „eher zufrieden“. Des Weiteren

„Die Beschleunigung ist für ein Fahrzeug, dem man umweltschonendes Fahren nachsagen kann, sehr schön.“

wird die Fahrdynamik zum Beispiel hinsichtlich Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit von den Teilnehmer(inne)n als besonders positiv hervorgehoben

Fahrweise und **Fahrkomfort** werden in den Interviews überwiegend als „angenehm“ und „entspannt“ beschrieben. Der „hohe Fahrkomfort“ wird durch ein „ruckfreies“ Fahren beschrieben. Letzteres beschreibt

„Das Fahren damit macht einfach Spaß.“

zum einen das für die Fahrer(innen) kaum spürbare Zusammenspiel der beiden Antriebe. Dies wurde von den Versuchsteilnehmer(inne)n so nicht erwartet. Zum anderen wird die durch den Elektromotor ermöglichte lineare Beschleunigung als besonders positives Merkmal gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren beschrieben. Auch

die **Geräuscharmheit** im E-MODE wird als positiv empfunden (87%), da sie zum hohen Fahrkomfort und der entspannten und ruhigen Fahrweise beiträgt. Die guten Fahreigenschaften des TwinDRIVEs führen insgesamt zu einer positiven Wahrnehmung des Fahrzeugs und zu einem guten Fahrgefühl und Fahrspaß.

Hinsichtlich der Ausstattung begrüßten die befragten Fahrer(innen) die große Ähnlichkeit zu einem herkömmlichen Pkw. Auch die Bedienbarkeit wurde als positiv bewertet: Der TwinDRIVE agiere wie ein konventionelles Fahrzeug, so dass das Fahren damit nicht neu erlernt werden müsse. Die Eigenheiten des elektromobilen Antriebs wie Geräuscharmheit oder Fahrweise machten keine großen Umstellungen erforderlich.

Trotz einiger dem Versuch geschuldeter vorübergehender Fahrzeugausfälle hält die Mehrheit (68,1%) den TwinDRIVE für zuverlässig, 54,7% der Teilnehmer(innen) sehen im TwinDRIVE ein bereits technisch ausgereiftes Fahrzeug. Die Mehrheit der Befragten bescheinigt dem Fahrzeugkonzept somit prinzipielle Alltagstauglichkeit.

„Ja, der fährt sich sehr unkompliziert. Also, da kann sich theoretisch jeder reinsetzen und sofort losfahren. Braucht man nicht groß unterrichtet zu werden vom Fahrverhalten her.“

Trotz der überwiegend positiven Erfahrungen mit dem TwinDRIVE wurde auch eine gewisse Unzufriedenheit hinsichtlich einiger technischer Fahrzeugeigenschaften festgehalten. Besonders die veränderten

„Der Wagen ist schwer, man merkt schon das Gewicht, das man mit-schleppt. Das merkt man beim Fahren, und auch für den Energieverbrauch ist das nachteilhaft.“

Eigenschaften eines Elektrofahrzeuges wie Zuladung, Gewicht, elektrische Reichweite und auch die notwendigen Ladevorgänge wurden zum Teil weniger positiv bewertet. Auffällig ist, dass ausschließlich die privaten Haushalte die **etwas** geringere Zuladung (ca. 13%) bemängelten und dies zu Einschränkungen in der Alltagsmobilität führte. Grundsätzlich lag die Zuladung in einem Bereich, welche die Mitnahme von fünf Personen ermöglichte, allerdings nicht von

fünf Erwachsenen. Ebenfalls aus den Interviews kann abgeleitet werden, dass hinsichtlich der Fahrdynamik, das durch die Batterie erhöhte **Gewicht** des Fahrzeugs als leicht negativ bewertet wird, da es ein verändertes Fahrverhalten in Form einer etwas geringeren Beschleunigung sowie eines veränderten Bremsverhaltens nach sich zöge. Das Gewicht wirke sich aber nicht nur auf das Fahrverhalten aus: Subjektiv gingen einige Versuchsteilnehmer(innen) von einem erhöhten Energieverbrauch vor allem im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen aus. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass es sich bei den Versuchsfahrzeugen um eigens umgebaute und mit zahlreichen Messeinrichtungen versehene Fahrzeuge handelte, so dass das Gewicht bei einer Serienfertigung deutlich geringer ausfallen würde.

„[...] das höhere Gewicht und der daraus resultierende Spritverbrauch [...]“

Am wenigsten zufrieden waren die Nutzer(innen) im Vergleich zu anderen Faktoren mit der **elektrischen Reichweite** (46,3%) des TwinDRIVE. Trotz der Rückfallebene Verbrennungsmotor wird die elektrische Reichweite von real 30-50 km als nicht ausreichend bewertet.

Aus den Interviews kann als eine mögliche Begründung der Wunsch abgeleitet werden, möglichst kostengünstig und umweltschonend unterwegs zu sein. Besonders im Vergleich zum Kraftstoffverbrauch

„Das ist wirklich erstaunlich: Da man ja weiß – im Vergleich zu dem Kraftstoff, dem man im Tank hat – dass die elektrische Energie irgendwie ein knappes Gut ist. Man sieht förmlich, wie sie weggeht durch diese Anzeige. Man möchte irgendwie, dass sie erhalten bleibt. Ich knausere so ein bisschen, weil sie eben nicht im Überfluss vorhanden ist [...] habe sportlichen Ehrgeiz, damit auch weit zukommen.“

wird die elektrische Energie als kosteneffektivere und günstigere Alternative gesehen, so dass durch den TwinDRIVE Ersparungspotenziale erwartet werden. Zudem führe eine zu geringe elektrische Reichweite zu einem Verlust der bisher gewohnten Flexibilität verbunden mit der Notwendigkeit einer vorherigen Planung der Fahrten. Die elektrische Aufladung des Fahrzeugs und dessen Reichweite müssten vor Fahrtantritt überprüft werden und führten gegebenenfalls zu Einschränkungen, da die Teilnehmer(innen) möglichst wenig oder gar nicht

verbrennungsmotorisch fahren wollten. Es entwickelte sich über den Versuchsablauf eine Art sportlicher Ehrgeiz, die elektrische Reichweite auszunutzen. Folglich wurde eine möglichst hohe elektrische Reichweite gewünscht, um das Fahrzeug für alltägliche Fahrten nutzen zu können. Aus Abschnitt 6.2 geht hervor, dass die alltägliche Wegstrecke pro Tag insgesamt zwischen 60 und 70 km lang ist. Die Erwartung an eine Erhöhung der elektrischen Reichweite auch bei einem PHEV überrascht daher nicht.

Tab. 6-9: Elektrische Wunschreichweite für PHEV und BEV

Fahrzeugart	Elektrische Wunschreichweite *		
	Bandbreite	Mittelwert	Median
BEV	100-600 km	337,6 km	300 km
PHEV **	20-250 km	107,8 km	90 km

* Werte berechnen sich über alle Versuchsphasen.

** Bei der Berechnung der Werte wurden zwei Extremwerte (700 km, 800 km) ausgenommen. Im ersten Fall wurde die Reichweitenangabe über den Versuchsablauf deutlich nach unten reduziert. Im zweiten Fall wurde nur in der ersten Phase eine Antwort gegeben, so dass ein Vergleichswert nicht vorliegt. Es wird vermutet, dass die betreffenden Teilnehmer(innen) versehentlich die gewünschte Gesamtreichweite des Fahrzeuges nannten.

Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Das Erwartungsspektrum der Teilnehmer(innen) hinsichtlich der gewünschten elektrischen Reichweite ist dabei sehr hoch ist (Tab. 6-9): Für PHEV werden Wunschreichweiten zwischen 20 und 250 km angegeben (Mittelwert 107,8 km), wobei sich 65,8% der Befragten eine elektrische Reichweite zwischen 50 und 150 km wünschen. Ein BEV hingegen sollte eine Reichweite zwischen 100 und 600 km erreichen, wobei der Mittelwert deutlich über jenem für PHEV

liegt (337,6 km). Bei einem BEV wird von 71,1% eine Reichweite zwischen 150 und 500 km gewünscht, allerdings sollte laut 23,7% der Befragten die Reichweite 500 km betragen. Über die Versuchsphasen hinweg zeigte sich, dass mit steigender Erfahrung der Reichweitenwunsch abnimmt.

Hinsichtlich der Nutzersegmente zeigen sich Unterschiede bei der Wunschreichweite. Durch die Gruppendiskussionen kann ein Vergleich zwischen den Segmenten PRIVAT und GEWERBE/ MIX vorgenommen werden. Private Haushalte wünschen sich tendenziell eine geringere elektrische Reichweite bei PHEVs (Mittelwert 61,6 km) als Unternehmen (Mittelwert 106,3 km). Dies könnte mit der Nutzung des

Elektrofahrzeuges und den damit unterschiedlichen Ansprüchen verbunden sein. Unternehmen haben in Vergleich zu den privaten Haushalten eine höhere Fahrleistung und benötigen daher eine höhere Reichweite.

Tab. 6-10: Elektrische Wunschreichweite für PHEV

Nutzersegment	Elektrische Wunschreichweite *		
	Bandbreite	Mittelwert	Median
PRIVAT	47-82 km	61,6 km	62 km
GEWERBE / MIX	60-147 km	106,3 km	108 km

* Wert berechnet sich über alle Szenarien (siehe Abschnitt 6.5.4).

Quelle: EMOBIL 2012 (Gruppendiskussionen). Eigene Berechnungen.

Entsprechend der großen Bandbreite der bevorzugten Reichweite wird von der Mehrheit der Teilnehmer(in-

nen) eine Wahlmöglichkeit hinsichtlich der Batteriegröße gewünscht, die es ihnen ermöglicht, die elektrische Reichweite vor dem Hintergrund des persönlichen Kostenrahmens und dem voraussichtlichen Nutzungsprofil des Fahrzeuges beim Kauf entsprechend anzupassen. Darüber hinaus entsprach der vergleichsweise **hohe Kraftstoffverbrauch** des TwinDRIVE-Verbrennungsmotors nicht den Anforderungen der Nutzer(innen), von denen immerhin rund ein Viertel diesen als zu hoch bewertete. Insbesondere bei Langstreckenfahrten sei dieser meist höher als bei einem vergleichbaren Dieselfahrzeug. Zur Steigerung der Nutzerzufriedenheit müsste demnach neben der Erhöhung der elektrischen Reichweite auch der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden.

Zufriedenheit mit Ladevorgang

„Den organisatorischen Aufwand finde ich nicht so groß, wenn man eine feste Ladestation hat und darin das Ladekabel verstauen kann. Komplizierter wird es, wenn man woanders als an der festen Station lädt, wenn man das Kabel rausholen muss, verlegen muss: Das ist ein bisschen umständlich.“

Mit der **Handhabung des Ladens der Batterie** sind 65,2% der Nutzer(innen) „sehr zufrieden“ bis „eher zufrieden“. Häufig wurde in den Interviews auf eine anfänglich erforderliche Gewöhnungsphase hingewiesen, danach wurde die Handhabung eher als „unproblematisch“ oder sogar „kinder-

„[...] Kabel [...] sehr schlecht. Am besten wäre es wie mit einem Staubsaugerkabel, das sich automatisch einwickelt. [...] Gefahr [...], dass jemand das Kabel stiehlt.“

leicht“ beschrieben. Unzulänglichkeiten wurden allerdings auch beim Laden festgestellt: So wurde der Aufladungsprozess teilweise als umständlich empfunden. Besonders die Handhabung des Kabels, welches sich aufgrund seiner Spiralform leicht verheddern

konnte oder an einzelnen Ladeorten zu kurz war, wurde von einigen Nutzer(inne)n als Einschränkung empfunden. Des Weiteren gab es bei einigen Nutzer(inne)n Unsicherheiten hinsichtlich des Auslegens des Kabels im öffentlichen Straßenraum: Einerseits wurde es als Sicherheitsrisiko angesehen, sofern es zum Beispiel über einen Gehweg gespannt werden musste, andererseits wurde ein Diebstahl befürchtet. Kritische Vorkommnisse sind während der Projektlaufzeit jedoch nicht bekannt geworden.

„Auto müsste beim Laden immer unter Beobachtung sein [...] und dann ist da die lange Ladedauer.“

Auch die **Ladedauer** wurde subjektiv von 14,5% der Versuchsteilnehmer(innen) als zu lang bewertet. Vergleichsweise wenige Teilnehmer waren mit der Ladedauer „zufrieden“ bis „sehr zufrieden“ (37,7%). Aus den Interviews kann abgeleitet werden, dass sich die Ladedauer auf die Flexibilität auswirkt. Dies drückt sich insbesondere in einem erhöhten (subjektiven) Planungsbedarf des Abfahrtszeitpunktes aus, welcher von einigen Versuchsteilnehmern als Einschränkung empfunden wird. In der Realität zeigte sich jedoch zumeist, dass die Standzeiten der Versuchsfahrzeuge die erforderliche Ladedauer deutlich überschritten und sich daraus in der Regel keine tatsächlichen Einschränkungen ergaben (vgl. Abschnitt 6.3.2).

„[...] dreieinhalb, vier Stunden dauert die Ladezeit ja. Von daher kann ich mir persönlich nicht vorstellen, dass ich ein Fahrzeug irgendwo abstelle und dann zur Arbeit laufe oder mit den Öffentlichen hinfahre und es dann wieder abhole. Das ist schwierig.“

Insgesamt kann eine hohe Zufriedenheit bei der Nutzung des TwinDRIVEs während des Flottenversuchs festgestellt werden. Dennoch äußerten die Versuchsteilnehmer technische Verbesserungsvorschläge, welche in einem Serienfahrzeug berücksichtigt werden sollten. Hierbei ist insbesondere eine Erhöhung der elektrischen Reichweite sowie ein geringer Kraftstoffverbrauch des Verbrennungsmotors zur Verbesserung der ökologischen Bilanz des Fahrzeugs zu nennen. Darüber hinaus ist eine Verringerung des Fahrzeuggewichts sowie eine Vereinfachung und Beschleunigung des Ladevorgangs wünschenswert. Der Anlass für die Nennung der letzten beiden Punkte ist jedoch in erster Linie dem Umstand geschuldet, dass es sich beim TwinDRIVE um ein Versuchsfahrzeug handelte.

6.5.2 Wichtige Kaufkriterien

Unabhängig vom Antriebskonzept (reines Elektroauto vs. Plug-In-Hybridauto) wurden die Versuchsteilnehmer(innen) nach der Wichtigkeit von Auswahl-/ Kaufkriterien gefragt (Abb. 6-62).⁹

Die als besonders wichtig bewerteten Kriterien sind vor allem den Bereichen Sicherheit, Kosten und Reichweite zuzuordnen. In der Tendenz stimmen dabei alle Nutzersegmente in ihrer Bewertung der verschiedenen Kriterien weitgehend überein.

Das mit Abstand wichtigste Kriterium ist die **Fahrzeugsicherheit**, bei der gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen keinerlei Abstriche gemacht werden möchten. Anderen

„Sicherheit muss gleich sein wie bei einem herkömmlichen Fahrzeug“

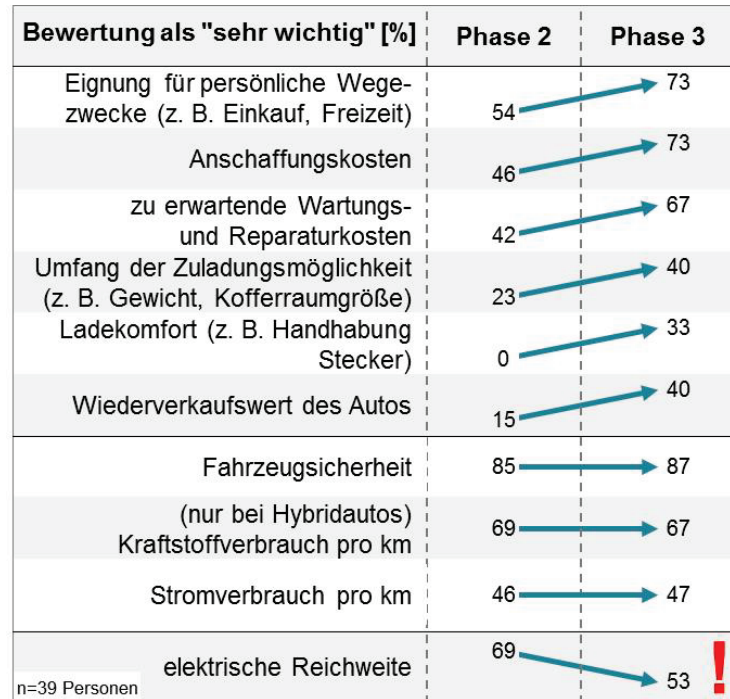
fahrzeugtechnischen Eigenschaften wie **Fahrkomfort** und **Fahrdynamik** wird demgegenüber deutlich weniger Bedeutung beigemessen, zudem mit abnehmender Tendenz im Versuchsverlauf.

„[...] hauptsächlich abhängig vom Preis“

Eine zentrale Rolle bei den Kaufüberlegungen spielen Kosten für Anschaffung einerseits sowie für Wartung/ Reparatur und den laufenden Betrieb (Strom und Kraftstoff) andererseits, wobei die Bedeutung der Anschaffungs-, Wartungs- und Reparaturkosten im Versuchsverlauf zunahm. Die Bedeutung des Strom- und insbesondere des Kraftstoffverbrauchs pro Kilometer, die sich beide unmittelbar in Form von Kosten äußern, blieb hingegen mehr oder weniger unverändert, obwohl in erster Linie die im Vergleich zu Strom höheren und zudem steigenden Kraftstoffpreise derzeit als Treiber für den Kauf von Elek-

„Wie schaut es mit dem Wiederverkaufswert aus? [...] dem Kauf mit verschiedenen Batteriegrößen [...] Wie wird das im Wiederverkauf verrechnet? Dann sind vermutlich die Reparaturen teurer als bei einem herkömmlichen Auto, [...] das müsste man berücksichtigen.“

Abb. 6-62: Wichtige Kaufkriterien und deren Veränderung über den Versuchsablauf (nur PRIVAT)



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Hier dürften die insgesamt eher positiven Erfahrungen mit dem TwinDRIVE eine Rolle spielen, die sich gegebenenfalls auch positiv auf eine spätere Kaufbereitschaft auswirken.

„Bei uns ist auch die Wirtschaftlichkeit ein zentraler Punkt.“

trofahrzeugen angesehen werden können. Hinsichtlich des Stromverbrauchs erwarten einige Teilnehmer(innen) spezielle, das heißt günstigere Stromtarife für Nutzer von Elektrofahrzeugen, die in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung positiv zu Buche schlagen würden. Der Wiederverkaufswert, zunächst ein ver-

⁹ Private Teilnehmer(innen) wurden in allen drei Befragungsphasen gefragt, die Betriebsleiter(innen) hingegen nur in Phase 1.

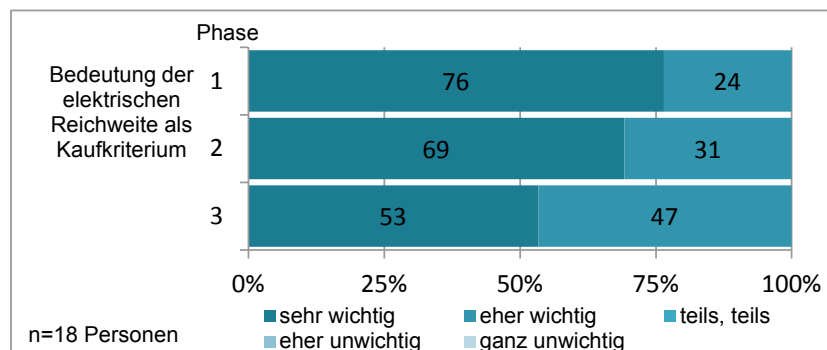
gleichsweise unwichtiges Kaufkriterium, nimmt im Versuchsverlauf deutlich zu.

Die Möglichkeit des Fahrzeug-Leasings war nur für Betriebe vor allem bei rein gewerblicher Nutzung von Bedeutung. Mit Ausnahme einiger weniger Befragter wird ein Batterie-Leasing insgesamt als weniger wichtig angesehen.

Im Hinblick auf mögliche staatliche Förderung und Unterstützung (z. B. durch Kaufprämien) bestand Uneinigkeit unter den Versuchsteilnehmer(inne)n, die von einer klaren Erwartungshaltung bis hin zu vollständiger Ablehnung reichte. Auffällig ist die veränderliche Bewertung staatlicher Unterstützung über die Zeit: Deren Bedeutung nahm in der zweiten Versuchsphase zunächst deutlich ab, um dann über den Wert der ersten Versuchsphase hinaus wieder anzusteigen (33% der privaten Teilnehmer(innen)).

Insgesamt scheinen sich die meisten Versuchsteilnehmer(innen) während der Versuchslaufzeit, nicht zuletzt gestützt auf neu gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse, eingehend mit den finanziellen Aspekten eines Elektrofahrzeugs auseinandergesetzt zu haben, da deren Bedeutung insgesamt deutlich zugenommen hat.

Abb. 6-63: Veränderung der Bedeutung der elektrischen Reichweite während des Flottenversuchs



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

Kaum überraschend stellt die **elektrische Reichweite** nach dem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch (bei Hybridfahrzeugen) eines der wichtigsten Kaufkriterien dar, auch wenn dessen Bedeutung im Versuchsverlauf leicht abnahm. Die elektrische Reichweite wurde von den Teilnehmer(inne)n in der Regel in engem Zusammenhang mit der **Eignung** des (Versuchs)fahrzeugs für

die **persönlichen/ betrieblichen Wegezwecke** gesehen, wobei die privaten und Mischnutzer(innen) diesem Faktor stärkere Bedeutung beimaßen als die rein gewerblichen Teilnehmer(inne)n. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass die Bewertung der verschiedenen Kriterien ohne Berücksichtigung der verschiedenen Antriebskonzepte vorgenommen werden sollte, der praktische Erfahrungshintergrund jedoch

„Für mich ist der Akku zu groß, ich nutze die Reichweite nicht aus.“

in erster Linie an den TwinDRIVE geknüpft war. Aus diesem Grund wurde

auch die praktisch verfügbare elektrische

Reichweite je nach persönlichem Nutzungskontext (z. B. der Länge der regelmäßig zu fahrenden Strecken) sehr unterschiedlich bewertet.

So konnten gewerbliche Nutzer(innen) einen größeren Anteil ihrer alltäg-

lichen Wege mit dem TwinDRIVE rein elektrisch realisieren als private Nutzer(innen) (vgl. Abschnitt 6.2.2), und Einschränkungen entstanden in diesem Segment eher aufgrund des Fahrzeugmodells. Private Nutzer(innen) sahen praktische Einschränkungen vor allem bei mittleren und langen Strecken oder im Hinblick auf begrenzte Zuladungsmöglichkeiten (Gewicht, Volumen). Gerade für privat Haushalte spielt der letzte Faktor eine besondere Rolle, da das Fahrzeug in der Regel für alle Zwecke gleichermaßen geeignet sein muss, da anders als in Betrieben mit einem diversifizierten Fuhrpark die Möglichkeit, bei Bedarf auf ein anderes Fahrzeug zurückzugreifen, oft nicht gegeben ist.

Entsprechend stieg mit zunehmender Nutzungserfahrung die Bedeutung der beiden Kriterien **„Eignung für persönliche Wegezwecke“** und **„Umfang der Zuladungsmöglichkeiten“** an; eine hinreichende elektrische Reichweite war somit nur ein, wenn auch wichtiges Kriterium unter mehreren.

Unabhängig von der Fahrzeugebene kann der Nachteil begrenzter elektrischer Reichweiten durch die **Bereitstellung (öffentlicher) Ladeinfrastruktur** verringert werden. Dies trifft bei den Teilnehmer(inne)n

„Ausweitung der Reichweite auf 100 Kilometer wäre für uns ideal.“

jedoch auf geteilte Meinung, insgesamt wird dieser Faktor jedoch als eher wichtiges Kaufkriterium eingestuft, wenn auch mit leicht abnehmender Tendenz. Insbesondere gewerbliche Nutzer(innen), welche sich häufig an wechselnden Standorten (z. B. bei Kunden oder auf Baustellen) aufhalten, schätzen ein Vorhandensein öffentlicher Ladeinfrastruktur wichtiger ein als die privaten Nutzer(innen), was vor allem mit dem Wunsch begründet wurde, möglichst viele Fahrten rein elektrisch zurückzulegen. Teilnehmer(innen) hingegen, die über Lademöglichkeiten sowohl am Wohn- als auch am Arbeitsort verfügten, sahen aufgrund ihrer persönlichen Erfahrungen eher keine Notwendigkeit für öffentliche Ladeinfrastruktur.

Ebenfalls vor dem Hintergrund wachsender praktischer Erfahrung gewinnt der **Ladekomfort** (Handhabung von Stecker und Kabel) an Bedeutung; spielte dieser Faktor zu Beginn des Flottenversuches noch keine Rolle, wurde er gegen Ende der Versuchslaufzeit von einem Drittel der (Privat-)personen als „sehr wichtig“ eingeschätzt.

Das **umweltfreundliche Image** eines Elektroautos wird von den Teilnehmer(inne)n sehr differenziert wahrgenommen. Während es bei einigen Unternehmen zum Teil eine große Rolle spielte, wurde es von Privatpersonen eher im Sinne einer positiven Begleiterscheinung wahrgenommen. So erwarteten die entsprechenden Unternehmen eine positive Wirkung bei ihren Kunden, die privaten Teilnehmer(innen) sahen eher eine Verringerung ihres mit der Nutzung konventioneller Fahrzeuge verbundenen „schlechten Gewissens“. Insgesamt jedoch spielt das Image eines Elektrofahrzeuges vor allem im Vergleich zu Kostenaspekten und elektrischer Reichweite eine geringere Rolle bei Kaufüberlegungen und dies mit abnehmender Tendenz.

„Unser Unternehmen achtet auf ein grünes Image. Da ist ein positiver Trend.“

Der Einsatz **neuer Technologie** spielt zunächst eine eher geringe Rolle, wird jedoch für ein knappes Drittel der (privaten) Teilnehmer(innen) zum Ende des Versuchs „sehr wichtig“, gegebenenfalls verbunden mit der Bereitschaft, einen gewissen Aufpreis zu zahlen. Eine damit unter Umständen zusammenhängende

Vorreiterrolle als Fahrer(in) eines Elektrofahrzeugs hatte hingegen eher keine Bedeutung: Während sich einige das zwar prinzipiell vorstellen konnten, jedoch aufgrund der hohen Investition zögerten, trauten sich andere diese gar nicht zu und äußerten im Interview explizit, dass sie lieber aus Erfahrungen anderer lernen wollten.

„Ich würde mir eine gewisse Vorreiterrolle zutrauen. Bei einer so hohen Investition würde ich mir das aber gut überlegen.“

Fahrzeugdesign oder der Kauf beim **bevorzugten Hersteller** sind als Kaufkriterium ebenfalls weniger relevant. In den Interviews wurde dazu geäußert, dass sich Elektrofahrzeuge im äußeren Erscheinungsbild möglichst wenig von herkömmlichen Autos unterscheiden sollten.

6.5.3 Kaufbereitschaft eines Elektroautos

Hinsichtlich des politischen Ziels der Bundesregierung von einer Million Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen im Jahr 2020 ist es von Interesse, die Bereitschaft der Versuchsteilnehmer(innen) ein Elektrofahrzeug zu kaufen sowie mögliche Einflussfaktoren auf diese zu analysieren. Die potenzielle Kaufbereitschaft ist dabei durchaus ein Indikator für einen möglichen Markterfolg des im Versuch genutzten Plug-In Hybridautos. Dementsprechend wurde nach Versuchsende die allgemeine Kaufbereitschaft untersucht und eine Diskussion der wichtigsten Einflussfaktoren durchgeführt.

Mit Ende des Flottenversuchs äußerten 73% der befragten Versuchsteilnehmer(innen) ihre grundsätzliche Bereitschaft, beim nächsten Fahrzeugkauf ein Elektrofahrzeug einem herkömmlichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor vorzuziehen. Von diesen Teilnehmer(inne)n würden 53% ein Plug-In-Hybridauto bevorzugen, wobei neben objektiven Bewertungskriterien insbesondere auch subjektive Anreize für den Kauf eines solchen Fahrzeugs genannt wurden. Dazu zählen insbesondere **Umweltschutzaspekte** sowie ein darauf beruhender **Imagegewinn**, welcher mit der Nutzung eines Elektroautos verbunden sei. Die Nutzer(innen) erwarteten in diesem Zusammenhang, dass es sich bei der genutzten Energie um solche aus erneuerbaren Quellen handele.

Bei einigen Nutzer(inne) bestand jedoch deutliche Skepsis bezüglich des derzeitigen Preis-Leistungs-Verhältnisses, da die Kaufbereitschaft in allen Nutzungssegmenten eng an die **Kosten** und die damit verbundene **Wirtschaftlichkeit** gekoppelt ist. Alle Befragten, die angaben, den Kauf eines Elektrofahrzeugs nicht in Erwägung zu ziehen, nannten mangelnde Rentabilität der Investition als Hauptgrund. In diesem Zusammenhang werden neben den erwarteten vergleichsweise höheren Anschaffungskosten auch die noch vorhandene Unsicherheit hinsichtlich der voraussichtlichen Unterhaltskosten für Energie und Wartung genannt. Darüber hinaus bestanden Unklarheiten hinsichtlich des erwartbaren **Wiederverkaufswertes**, der **Lebensdauer**, der **Garantie** und der **Entsorgung der Batterien**. Dies seien Risikofaktoren, welche einige Teilnehmer nicht in Kauf nehmen mochten. Ein möglicher Aufpreis für ein Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem ähnlichen herkömmlichen Fahrzeug müsse sich nach Auffassung der Mehrheit der Teilnehmer(innen) über die Haltedauer amortisieren. Privathaushalte zeigten sich diesbezüglich sensibler als Unternehmen.

„Umweltbewusst sind wir schon, aber es muss preislich leider trotzdem stimmen.“

Einige der Versuchspersonen nehmen den TwinDRIVE im Versuch als ein im besonderen Maße für den Stadtverkehr geeignetes Fahrzeug für Strecken unter 50 km wahr. Allerdings stehe das Fahrzeugkonzept hier in Konkurrenz mit rein-batterieelektrischen Fahrzeugen. Grund für diese Wahrnehmung war maßgeblich der vergleichsweise **höhere verbrennungsmotorische Verbrauch bei Langstreckenfahrten**. Dieser war zum einen dem Prototypenstatus geschuldet (z. B. aufgrund eines entsprechend höheren Fahrzeuggewichtes), zum anderen der Tatsache, dass in den Haushalten und Unternehmen der Versuchsteilnehmer(innen) Dieselfahrzeuge dominierten, welche gerade bei Autobahnfahrten einen geringeren Kraftstoffverbrauch haben als der in den Versuchsfahrzeugen befindliche Ottomotor.

Ein weiteres Kriterium für die Versuchsteilnehmer(innen) war eine gewisse **Modellvielfalt von Elektrofahrzeugen am Markt**. Tatsächlich sind nach wie vor nur wenige Fahrzeugtypen erhältlich. Die Teilnehmer(innen) möchten jedoch beim Kauf eines Elektrofahrzeugs wie bei konventionellen Fahrzeugen auch zwischen verschiedenen Herstellern, Typen und Antriebssystemen wählen können.

Darüber hinaus wurde die Kaufbereitschaft für ein Elektroauto auch durch die als unzureichend vorhandene **öffentliche Ladeinfrastruktur** gedämpft. Hier war insbesondere die Lademöglichkeit am Arbeitsplatz ein wichtiges Kriterium. Neben zusätzlichen Lademöglichkeiten wurde zudem die **Beschleunigung des Ladevorgangs** als Kaufkriterium genannt. Durch das Vorhandensein des Verbrennungsmotors besteht zwar objektiv keine Beschränkung der Reichweite, jedoch war dessen häufige Inanspruchnahme von den Versuchsteilnehmer(inne)n nicht erwünscht, vielmehr wurde dieser mehrheitlich als eine Art Rückfallebene betrachtet. Demzufolge werden dem persönlichen Bedürfnis entsprechend **skalierbare elektrische Reichweiten** bei Plug-In-Hybridfahrzeugen erwartet.

Von Versuchsteilnehmer(inne)n, die dem Kauf eines solchen Fahrzeugs generell eher skeptisch gegenüberstanden, wurde noch ein weiterer hinderlicher Einflussfaktor genannt: Aufgrund mangelnder Erfahrungen mit der Technologie insgesamt lehnten sie es ab, eine Vorreiterrolle bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen zu übernehmen.

„Andere haben ganz andere Autos. Warum soll gerade ich den Beitrag leisten?“

6.5.4 Aufpreisbereitschaft

Der Stellenwert der Beschaffungskosten als Kaufkriterium wurde von allen Teilnehmer(inne)n als sehr wichtig bewertet. Dennoch sind über drei Viertel der Befragten bereit, für ein batterieelektrisches Fahrzeug (BEV) oder für ein Plug-In-Hybridauto (PHEV) einen Aufpreis im Vergleich zu einem ähnlichen Fahrzeug mit herkömmlichem Verbrennungsmotor zu zahlen. Vor diesem Hintergrund ist ein Blick auf die mögliche Höhe eines solchen Aufpreises, den zukünftige Käufer(innen) bereit wären zu zahlen, interessant.

Zur Analyse dieser so genannten Aufpreisbereitschaft wurde im Rahmen der Gruppendiskussionen ein Kalkulationsexperiment durchgeführt. Alle Teilnehmer(innen) wurden zuerst aufgefordert, im Kontext eines **mittleren Kostenszenarios** ein für sie akzeptables Fahrzeugbudget zu bestimmen. dabei wurden ein fixer Grundpreis für den Elektroantrieb inklusive 40 km elektrischer Reichweite in Höhe von 5 000 € sowie ein Grundpreis von 650 € für jeweils 10 weitere elektrische Kilometer angenommen. Der Budgetrahmen konnte durch eine dem individuellen Bedarf entsprechende Anpassung der elektrischen Reichweite beeinflusst werden: Für zusätzliche Reichweite war demnach ein höherer Preis zu kalkulieren, über eine Verkürzung der Reichweite konnte der Preis jedoch auch entsprechend reduziert werden. Die Kosten der verschiedenen Reichweitenalternativen konnten der Rückseite der Szenariokarte entnommen werden (Abb. 6-64).

Abb. 6-64: Szenariokarten

Szenario „hoch“ – Ihre Wahl

Szenario „niedrig“ – Ihre Wahl

Szenario „mittel“ – Ihre Wahl

Grundpreis Batteriereichweite:
10 km zusätzliche elektr. Reichweite $\pm$ 650 €

Budgetrahmen für herkömmliches Fahrzeug: _____ €

Grundpreis Elektroantrieb (inkl. 40 km Reichweite): 5000 €

bevorzugte Batteriereichweite: _____ km

Preisanpassung für bevorzugte Batteriereichweite (vgl. Rückseite): _____ €

Gesamtpreis Elektro-Fahrzeug inklusive Batterie: _____ €

Hauptkriterium Ihrer Wahl:

- ☐ benötigte elektrische Reichweite
- ☐ Gesamtpreis Fahrzeug (inklusive Batterie)

Ihre Kalkulation gilt für

- ☐ einen Privathaushalt
- ☐ ein Unternehmen

Reichweite: 5000 €	
= 650 €	
90 km	100 km
3250 €	3900 €
90 km	200 km
3750 €	10400 €
90 km	300 km
4250 €	16900 €
90 km	400 km
4750 €	23400 €
90 km	500 km
5250 €	29900 €

Quelle: EMOBIL 2012.

Die Budgetkalkulation war prinzipiell aus zwei Richtungen möglich: Zum einen konnte ein dem gewünschten Fahrzeugtyp entsprechendes Budget festgelegt werden (zunächst ohne Berücksichtigung der weiteren Kosten für den Elektroantrieb). Erst im zweiten Schritt kämen die Kosten für Elektroantrieb und gewünschte Reichweite hinzu. Unter der Annahme, dass hinsichtlich des gewünschten Fahrzeugtyps zunächst keine Abstriche gemacht würden, hätte diese Art der Kalkulation in der Regel eine Erhöhung des Gesamtbudgets zur Folge. Alternativ konnte die Rechnung von einem maximal zur Verfügung stehenden Gesamtbudget ausgehen, an dessen Grenzen sich sowohl die Auswahl des Fahrzeugtyps als auch die Wahl der Reichweite auszurichten hätte.

Im Anschluss an das mittlere Szenario wurden die Teilnehmer(innen) gebeten, ihre Kalkulation noch einmal sowohl in einem **Niedrigpreis-** als auch einem **Hochpreisszenario** zu wiederholen. Während der Grundpreis für den Elektroantrieb gleich blieb, änderte sich der Preis für jeweils 10 km elektrischer Reichweite (niedrig: 300 €, hoch: 1 000 €). Es wurde den Teilnehmerinnen freigestellt, ihre Kalkulation entweder aus Sicht eines Privathaushaltes oder aber aus Sicht eines Unternehmens durchzuführen, da insbesondere die Fahrer(innen) des GEWERBE- oder MIX-Segmentes nicht zwangsläufig in den unternehmerischen Beschaffungsprozess eingebunden waren.

Tab. 6-11 stellt die Ergebnisse der Budgetkalkulation dar. Das Budget aus Sicht privater Haushalte für ein herkömmliches Fahrzeug liegt durchschnittlich bei 18 539 €, das aus unternehmerischer Sicht liegt mit 24 905 € deutlich darüber. Unter Einbezug der Aufpreise für den Elektroantrieb sowie der individuellen Reichweitenanpassungen auf durchschnittlich 61 km ergab sich im Szenario „mittel“ für private Nutzer ein durchschnittlicher Kaufpreis von 24 713 € für einen PHEV. Die Mehrheit der Befragten nutzte also die Möglichkeit, die elektrische Reichweite bedarfsgerecht zu erhöhen. Die Aufpreisbereitschaft privater Nutzer(innen) für einen PHEV liegt mit 6 174 € rund 27% über dem Budget für ein vergleichbares herkömmliches Fahrzeug. Bei unternehmerisch kalkulierenden Teilnehmer(inne)n hingegen betrug das veran-

Tab. 6-11: Zentrale Kennziffern der Aufpreisbereitschaft nach Nutzersegment

	PRIVAT (n=23)	GEWERBE MIX (n=7)	GESAMT
	Mittelwert Minimum Median Maximum *		
Budget für herkömmliches Fahrzeug [€]	18 539 4 000 20 000 34 000	24 905 18 000 25 000 30 000	20 024 4 000 20 000 34 000
Gesamtpreis inklusive 5 000 € Aufpreis für Elektroantrieb und 40 km elektrische Reichweite [€]	24 713 8 000 25 000 45 000	33 714 25 600 30 650 57 000	26 813 8 000 26 000 57 000
Aufpreis für Elektroantrieb (5 000 €) inklusive individuell angepasster elektrischer Reichweite [€]	6 174 4 000 6 000 11 000	8 810 5 600 7 600 27 000	6 789 4 000 6 000 27 000
Aufpreis für Elektroantrieb (5 000 €) inklusive individuell angepasster elektrischer Reichweite [%] **	27 17 24 60	25 18 23 47	27 17 24 60
gewünschte elektrische Reichweite [km]	61 30 60 150	101 50 80 260	70 30 60 260

* Lesebeispiel Segment PRIVAT, Zeile „Budget für herkömmliches Fahrzeug [€]“: Das durchschnittliche Budget liegt bei 18 539 € (= Mittelwert). Die Bandbreite für das Budget eines Fahrzeugs liegt zwischen 4 000 € (= Minimum) und 34 000 € (= Maximum). Die Hälfte der genannten Budgets liegt unter 20 000 € (= Median). Die Werte aus allen drei Szenarien wurden zusammengefasst.

** Der Mittelwert wurden für alle Teilnehmer(innen) berechnet.

Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

schlugte Gesamtbudget durchschnittlich 33 714 € und lag damit deutlich über dem der privaten Nutzer(innen). In diesem Budget war eine deutlichere Anpassung der elektrischen Reichweite auf durchschnittlich 101 km enthalten. Somit ist die unternehmerische Investitionsbereitschaft mit durchschnittlich 8 810 € größer als bei Privatpersonen, auch wenn der Anteilswert bezogen auf das Gesamtbudget mit 25% etwas geringer war.

Eine Aufpreisbereitschaft in einer solchen Höhe war weder von den Unternehmen noch von den Privatpersonen zu erwarten, zumal sich die Mehrheit der Teilnehmer(innen) im Vorfeld sehr kostenbewusst zeigte und die Anschaffungskosten als eines der wichtigsten Kaufkriterien nannte. Der weiteren Diskussion mit den Teilnehmer(inne)n war jedoch zu entnehmen, dass dieser Aufpreis mehrheitlich bewusst in Kauf genommen werden würde, da aufgrund der erwarteten geringeren Betriebskosten von einer Amortisation über die Zeit ausgegangen wurde. Offensichtlich hatten sich die Nutzer(innen) überwiegend detailliert mit Kosten und Nutzen eines PHEV auseinandergesetzt.

In den Alternativszenarien „niedrig“ und „hoch“ veränderten die Teilnehmer(innen) in der Regel entweder die elektrische Reichweite oder aber den Endpreis. Dabei passten zwei Drittel der Befragten im Szenario „hoch“ (je 10 km à 1 000 €) die Reichweite nach unten an, während sie im Szenario „niedrig“ (je 10 km à 300 €) aufgestockt wurde. Das verbleibende Drittel veränderte die Reichweite hingegen nicht.¹⁰

Die jeweilige Entscheidung der Teilnehmer(innen) steht offensichtlich in Beziehung zum Hauptkriterium für die Kalkulation: Bei jenen Teilnehmer(inne)n, die die elektrische Reichweite aufgrund der entstehenden Mehrkosten im Szenario „hoch“ reduzierten, stand der Gesamtpreis des Fahrzeugs bei der antizipierten Kaufentscheidung im Vordergrund. Wurde die elektrische Reichweite hingegen nicht angepasst, wurde als ausschlaggebendes Kriterium die benötigte elektrische Reichweite genannt.

Bemerkenswert ist, dass es möglicherweise eine ‚psychologische‘ Kostenakzeptanzgrenze gibt, die sich im Hochpreisszenario andeutet: So verringerten – zunächst durchaus plausibel – 8 von 30 Teilnehmer(in-

¹⁰ Lediglich ein(e) Teilnehmer(in) erhöhte mit einem höheren 10 km-Preis auch die gewünschte Reichweite.

ne)n die gewünschte Reichweite. Im Endergebnis rutschte jedoch der resultierende Gesamtpreis unter das Niveau der beiden anderen Szenarien „mittel“ und „niedrig“. Offensichtlich spielten in diesen Fällen also weder das zur Verfügung stehende Gesamtbudget noch der Umfang der elektrischen Reichweite die entscheidende Rolle, sondern vielmehr die relativen Kosten für jeweils 10 km mehr oder weniger Reichweite: Obwohl das Gesamtbudget eine Aufstockung der Reichweite erlaubt hätte, wurde diese Möglichkeit nicht in Anspruch genommen, zusätzliche 10 Kilometer schienen den betreffenden Nutzer(inne)n unter Umständen keine 1 000 € wert zu sein.¹¹

Weitere vier Gruppendiskussionsteilnehmer(innen), die im Hochpreisszenario ihren Gesamtpreis über eine Verringerung der Reichweiten senkten, taten dies offenbar nicht aufgrund eines als zu hoch empfundenen 10 km-Preises, sondern aufgrund ihres übergeordneten Budgetrahmens, der höhere Reichweiten schlicht nicht erlaubte. Weitere sieben Teilnehmer(innen) bevorzugten die Kalkulationsvariante, den Gesamtpreis in allen Szenarien konstant zu halten: Um den festgesetzten Gesamtpreis nicht zu überschreiten verzichteten diese Personen dementsprechend auf elektrische Reichweite oder gingen von einem günstigeren Fahrzeuggrundpreis aus, was beispielsweise durch die Wahl eines anderen Fahrzeugmodells oder aber den Verzicht auf Sonderausstattungen bewerkstelligt werden könnte. Die verbleibenden elf Teilnehmer(innen) schließlich hielten in allen Szenarien die gewünschte Reichweite konstant, welche auch als Hauptkriterium für die Kalkulation genannt wurde. Dementsprechend wurde stets der veranschlagte 10 km-Preis ins somit veränderliche Budget mit einbezogen.

Insbesondere die Personen der letztgenannten Gruppe, bei denen die elektrische Reichweite entscheidend war, kommen als potenzielle Erstnutzer von PHEVs in Frage, da sie zum einen großen Wert auf die elektrische Motorisierung legen und gleichzeitig bereit scheinen, dafür einen entsprechenden Aufpreis in Kauf zu nehmen.

Somit wird deutlich, dass es im Hinblick auf eine Aufpreisbereitschaft große Unterschiede zwischen den Teilnehmer(inne)n gibt: Einige haben eine klare Budgetgrenze, die größere Reichweiten nicht erlaubt, andere stehen einer psychologischen Kostenakzeptanzgrenze gegenüber, jenseits derer sie sich mehr Reichweite nicht leisten wollen. Wieder andere scheinen grundsätzlich bereit, für ihre Wunschreichweite den entsprechenden Aufpreis zu zahlen. Das Einkommen spielt bei der Budgetfestsetzung und dem daraus resultierenden Gesamtpreis eine eher untergeordnete Rolle.

Ungeachtet dieser Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass ein Drittel der Teilnehmer sich die Anschaffung eines PHEV nur schwer vorstellen konnte, was vor allem zwei Gründe hatte: Zum einen waren die Kalkulationsszenarien auf den Kauf eines Neuwagens ausgelegt, was sich einige der Teilnehmer(innen) als Gebrauchtwagenkäufer nicht vorstellen konnten. Entsprechend wurden von diesen anhand von Gebrauchtwagenpreisen kalkuliert. Zum anderen konnten sich einige Teilnehmer(innen) nur vorstellen, einen PHEV als Zweitwagen anzuschaffen. Im Hinblick auf eine Neuwagenanschaffung wurde von diesen sowohl das Fahrzeugbudget (durchschnittlich 12 122 €) als auch der Gesamtpreis (durchschnittlich 17 905 €) als sehr gering angesetzt.

Die Werte für den Aufpreis können lediglich als Orientierungsrahmen dienen. Dass die Anschaffung eines PHEV mit einem Mehrpreis einhergeht, akzeptieren drei Viertel der befragten Teilnehmer(innen), wobei dies mit der Hoffnung verbunden wird, den zunächst zu zahlenden Mehrpreis durch Einsparungen im Unterhalt auszugleichen. Daher sollte sich ein Elektrofahrzeug möglichst schnell amortisieren. Das Experiment zeigte, dass als Richtwert für den zukünftigen Mehrpreis von PHEV für private Nutzer 33% des ursprünglichen Budgets angesetzt werden können, bei Unternehmen sogar 35%. Allerdings kommen nicht alle Nutzergruppen gleichermaßen als potenzielle Käufer in Frage, sondern nur diejenigen, die sich einen PHEV als Neu- sowie Erstwagen anschaffen würden und darüber hinaus bereit wären, entsprechend mehr zu investieren.

¹¹ Inwiefern solch eine Kostenakzeptanzschwelle tatsächlich vorliegt und zudem bei einem 10 km-Preis von 1 000 € liegt, kann hier nicht abschließend belegt werden.

6.5.5 Bewertung von Markteinführungsmaßnahmen

Im Hinblick auf eine mögliche Förderung der Kaufbereitschaft von Elektrofahrzeugen wurden mit den Teilnehmer(inne)n sowohl in den Interviews als auch im Rahmen der Gruppendiskussionen verschiedene, die Markteinführung begleitende Maßnahmen diskutiert. Zu diesen zählen beispielsweise monetäre Anreize wie Steuernachlässe oder Vergünstigungen beim Kaufpreis. Immaterielle Anreize hingegen könnten ordnungsrechtliche Maßnahmen wie reservierte Parkplätze, die Berechtigung zur Einfahrt in Umweltzonen oder die Befahrung von Busspuren darstellen. Die subjektive Bewertung solcher Markteinführungsmaßnahmen durch die Teilnehmer(innen) war sehr unterschiedlich.

„Anreize für den Beschaffungspreis, egal wie [...] steuerliche Anreize oder sonst welche“

sichts der Bedeutung des Beschaffungspreises als wichtiges Kaufkriterium nicht überrascht. Darüber hinaus wurden **vergünstigte Stromtarife** im Fall der Nutzung eines Elektroautos ins Spiel gebracht.

„[...] möglicherweise günstige Stromtarife für Elektrofahrzeugnutzer“

Mehrheitlich werden finanzielle Anreize in Form von **Steuernachlässen** (etwa im Sinne eines CO₂-Freibetrages) oder einer **Subventionierung des Kaufpreises** als mögliche Markteinführungsmaßnahmen genannt. Von diesen werden Kostensenkungen erhofft, was angesichts der Bedeutung des Beschaffungspreises als wichtiges Kaufkriterium nicht überrascht. Darüber hinaus wurden **vergünstigte Stromtarife** im Fall der Nutzung eines Elektroautos ins Spiel gebracht.

„Ganz klar finanzielle Anreize, vom Staat meist netwegen. Günstige Steuer beispielsweise.“

Dem gegenüber stehen Meinungen, dass finanzielle Anreize wie Steuernachlässe beim Kauf eines Elektrofahrzeuges aufgrund der ohnehin bereits niedrigen Steuern für verbrauchsarme Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zu vernachlässigen wären.

„Steuernachlässe fallen nicht auf.“

Folglich wurden auch nicht-finanzielle Markteinführungsmaßnahmen diskutiert, wie etwa verkehrspolitische Anreize. Nicht nur für Privathaushalte, sondern auch für Unternehmen sind derartige Sonderregelungen attraktiv. In diesem Zusammenhang wurden beispielsweise die **Berechtigung zur Einfahrt in Umweltzonen** oder **reservierte Parkplätze** in der Innenstadt genannt. Zusätzlich spielen **Umweltaspekte** und ein gegebenenfalls damit verbundener Imagegewinn eine Rolle. In diesem Zusammenhang wurde von einigen Teilnehmer(inne)n eine (noch) größere Präsenz des Themas Elektromobilität in der Öffentlichkeit gewünscht.

„Also, wenn wir sagen könnten, wir fahren beispielsweise zu 80% mit Elektroenergie, dann wäre das für uns ein riesiger Pluspunkt in der Öffentlichkeit.“

Die Mehrheit der Teilnehmer begrüßte zwar die Unterstützung durch Markteinführungsmaßnahmen, aber sieht diese nicht als zwingende Voraussetzung für die Anschaffung eines Elektroautos. Ausschlaggebend seien vielmehr andere ‚Anreize‘ wie steigende Kraftstoffpreise, welche durch Kauf und regelmäßige Nutzung eines Elektroautos umgangen werden könnten.

6.5.6 PHEV vs. BEV

Zum Ende des Flottenversuches bewertete die Mehrheit der Teilnehmer(innen) das Konzept eines Plug-In-Hybridautos als insgesamt positiv. Der entscheidende Vorteil des TwinDRIVEs gegenüber einem rein elektrisch angetriebenen Fahrzeug wurde in dessen höherer Flexibilität gesehen, die sich aufgrund des zusätzlichen, vollwertigen Verbrennungsmotors als praktisch unbegrenzte Reichweite äußerte. So besteht bei einem PHEV grundsätzlich die Möglichkeit, die leere Batterie durch jederzeit durch den Ver-

„[nicht] 100% von der Steckdose abhängig“

„Perfektes Szenario: [elektrische] Reichweite ausreichend, Verbrennungsmotor, zuverlässig und unkompliziert“

besteht bei einem PHEV grundsätzlich die Möglichkeit, die leere Batterie durch jederzeit durch den Ver-

brennungsmotor zu substituieren, damit die Reichweite zu erhöhen und auf diese Weise auch längere Strecken zurücklegen zu können.

„Plan B unter der Haube“

Zusätzlich wurde bei einem PHEV die Möglichkeit gesehen, den Benzinverbrauch grundsätzlich auch im Hybridbetrieb zu verringern und damit Kosten einzusparen. Wertet man die Daten der betrieblichen Segmente bezüglich der Kaufbereitschaft aus, würden drei Viertel der Teilnehmer(innen), die sich nach dem Flottenversuch die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges prinzipiell vorstellen können, derzeit einen PHEV wählen; dieser ließe sich den Teilnehmer(inne)n zufolge besser in die Alltagsmobilität integrieren.

Nichtsdestotrotz werden bei einem PHEV auch Nachteile gesehen, die von einem BEV nicht erwartet werden, zum Beispiel das höhere Gewicht und die hiermit veränderte Fahrdynamik, der erhöhte Kraftstoffverbrauch des Verbrennungsmotors sowie eingeschränkte Zuladungsmöglichkeiten und begrenztes Platzangebot aufgrund der zwei Antriebssysteme. Auch wird der Vorteil der Umweltverträglichkeit in größerem Maße eher einem BEV zugeschrieben. So greift ein PHEV weiterhin auf einen Verbrennungsmotor zurück und führt daher zu direkten CO₂-Emissionen, so dass nach Ansicht der Versuchsteilnehmer(innen) ein BEV hinsichtlich des Umweltaspektes einem PHEV überlegen sei. Aus den Gruppendiskussionen ging zudem hervor, dass ein BEV als innerstädtisches Auto oder Zweitwagen präferiert würde, während sich ein PHEV in Zukunft eher als Langstreckenfahrzeug durchsetzen könnte. Nur, wenn zukünftig die Reichweite eines BEV erhöht würde, könnte auf das Konzept eines PHEV möglicherweise verzichtet werden. Daher setzte sich bei den Teilnehmer(inne)n der Eindruck durch, dass PHEV auf dem Weg in eine elektromobile Zukunft eher eine Übergangslösung darstellen würden.

Die Anschaffungskosten wurden bei beiden Antriebsarten als Nachteil gewertet und werden als Hauptbarriere zur Anschaffung eines Elektrofahrzeuges angesehen. Trotzdem wird vermutet, dass mittelfristig ein BEV günstiger sein würde als ein PHEV, da nur einen Antriebssystem enthalten sein müsste. Daher sprächen die höheren Anschaffungskosten eher gegen das Konzept eines PHEV.

Eine eindeutige Präferenz für eines der beiden Antriebskonzepte kann jedoch nicht abgeleitet werden. Sowohl ein PHEV als auch ein BEV verfügten über spezifische Vor- und Nachteile. Beiden Konzepten wird derzeit noch mit Skepsis begegnet. Die Teilnehmer(innen) konnten zwar im Feldversuch die Alltags-tauglichkeit eines PHEV bestätigen und äußerten zukünftiges Kaufinteresse (auch unter Inkaufnahme von hohen Aufpreisen), sind aber nicht bereit, diesen Kauf in naher Zukunft zu tätigen. Vielmehr möchten sie auf Erfahrungen anderer zurückgreifen und nicht als Vorreiter vorangehen.

6.5.7 Bedeutung für zukünftige Elektrofahrzeuge

Insgesamt bewerteten die Versuchsteilnehmer die technischen und elektromobilen Eigenschaften des TwinDRIVES als positiv. Hierzu zählen die Fahreigenschaften wie die Beschleunigung, die geringen Fahrgeräusche sowie der Fahrspaß.

Ersichtlich wird aus Abb. 6-65 auch, dass für eine erfolgreiche Etablierung von PHEVs am Markt die Anschaffungskosten sinken müssen. Zudem sollte die elektrische Reichweite höher sein (möglichst durch den Kunden skalierbar). Darüber hinaus sind attraktive Finanzierungsmodelle gefragt. Der Aufpreis für ein Elektrofahrzeug gegenüber einem herkömmlichen Fahrzeug ist das entscheidende Kaufkriterium. Die Hersteller müssen finanzierbare Autos anbieten. Ein Aufpreis ist möglich, sollte aber nicht zu hoch sein und sich an vergleichbaren Fahrzeugen orientieren. Finanzielle Unterstützungsmaßnahmen werden von den Teilnehmern begrüßt, sind aber keine notwendige Voraussetzung zur Etablierung der Elektromobilität.

Die Reichweite der Batterie ist ein wichtiges Kaufkriterium, aber nicht das wichtigste. Zum jetzigen Zeitpunkt sollte diese beim TwinDRIVE erhöht werden, um eine größere Nutzerakzeptanz zu erreichen trotz der Rückfallebene des Verbrennungsmotors. In Verbindung mit der elektrischen Reichweite sollte zukünftig die Ladezeit reduziert und die Ladeinfrastruktur und Netzabdeckung verbessert werden. In diesem Zusammenhang müssen die Stecker Hersteller- und Länderübergreifend kompatibel gestaltet werden. Hinsichtlich der Batterie müssen die grundlegenden Fragen der Haltbarkeit und Entsorgung geklärt werden und der potentielle Käufer besser informiert werden. Zudem ist es für die ökologische Bilanz entschei-

dend, dass der Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Sicherheitsstandards und die Zuverlässigkeit des Fahrzeuges ähnlich zu herkömmlich Fahrzeugen müssen darüber hinaus gegeben sein.

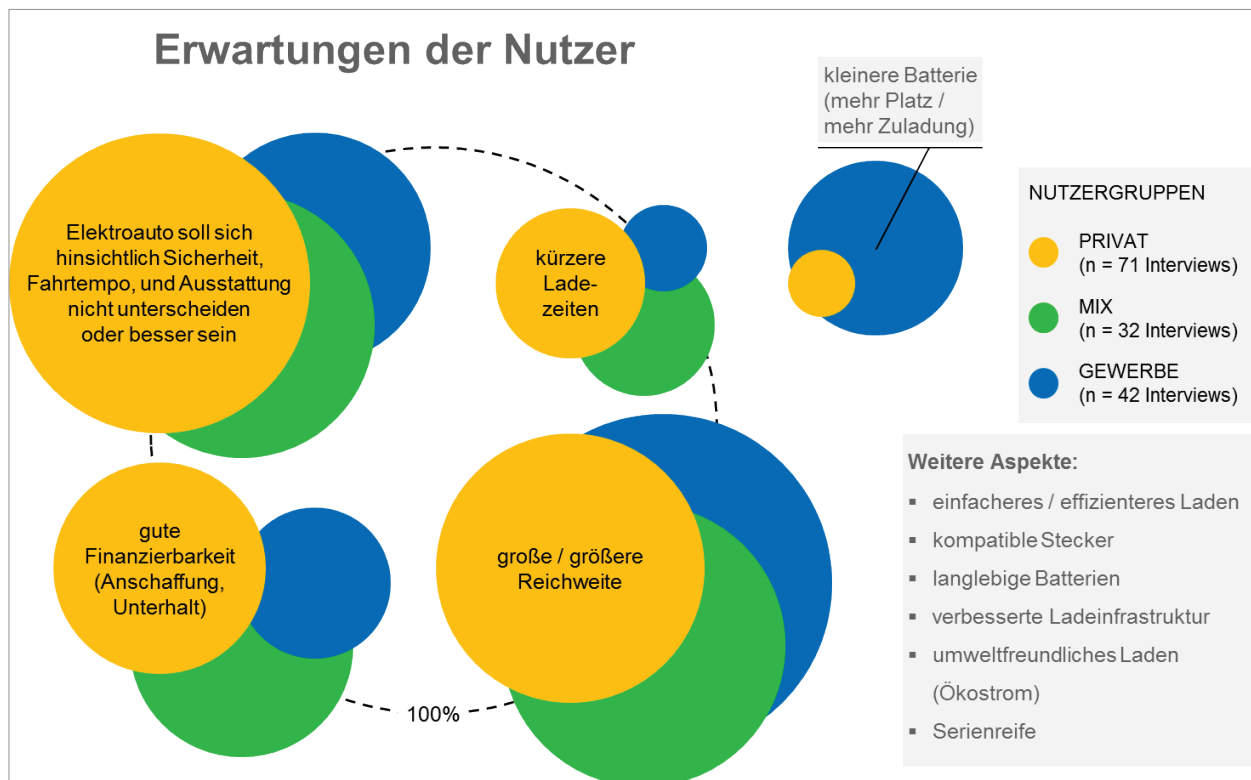
„Also grundsätzlich wäre die Erwartung, dass sich ein Elektrofahrzeug für den Nutzer sich nicht sonderlich von einem normalen Auto unterscheidet. [...] Im zweiten Schritt: Dass man da wirtschaftlich günstiger fährt und sich eben ökologisch korrekt verhält. Das wäre ein gutes Portfolio. Und ein Auto, das das Leben nicht schwerer macht.“

Die grundsätzliche Erwartung der Versuchsteilnehmer ist, dass sich das Elektrofahrzeug nicht wesentlich von einem herkömmlichen Fahrzeug unterscheidet.

Aus dem Flottenversuch geht hervor, dass für viele zukünftige Käufer die Information über Elektroautos, Konzepte und Batterieleistungen entscheidend ist. Einige Teilnehmer des Flottenversuchs sehen hier die Autohersteller in der Pflicht die Nutzer mehr zu informieren.

Die Förderung der Politik spielt zwar eine eher untergeordneter Rolle, aber die Hersteller seien in der Pflicht, Signale für die Förderung und den Ausbau der Elektromobilität zu setzen.

Abb. 6-65: Erwartungen der Nutzer an zukünftige Elektrofahrzeuge



Quelle: EMOBIL 2012. Eigene Berechnungen.

FAZIT „ANFORDERUNGEN AN FAHRZEUGE“

Insgesamt gibt es bereits jetzt eine hohe Zufriedenheit mit dem Versuchsfahrzeug TwinDRIVE. Eine hohe Zufriedenheit zeigt sich bei elektromobilitätsunspezifischen Eigenschaften wie Fahrzeugsicherheit und Fahrverhalten des Fahrzeugs. Unzufriedenheit besteht bei einigen Nutzer(inne)n hinsichtlich der elektrischen Reichweite, der Zuladung sowie beim Ladevorgang.

Die dominierenden Kaufkriterien sind die Fahrzeugsicherheit, die Kosten und die elektrische Reichweite. Besonders die Kosten werden derzeit noch als (zu) hoch, die elektrische Reichweite als zu niedrig eingestuft, so dass diese Kriterien noch für die Mehrzahl der Teilnehmer(innen) gegen eine Anschaffung eines Elektrofahrzeuges sprechen.

Drei Viertel der befragten Teilnehmer(innen) zeigten sich bereit, für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges einen höheren Kaufpreis zu zahlen. Dies kann mit möglichen späteren Einsparungen beim Unterhalt und dem Umweltschutzaspekt begründet werden. Der Mehrpreis sollte die Werte 6 100 € (Privathaushalte) (27%) und 8 800 € (Betriebe) (25%) nicht übersteigen.

Staatliche Markteinführungsmaßnahmen seien nicht zwingend erforderlich, allerdings sollten deutlichere Signale der Politik und Wirtschaft für die Einführung der Elektromobilität gesetzt werden.

Zukünftige Elektrofahrzeuge sollten folgende Anforderungen erfüllen:

- möglichst geringe Unterschiede zu herkömmlichen Fahrzeugen,
- gute Finanzierbarkeit,
- größere elektrische Reichweite,
- kürzere Ladezeiten.

6.6 Zukünftiges Nachfragepotenzial für Elektromobilität in Deutschland

Neben der wissenschaftlichen Begleitung der Versuchsteilnehmer stellt die Analyse des zukünftigen Nachfragepotenzials von Elektrofahrzeugen für Deutschland einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten des DLR-Instituts für Verkehrsforschung im Projekt „Flottenversuch Elektromobilität“ dar.

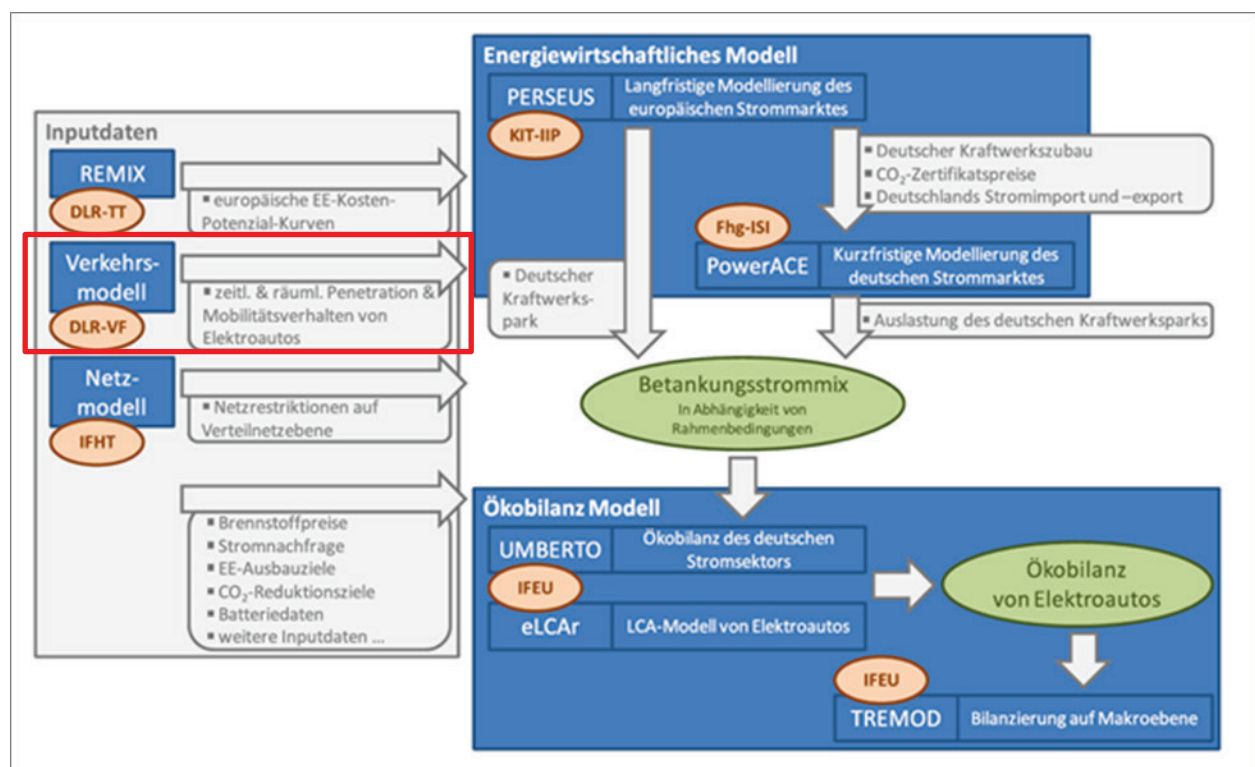
Die Untersuchungen sind integriert in das Teilprojekt „Energiedienstleistung“. Ziel des Teilprojektes ist es entstehende potenzielle energiewirtschaftliche und ökologische Auswirkungen durch Elektromobilität darzustellen. Um den „Ladestrommix“, also den Kraftwerkspark, der zur Beladung von Elektrofahrzeugen in Anspruch genommen wird, zu quantifizieren, werden zwei energiewirtschaftliche Modelle, ein Modell zur Nachfragemodellierung von Elektromobilität, ein Fahrzeugmodell und ein Ökobilanzmodell gekoppelt (PEHNT et al. 2011).

Durchgeführt wurden diese Arbeiten von den folgenden Einrichtungen:

- E.ON Energie: Koordination, mobiler SmartMeter
- DLR-Institut für Verkehrsforschung (IVF): Nutzungspotenzial von Elektrofahrzeugen
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI): Gesamtkostenmodell
- Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE): Intelligente Ladesteuerung
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU): Öko-Bilanzierung
- Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP): Langfristmodelle
- RWTH Aachen – Institut für Hochspannungstechnik (IFHT): Netzlasten

Die verschiedenen Modelle und deren Verknüpfung sind in Abb. 6-66 dargestellt. Die integrierte Vorgehensweise der Modellierung ist auch in PEHNT et al. (2011) dokumentiert.

Abb. 6-66: Modellkopplung zur Abbildung der energiewirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen der Elektromobilität



Quelle: PEHNT et al. (2011).

Wie aus der Abbildung deutlich wird, stellen die Modellergebnisse des DLR-VF einen wesentlichen Input für die weitere Modellbetrachtung dar. Auf Basis der Berechnungen der zu erwartenden zukünftigen Anzahl von Elektrofahrzeugen werden der zusätzliche Energiebedarf sowie die zeitliche und räumliche Verteilung der Energienachfrage berechnet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der im Teilprojekt Energiedienstleistung durch das DLR durchgeführten Arbeiten zur Analyse der zu erwartenden Anzahl von Elektrofahrzeugen in Deutschland näher beschrieben werden. Diese umfassen maßgeblich zwei Bereiche:

- Leitung eines Szenarioprozesses zur Formulierung von möglichen Entwicklungspfaden der Elektromobilität Die in diesem Prozess abgestimmten Modellparameter sowie deren Ausprägung bilden den Rahmen für die Berechnungen aller Projektpartner (Abschnitt 6.6.1)
- Analyse des potenziellen Anteils elektrischer Fahrzeuge am Gesamtfahrzeugbestand Deutschlands bis zum Jahr 2030 in Form von Szenarien unter Nutzung des im Projektverlauf entwickelten TCO-Modells „ECCO – Electric Car Cost of Ownership“ (Abschnitt 6.6.2)

6.6.1 Abstimmung der Energie- und Verkehrsszenarien

Die Entwicklung des zukünftigen Nutzungspotenzials von Elektromobilität ist mit großen Unwägbarkeiten verbunden. Diese betreffen insbesondere den technischen Fortschritt in der Batterieentwicklung, die Verfügbarkeit öffentlicher Ladeinfrastruktur und die Entwicklung der Endkunden(mehr)preise von Elektrofahrzeugen gegenüber herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, nicht nur einen Entwicklungspfad in den Modellrechnungen des zukünftigen Potenzials zu betrachten, sondern vielmehr verschiedene Szenarien zu entwickeln.

Der Einsatz der Szenariomethodik ermöglicht es dabei, die Einflüsse bestimmter Schlüsselfaktoren auf die mögliche Entwicklung darzustellen. Natürlich beschränkt sich das Szenario dabei nur auf einen Ausschnitt: Einige Faktoren werden bewusst ausgegrenzt, um den Fokus auf die zu untersuchenden Aspekte zu beschränken. Darüber hinaus ist es notwendig, bestimmte Schlüsselfaktoren in sinnvollen Kombinationen im Hinblick auf das darzustellende Ziel unter Berücksichtigung möglicher Wechselwirkungen miteinander zu kombinieren (vgl. KOSOW & GABNER 2008).

Aus diesem Grund wurden im Projektkontext durch die modellierenden Projektpartner drei mögliche Szenarien entwickelt. Der folgende Abschnitt beschreibt die vom Konsortium abschließend abgestimmten Eingangsdaten für die Modellrechnungen. Die vorgestellten Szenarien beinhalten Parameterkombinationen des Energie- und Verkehrssektors, welche übergreifend aufeinander abgestimmt sind.

Zunächst wird ein qualitativer Überblick über die Modellparameter des Verkehrs- und Energiesektors sowie deren Einordnung in konstante und variable Parameter gegeben (Abschnitt 6.6.1.1). Daran schließt sich die Vorstellung der Szenarienstruktur an (Abschnitt 6.6.1.2), auf die eine detailliertere Einzelbeschreibung der Parameter folgt (Abschnitt 6.6.1.3). Alle zur Orientierung nötigen Zahlenwerte der Parameter sind entweder direkt im Abschnitt 6.6.1.3 angegeben oder zwecks Übersichtlichkeit im Abschnitt 6.6.4 zusammengestellt.

Die dargestellten Arbeiten stellen im Detail lediglich die für den Verkehrssektor und die Berechnung der potenziellen zukünftigen Nachfrage von Elektrofahrzeugen relevanten Punkte dar. Diese sind dem im Konsortium gemeinsam erarbeiteten Arbeitspapier „Abstimmung der Energie- und Verkehrsszenarien bis 2030“ entnommen, welches darüber hinaus die Rahmenbedingungen des Energiesektors beschreibt. Das Arbeitspapier war eine Gemeinschaftsarbeit des KIT und DLR (vgl. DLR, KIT 2011).

6.6.1.1 Parameter – Überblick

Eine methodische Notwendigkeit bei der Bildung von Szenarien ist die logische und konsistente Kombination von Systemparametern sowie das Übereinkommen zu bestimmten festen, nicht zu variierenden Parametern. Feste Parameter bilden dabei den gemeinsamen Rahmen für die Szenarienrechnungen. Innerhalb dieses Rahmens werden verschiedene Entwicklungen relevanter Größen des Energie- und Ver-

kehrssektors, ausgedrückt in variablen Parametern, modelliert, um deren spezifische Auswirkungen im definierten Untersuchungsfeld „Systemintegration erneuerbarer Energien durch Elektromobilität“ zu prüfen. Aus diesem Grund ist es notwendig, einen Teil der Parameter über alle Szenarien hinweg als unverändert (konstant) zu behandeln, während andere Parameter in unterschiedlichen Ausprägungen zu Szenarien zusammengefasst werden (variabel).

Die Ausprägungen dieser Parameter und die Begründung für die Zuordnung zu den konstanten oder variablen Parametern werden in Abschnitt 6.6.1.3 eingeführt. Die dort beschriebenen Ausprägungen pro Parameter haben das Ziel, eine sinnvolle Bandbreite abzudecken.

Tab. 6-12: Kategorisierung der Parameter des Energie- und Verkehrssektors

Parameter	konstant	variabel
CDM/ JI-Kosten-Potenziale ¹	✓	
EE-Kosten-Potenziale	✓	
Zubauoptionen konventioneller Kraftwerke	✓	
Rohstoffpreise (Rohöl, Gas, Steinkohle)		✓
politische EE-Ausbauziele	✓	✓ ²
CO ₂ -Reduktionsziele/ -Cap		✓
Elektrizitätsnachfrage ohne EV		✓
Bevölkerungsentwicklung	✓	
Kfz-Bestand	✓	
Ladesteuerung		✓
Ladeinfrastruktur		✓
Technologiekosten von Elektrofahrzeugen		✓
staatliche Förderung für Elektrofahrzeuge		✓
Kraftstoffkosten ³		✓
Dienstwagenbesteuerung		✓
Wiederverkaufswert von Elektrofahrzeugen		✓
Spez. Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge		✓

¹ Kosten-Potenziale beschreiben hier die jeweiligen Kosten für eine potentiell zur Verfügung stehende Menge von CDM/ JI. Die Kosten-Potenziale entwickeln sich dabei über den betrachteten Zeitraum bis 2030.

² Für den Zeitraum von 2021 bis 2030 werden zwei unterschiedliche Fortschreibungen der EE-Ziele vorgenommen. Bis 2020 sind die EE-Ausbauziele durch die Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energien festgelegt.

³ Auf Basis der Rohstoffpreise.

Aus den aufgeführten Parametern, die zum großen Teil direkt in die Modelle eingehen, werden auch Zwischenparameter abgeleitet und Ergebnisse des DLR-Modells zur Berechnung der Fahrzeugnachfrage werden in Eingangsparameter „EV-Lastkurve & -Lastverschiebepotenzial“ und „Elektrizitätsnachfrage durch EV“ für das Energiesystemmodell PERSEUS umgerechnet. Die Ergebnisse von PERSEUS gehen dann wiederum als Inputparameter in das Tarif- und Ökobilanzmodell ein (vgl. im Detail PEHNT et al. 2011). Die Hauptegebnisse der Modellrechnungen sind ...

... für den Verkehrssektor (Entwicklung 2015 – 2030)

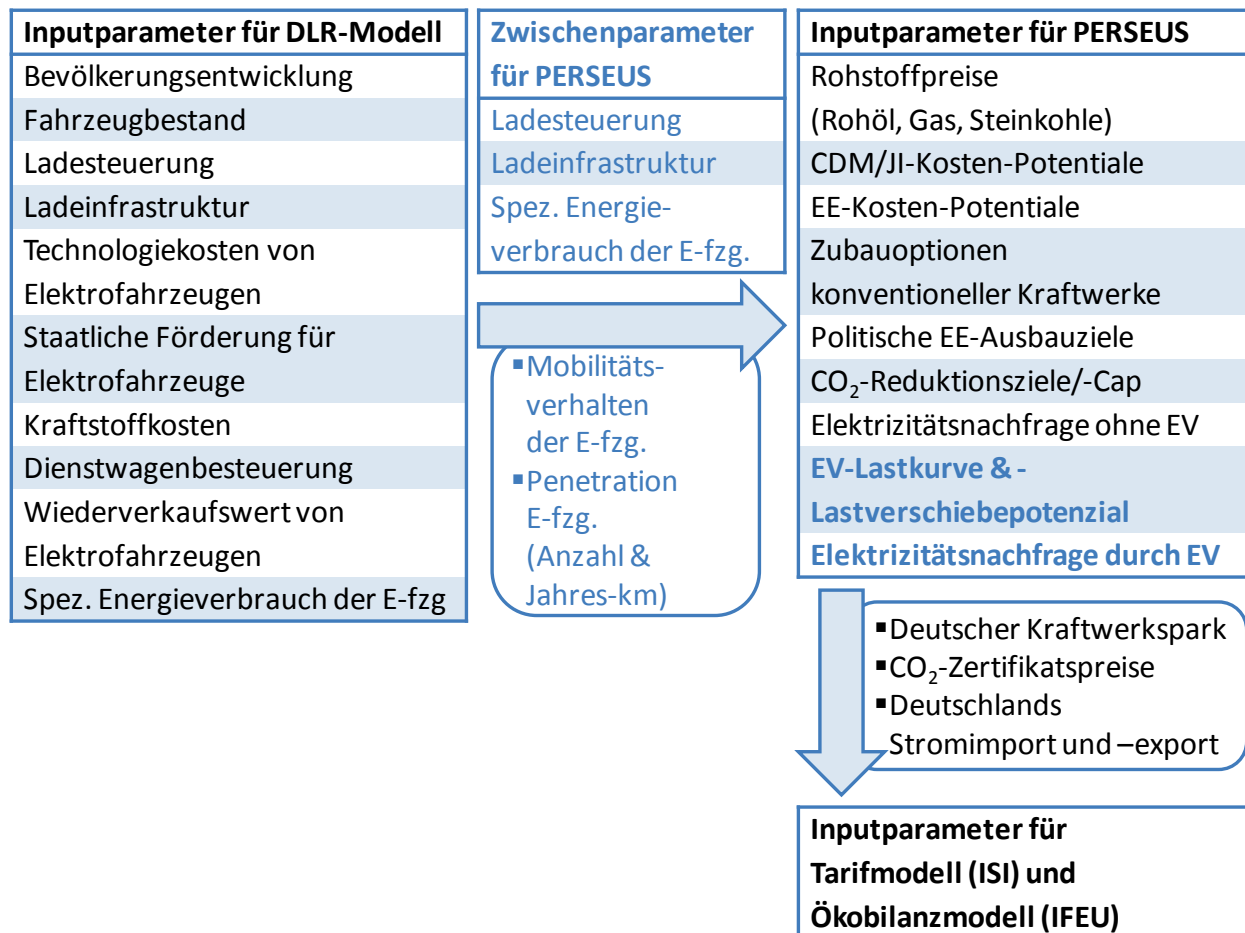
- Neuzulassungen von rein batterieelektrischen (BEV) und Plug-In-Hybridfahrzeugen (PHEV) (Pkw und LNFz < 3,5 t zul. GG)
- Bestand BEVs und PHEVs
- Anzahl elektrisch zurückgelegter Fahrzeugkilometer

- nachgefragte Energie durch Elektromobilität
- kreisfeine Verteilung des Bestandes von BEVs und PHEVs

... für den Energiesektor (Entwicklung 2010 – 2030)

- Zusammensetzung des europäischen Kraftwerksparks
- CO₂-Grenzvermeidungskosten der Stromerzeugung
- Grenzkosten der Elektrizitätserzeugung
- spezifische CO₂-Emissionen des Kraftwerksparks und der Grenzkraftwerke
- Verlauf der Ladekurve für Elektrofahrzeuge bei DSM/ V2G¹²

Abb. 6-67: Überblick über die Verwendung der Parameter in den Modellen



Quelle: DLR, KIT 2011.

6.6.1.2 Szenarienübersicht

Die hier beschriebenen Szenarien spannen einen Szenarientrichter auf, der mögliche Entwicklungen mit dem Fokus auf Elektromobilität abdeckt. Auf diese Art und Weise kann der Effekt der Variation von Eingangsgrößen analysiert und deren Sensitivität dargestellt werden. Hierbei wurden die folgenden drei Szenarien definiert:

¹² Der Verlauf bestimmt sich aus verschiedenen Randbedingungen. So müssen technische Restriktionen eingehalten und das Mobilitätsbedürfnis der Nutzer nicht eingeschränkt werden. Darüber hinaus wird die Ladekurve bezüglich der Kosten für den Nutzer festgelegt, z. B. ist es für den Nutzer günstiger bei starkem Windenergieangebot zu laden. Die Festlegung der Ladekurve erfolgt in den Energiesystemmodellen.

- Szenario „Nische“
- Szenario „Moderate Marktentwicklung“
- Szenario „Forcierte Durchdringung“

Nachfolgend werden diese drei Szenarien qualitativ charakterisiert.

Das **Nischenszenario** beschreibt eine zurückhaltende Entwicklung der Elektromobilität. Der Marktanteil von Elektrofahrzeugen kommt hierbei nicht über einen Nischenmarkt hinaus. Dabei wird angenommen, dass keine explizite politische Förderung erfolgt sowie der technologische Fortschritt langsam verläuft. Infolgedessen sinkt der Kaufpreis für Elektrofahrzeuge nicht signifikant. Für diesen geringen Marktanteil rentieren sich eine halböffentliche und öffentliche Infrastruktur nicht, genauso wenig wie der Infrastrukturaufbau für eine Ladesteuerung. Für Letzteren besteht bei einer derart geringen Penetration auch keine Notwendigkeit bzw. der daraus entstehende Nutzen ist sehr gering, weil die nachgefragte und rückspeisefähige Energie keine nennenswerte Größe im Vergleich zur Gesamtelektrizitätsnachfrage erreicht. Parallel dazu werden im Energiesektor ausschließlich bereits heute beschlossene Klimaschutzziele verfolgt.

Letzteres wird auch für das Szenario „**Moderate Marktentwicklung**“ angenommen. Der entscheidende Unterschied zum Nischenszenario sind die positiveren Annahmen hinsichtlich des technologischen Fortschritts von Elektrofahrzeugen. Diese führen zu einem höheren Marktanteil von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum Nischenszenario und in Folge dazu, dass Ladeinfrastruktur auch im halböffentlichen Raum sowie mit einer höheren Ladeleistung (Drehstrom) verfügbar ist.

Die energiewirtschaftlichen Rahmenparameter sind in diesen ersten beiden Szenarien konstant und beschreiben eine der Literatur entnommene Referenzentwicklung. So liegt der Fokus dieser Szenarien vor allem auf unterschiedlichen technologischen Entwicklungen der Elektromobilität. Auch deswegen enthalten sowohl das Nischenszenario also auch das Szenario „moderate Marktentwicklung“ in ihren angenommenen Entwicklungen keine Strukturbrüche¹³ im Energie- und Verkehrssektor im Vergleich zum heutigen Stand.

Im Szenario „**Forcierte Durchdringung**“ hingegen werden Strukturbrüche explizit in Betracht gezogen, da nur so eine Entwicklung hin zu einem Massenmarkt für Elektromobilität plausibilisiert werden kann. Diese Strukturbrüche sind beispielsweise die Umsetzung ambitionierter Ausbauziele der Erneuerbaren Energien, große Fortschritte bei Technologien in Verbindung mit der Elektromobilität sowie staatliche Förderung der Elektromobilität durch Kaufanreize und veränderte Besteuerung.

Bezogen auf einen Szenarientrichter stellen die Szenarien „Nische“ und „forcierte Durchdringung“ Rand- bzw. Extremszenarien dar, während das Szenario „moderate Marktentwicklung“ für eine mögliche mittlere Entwicklung steht. Dies bedeutet allerdings nicht, dass jenseits der ersten beiden Szenarien keine Entwicklungen möglich sind, sondern nur, dass diese jeweils für einen ausgeprägteren Bereich des Szenarientrichters stehen. Analog gilt dies für das Szenario „moderate Marktentwicklung“ als Vertreter möglicher mittlerer Entwicklungen.

Nachfolgende Tab. 6-13 zeigt einen Überblick der Parameter in der Szenarienstruktur. Dabei werden auch die Parameter des Energiesektors berücksichtigt, welche in der nachfolgenden detaillierten Darstellung nicht berücksichtigt werden, da sie für die Berechnungen der Fahrzeugnachfrage nicht modellrelevant sind.

¹³ Unter Strukturbrüchen werden hier nicht-kontinuierlich verlaufende Entwicklungen bzw. Entwicklungssprünge verstanden. Ein rasant steigender Ölpreis wäre beispielsweise ein solcher Strukturbruch.

Tab. 6-13: Szenarienstruktur

Parameter		Szenario		
		Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
konstant	CDM/JI-Kosten-Potenziale	Begrenzung der verfügbaren Menge		
	EE-Kosten-Potenziale	technologie- und länderspezifisch sowie aufbauend auf Lernkurven		
	Zubauoptionen konventioneller Kraftwerke	Wirkungsgradverbesserungen, CCS-Option ab 2020, teilweise zeitliche Kostenvariation		
	EE-Ausbauziele bis 2020	gemäß den nationalen Aktionsplänen für Erneuerbare Energien		
	Bevölkerungsentwicklung	Rückgang von 80,5 Mio. in 2010 auf 79 Mio. in 2030 ¹		
	Kfz-Bestand	Degressives Wachstum bis 2030 (0,6-0,3% p.a.) ²		
variabel	Rohstoffpreise ³	steigende Preise (current policies scenario ⁴)	steigende Preise (current policies scenario ⁴)	moderat steigende Preise (current policies scenario ⁵)
	Fortschreibung EE-Ausbauziele >2020	moderat	moderat	ambitioniert
	EU-CO ₂ -Reduktionsziele/-Cap ⁶	-20%	-20%	-30%
	Elektrizitätsnachfrage in DE ⁷	Rückgang (REF)	Rückgang (REF)	etwas stärkerer Rückgang (Szen. IIA)
	Ladesteuerung	ungesteuert	DSM	DSM+V2G
	Ladeinfrastruktur	nur zu Hause bzw. im Unternehmen	ab 2015 auch am Arbeitsplatz	ab 2020 (fast) überall
	Ladeleistung	~ 3,5 kW	ab 2015 steigender Anteil ~ 10,5 kW	ab 2015 steigender Anteil ≥ 60 kW
	Technologiekosten von E-Fahrzeugen	hoch	mittel	niedrig
	staatliche Förderung für E-Fahrzeuge	nein	nein	3000€ resp. 2000€ für BEV bzw. PHEV ab 2012, Halbierung ab 2015
	Kraftstoffkosten	Anstieg ca. 5% pro Jahr (real)	Anstieg ca. 5% pro Jahr (real)	Anstieg 12-20% pro Jahr (real)
	Dienstwagenbesteuerung	wie bisher	Egalisierung des geldwerten Vorteils ggü. konventionellen Fahrzeugen	Verbot Kraftstoffschenkung bei privat genutzten Pkw
	Wiederverkaufswert von Elektrofahrzeugen	niedriger ggü. konventionellen Fahrzeugen	gleich konventionellen Fahrzeugen	höher ggü. konventionellen Fahrzeugen
	Spez. Energieverbrauch der E-Fahrzeuge	Reduktion ca. 0,4% pro Jahr	Reduktion ca. 1% pro Jahr	Reduktion ca. 1,4% pro Jahr

¹ Variante 1-W2 der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (DESTATIS 2009)

² Basis sind reale Zulassungen 2010 des KBA, Wachstumsrate nach Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (BVU & Intraplan Consult 2007).

³ Nach World Energy Outlook 2010 (IEA 2010).

⁴ 130 US\$ 2009/bb in 2030 (IEA 2010).

⁵ 110 US\$ 2009/bb in 2030 (IEA 2010).

⁶ Gemäß EU-Direktive 2009/29/EC Abschnitt (3) (EUROPEAN COMMISSION 2009).

⁷ Nach Energieszenarien 2010 (BMW, Prognos, EWI, GWS 2010).

6.6.1.3 Parameter – Einzelbeschreibung

6.6.1.3.1 Konstante Parameter

Die Grundlage zur Bestimmung des zukünftigen Potenzials von Elektrofahrzeugen sind Prognosen von Fahrzeugbeständen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in Deutschland bis zum Jahr 2030. Diese Größen werden maßgeblich durch die Entwicklung der Bevölkerung, der Wirtschaft und der Mobilitätskosten beeinflusst. Im Folgenden werden die allen Szenarien zu Grunde liegenden so genannten konstanten Parameter detailliert dargestellt.

Bevölkerungsentwicklung

Die Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis zum Jahr 2030 ist ein wichtiger Basisparameter zur Berechnung der zukünftigen Verkehrsentwicklung. Die in der „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ (VP2025) des BMVBS¹⁴ verwendete Prognose der Bevölkerungsentwicklung stützt

Tab. 6-14: Entwicklung der deutschen Bevölkerung und der fahrfähigen Bevölkerung (≥17Jahre)

Jahr	Bevölkerung	
	Gesamt	≥17Jahre
2010	81.545.000	69.085.000
2015	80.875.000	69.064.000
2020	80.437.000	68.948.000
2025	79.870.000	68.513.000
2030	79.025.000	67.855.000

Quelle: DESTATIS 2009.

sich auf die BBR-Raumordnungsprognosen bzw. Bevölkerungsvorausrechnungen des Statistischen Bundesamtes des Jahres 2006. Die vom statistischen Bundesamt im Jahr 2009 veröffentlichte 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung geht jedoch bereits von einem stärkeren Rückgang aus und soll hier in der Variante 1-W2 Anwendung finden. Der Berechnung zu Grunde liegen eine konstante Geburtenrate von 1,4 sowie ein positives Wanderungssaldo, welches bis 2020 stetig auf 200 000 Personen pro Jahr steigt und dann konstant bleibt.

Es ist grundsätzlich von einem Bevölkerungsrückgang im Betrachtungszeitraum auszugehen, welcher bis 2020 moderat und ab 2020 deutlich ausfällt. Dies spiegelt sich auch in der fahrfähigen Bevölkerung ab 17 Jahren wieder.

Die Entwicklung der Bevölkerung innerhalb der Szenarien wird nicht variiert, da dies eine Größe ist, die außerhalb des Untersuchungsfeldes liegt.

Neuzulassungen und Fahrzeugbestand

Der Fahrzeugbestand wird maßgeblich durch die jährlichen Neuzulassungen und die Außerbetriebsetzungen bestimmt. Die Zahl der Neuzulassungen in Deutschland ist jährlichen Schwankungen unterworfen. Seit den 1990er Jahren liegt sie zwischen 3 und 4 Mio. Kraftfahrzeugen pro Jahr. Die größte Abweichung ergab sich im Jahr 2009 durch die so genannte „Abwrackprämie“, welche zu mehr als 4,2 Mio. neu zugelassenen Kraftfahrzeugen führte. Für die Modellrechnungen wurde angenommen, dass die Zahl der Neuzulassungen in Deutschland pro Jahr im Betrachtungszeitraum 2015-2030 konstant bleibt. Basis für die Berechnung sind, aufgrund der starken Abweichungen im Jahr 2009, die Neuzulassungen des Jahres 2008. Diese wurden disaggregiert nach Fahrzeuggrößenklassen (klein/ mittel/ groß) und regionaler Verteilung auf Kreisebene vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) erworben. Insgesamt wurden im Jahr 2008 3,3 Mio. Pkw und leichte Nutzfahrzeuge neu zugelassen. Davon wurden 1,7 Mio. Fahrzeuge gewerblich und 1,4 Mio. Fahrzeuge privat angemeldet.

¹⁴ Im Zuge des 1. Szenarioworkshops am 25.11.2009 haben sich die Projektpartner auf die Verwendung der „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ des BMVBS unter Fortschreibung der Ergebnisse bis 2030 geeinigt.

Das durchschnittliche Alter in Deutschland zugelassener Fahrzeuge steigt seit Jahren stetig. Betrug das durchschnittliche Alter von Pkw im Jahr 2004 noch 7,6 Jahre, sind es im Jahr 2013 bereits 8,9 Jahre. In Kombination mit den von den Autoren angenommenen stabilen Neuzulassungen im Betrachtungszeitraum von rund 3,3 Mio.

Tab. 6-15: Fahrzeugbestand in Deutschland

Jahr	Fahrzeugart		
	Private Pkw	Gewerbliche Pkw	Leichte Nutzfahrzeuge (LNfz)
2010	38.002.373	3.735.254	1.802.557
2015	38.923.212	3.825.763	1.870.117
2020	39.668.379	3.899.006	1.915.157
2025	40.226.839	3.953.897	1.960.197
2030	40.630.720	3.993.594	2.005.237

Quelle: Eigene Berechnungen nach KBA (2009), BVU & Intraplan Consult (2007).

Jahr 2030 zu ermitteln. Diese werden mit dem vom KBA im Jahre 2008 gemeldeten Fahrzeugbestand gekoppelt. Daraus ergeben sich die in Tab. 6-15 dargestellten Zahlen des Gesamtfahrzeugbestandes.

Von der Betrachtung der Variation der Wachstumsraten des Fahrzeugbestandes in den Szenarien wird abgesehen, da es sich hier um eine Kerngröße im Modell handelt. Selbst geringe Variationen innerhalb

Tab. 6-16: Fahrzeuggrößenklassen

Fahrzeuggrößenklasse		
klein	mittel	groß
Minis	Kompaktklasse	Obere Mittelklasse
Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse
	Mini-Vans	Geländewagen
	Utilities	Sportwagen
		Großraum-Vans
		Wohnmobile

Quelle: DLR, KIT (2011).

Kraftfahrzeugen ergibt sich ein leicht wachsender Gesamtfahrzeugbestand. Diese Erwartung liegt auch der VP2025 zugrunde. Jedoch können aufgrund einer im Jahr 2008 veränderten statistischen Erfassungsmethode des KBA lediglich die Wachstumsraten der VP2025 verwendet werden, um den Bestand für das

der Szenarien hätten bei dem voraussichtlich vergleichsweise geringen Anteil elektrischer Fahrzeuge im Bestand eine große Auswirkung auf Varianz der Gesamtzahl elektrischer Fahrzeuge.

Um den späteren Berechnungsprozess handhabbar zu machen, werden die zwölf durch das KBA definierten Pkw-Klassen zu drei Klassen zusammengefasst (Tab. 6-16).

Weitere Modellparameter

Neben den oben beschriebenen globalen Parametern gibt es weitere feste Parameter, welche in den Modellen Eingang finden. Diese sind in ihren Ausprägungen detailliert im Abschnitt 6.6.4 beschrieben und nachfolgend aufgelistet:

- Verbrauchsentwicklung konventioneller Fahrzeuge (Tab. 6-32)
- Entwicklung des durchschnittlichen Hubraums von konventionellen Fahrzeugen (Tab. 6-33)
- elektrische Reichweite von Elektrofahrzeugen (Tab. 6-34)
- Wartungskostendifferenz von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen (Tab. 6-35)
- Entwicklung der CO₂-Kfz-Steuergrenze (Tab. 6-36)
- Differenz des Anschaffungspreises eines Elektrofahrzeuges im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug (exklusive der Batterie) (Tab. 6-37)

- Entwicklung des elektrischen Verbrauchs von leichten Nutzfahrzeugen (Tab. 6-26, S.109)

6.6.1.3.2 Variable Parameter

Ladesteuerung

Beim Ladeprozess der Elektrofahrzeuge kann grundsätzlich zwischen zwei Varianten unterschieden werden: der ungesteuerten und der gesteuerten Ladung. Bei der ungesteuerten Ladung wird das Fahrzeug, während es an einer Lademöglichkeit parkt, an das Stromnetz angeschlossen und sofort aufgeladen. Anders ausgedrückt: Nach jedem Weg, der an einer Ladesäule endet, wird die Batterie vollständig geladen. Die zweite Variante, das gesteuerte Laden, kann noch weiter unterschieden werden in ein Laden ohne Rückspeisung (DSM) und mit Rückspeisung (V2G). Bei beiden Varianten lädt das Fahrzeug zu den Zeiten mit dem günstigsten Tarif¹⁵ unter der Randbedingung, dass das Mobilitätsverhalten nicht geändert werden muss. Bei der Variante mit Rückspeisung hat das Elektrofahrzeug zusätzlich die Option gespeicherte Elektrizität wieder zurück zu speisen. Dies geschieht dann, wenn die Preisdifferenz zwischen der geladenen Energie und dem aktuellen Elektrizitätspreis die Kosten für die Batterieabnutzung übersteigt.

Die Art der Ladesteuerung (bzw. die resultierende Ladekurve) hat direkten Einfluss darauf, welche Kraftwerke für diese zusätzliche Last betrieben werden. Somit wirkt sich die Ladesteuerung sowohl auf den Kraftwerkspark als auch auf die spezifischen Emissionen der Elektrofahrzeuge aus. Aufgrund dieser zentralen Bedeutung für eine fokussierte Betrachtung von Elektromobilität wird dieser Parameter in allen drei

Tab. 6-17: Ausprägungen des Parameters Ladesteuerung

Szenario		
Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
ungesteuert	Lastverschiebung (DSM)	inkl. Rückspeisung (V2G)

Quelle: DLR, KIT 2011.

Szenarien abgewandelt. Für das Nischenszenario wird, wie in der Szenarienbeschreibung bereits erwähnt, keine gesonderte Infrastruktur für eine Ladesteuerung angenommen. Folglich erfolgt in diesem Szenario eine Ladung ungesteuert, was in Anbetracht des geringen

Marktanteils kein Problem für das Energiesystem darstellt. Im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ hingegen erfolgt die Ladung gesteuert. Hier wird die Möglichkeit der Lastverschiebung unterstellt. Erst im dritten Szenario, also bei einer höheren Marktpenetration, wird auch die Rückspeisung mitbetrachtet. Auf diese Weise kann der Einfluss einer Ladesteuerung im Rahmen konsistenter Szenarien analysiert werden.

Ladeinfrastruktur

Mit welcher Leistung und zu welcher Zeit Elektrofahrzeuge beladen werden müssen, hängt neben der zuvor erwähnten Ladesteuerung ebenfalls stark von der Ladeinfrastruktur ab. Je nachdem, wie sich die Ladeinfrastruktur entwickelt, stehen unterschiedliche Ladeleistungen und Orte, an denen geladen werden kann, zur Verfügung. Als mögliche Ausprägungen werden das Laden nur zu Hause (H) auf dem eigenen Stellplatz, das Laden zusätzlich auch am Arbeitsplatz und in Parkhäusern (halböffentlicher Raum) (A) und in der dritten Variante zusätzlich beim Einkauf und Besuch von Freunden und Bekannten (E) vorgesehen. Von einer grundsätzlich flächendeckenden Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten wird auch im Jahr 2030 aus Kostengründen nicht ausgegangen. Die zugehörigen Ladeleistungen werden entsprechend abgestimmt.

¹⁵ In den günstigsten Tarif geht u. a. die Merit Order Kurve ein, in der Elektrizität aus erneuerbaren Energien immer die kostengünstigste Variante darstellt.

Tab. 6-18: Ausprägungen des Parameters Ladeinfrastruktur

Jahr	Szenario		
	Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
2010	H	H	H
2015	H	H + A	H + A
2020	H	H + A	H + A + E
2025	H	H + A	H + A + E
2030	H	H + A	H + A + E

Quelle: DLR, KIT 2011.

meter den variablen Parametern zugeordnet. Mit steigendem Marktanteil in den Szenarien wird eine umfassendere Infrastruktur angenommen (Tab. 6-18).

Ladeleistung

Die massenhafte Verbreitung von Elektrofahrzeugen wird auch durch die Ladedauer bestimmt. Diese ist bedingt durch die Verfügbarkeit und die Kosten von Schnellladesäulen sowie die Schnellladefähigkeit der Fahrzeuge. Hierzu müssen insbesondere Probleme der Thermik und Degradation der Kapazität und Leistungsfähigkeit der Batterien bewältigt werden. Vorgeschlagen werden folgende Szenarienausprägungen: Haushaltssteckdose (H) ~3,5 kW, Drehstrom (D) ~10,5 kW und Schnell(st)ladung (S) ≥ 60 kW.

Da auch dieser Parameter Einfluss auf die mögliche tägliche Reichweite von Elektrofahrzeugen hat, wird er in den Szenarien in unterschiedlichen Ausprägungen eingebracht. Es wird davon ausgegangen, dass mit steigendem Marktanteil die Verfügbarkeit von höheren Ladeleistungen steigt. Der Anteil von Schnell(st)lademöglichkeiten verbleibt dennoch auf einem niedrigen Niveau, weil das nächtliche Aufladen an einer normalen Haushaltssteckdose in den meisten Fällen ausreicht und gleichzeitig die kostengünstigste Lösung darstellt.

Tab. 6-19: Ausprägungen des Parameters Ladeleistung

Jahr	Szenario		
	Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
2010	H (100%)	H (100%)	H (100%)
2015	H (100%)	H (90%) / D (10%)	H (70%) / D (30%)
2020	H (100%)	H (80%) / D (20%)	H (60%) / D (30%) / S (10%)
2025	H (100%)	H (70%) / D (30%)	H (50%) / D (35%) / S (15%)
2030	H (100%)	H (60%) / D (40%)	H (40%) / D (40%) / S (20%)

Quelle: DLR, KIT (2011).

Die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur beeinflusst neben anderen Parametern die mögliche Reichweite von Elektrofahrzeugen und damit ihre Marktentwicklung, da die Reichweitenbegrenzung derzeit als eines der größten Hemmnisse¹⁶ für Elektromobilität angesehen wird. Infolgedessen wird dieser Parameter

Die jeweils verfügbare Ladeleistung ist darüber hinaus mit der Ladeinfrastruktur gekoppelt: Während eine Schnellladestation am heimischen Stellplatz zum Beispiel aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll ist, ist dies an öffentlichen Ladestationen hingegen eher der Fall.

¹⁶ Dies stellt unter Berücksichtigung der MiD2008 nur ein subjektiv empfundenes Hemmnis dar, weil die meisten täglichen Wege durch die Reichweite heutiger Batterien bereits abgedeckt werden können.

Technologiekosten Elektromobilität

Eine Differenz der Technologiekosten für Elektrofahrzeuge gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist weitestgehend durch den Batteriepreis pro kWh bestimmt und soll in den Szenarienrechnungen darauf beschränkt werden. Weitere Technologiekosten neben denjenigen für die Batterieanschaffung werden

Tab. 6-20: Endverbraucherpreise für Batterien in [€/kWh₂₀₀₅]

Jahr	Szenario		
	Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
2010	800	800	800
2015	538	380	304
2020	385	280	224
2025	320	230	184
2030	268	200	160

Quelle: nach ANDERMANN (2010), NPE (2011), BCG (2010).

Rechnung getragen. Im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ werden die Batteriepreise angenommen, welche im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) abgestimmt wurden (NPE 2011). Die Preise im Szenario „Forcierte Durchdringung“ sind an eine Prognose der Boston Consulting Group angelehnt und deutlich niedriger (BCG 2010). Die Zahlen für das Szenario „Nische“ orientieren sich am Hochpreisszenario von ANDERMANN (ANDERMANN 2010). Die in Tab. 6-20 dargestellten Kosten pro kWh beziehen sich auf ein 20 kWh-Batteriepack und einen stabilen Wechselkurs des Dollars gegenüber dem Euro von 1,3.

Im Modell werden durch den elektrischen Verbrauch sowie die entsprechende elektrische Reichweite pro Fahrzeugtyp spezifische Batteriegrößen generiert. Zur Abbildung von Kostendegressionen bei steigender Batteriegröße wurde eine Funktion integriert. Auf Basis der Arbeiten von KALHAMMER ET AL. (2007) wurde folgende Formel ermittelt:

$$\text{Endpreis der Batterie} = (\text{Basispreis} * \text{Batteriegröße}) * (1,4445 * \text{Batteriegröße}^{-0,0957})$$

Der Basispreis bezieht sich auf die Batteriegröße eines Referenz-BEV mittlerer Größe mit 150 km Reichweite und 42 kWh Batteriekapazität.

Staatliche Förderung Elektromobilität

Staatliche Fördermaßnahmen zur Unterstützung der Einführung von Elektrofahrzeugen haben sich bereits in vielen Industrienationen etabliert. In der Regel handelt es sich um Subventionen/ Steuernachlässe beim Kauf eines Neufahrzeuges. In den bisherigen Rechnungen des DLR-IVF zur Bestimmung des Nachfragepotenzials wurde keine Förderung berücksichtigt. Es wird empfohlen, die Förderung in den Szenarien an die von der Bundesregierung genannten Phasen Marktaktivierung (2012-2015), Marktentwicklung (2015-2018) und Marktdurchdringung (2019-2020) anzulehnen. Folgend der derzeitigen Politik der Bundesregierung wird jedoch auch im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ nicht von einer Förderung ausgegangen. Aufgrund der hohen Kostenunterschiede in der Anschaffung zwischen BEVs und PHEVs sollte eine Differenzierung der Förderhöhe angenommen werden.

Tab. 6-21: Staatliche Förderung für Elektromobilität in [€ / Fahrzeug]

Jahr	Szenario					
	Nische		Moderate Marktentwicklung		Forcierte Durchdringung	
	BEV	PHEV	BEV	PHEV	BEV	PHEV
2012-2015	0	0	0	0	3000	2000
2015-2018	0	0	0	0	1500	1000
2019-2020	0	0	0	0	0	0

Quelle: DLR, KIT (2011).

Kraftstoffkosten

Innerhalb der Nutzerkosten des Kfz-Verkehrs steht die Entwicklung der Kraftstoffpreise im Vordergrund. In der VP2025 sowie in den Energieszenarien der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 wird von einem Anstieg auf 1,71 €₂₀₀₅ pro Liter Benzin bzw. 1,67 €₂₀₀₅ pro Liter Diesel (real, inklusive Steuern) ausgegangen. Aufgrund der jüngeren Entwicklung der Kraftstoffpreise werden diese allerdings als konservativ eingeschätzt. In Abstimmung mit der Rohölpreisentwicklung werden diese Preise in den Szenarien „Nische“ und „Moderate Marktentwicklung“ verwendet.

Im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ hingegen wird für die Jahre 2020 bzw. 2030 ein realer Anstieg der Preise für konventionellen Ottokraftstoff auf 1,96 € bzw. 2,50 €₂₀₀₅ je Liter (real, inklusive Steuern 2005) sowie eine Angleichung der Preise vor Steuern für Otto- und Dieselmotorkraftstoff angenommen. Dies wird, trotz sinkender Rohstoffpreise des hinterlegten „New policies scenario“, maßgeblich durch die Annahme eines Anstiegs der Mineralölsteuer begründet. Im Szenario „Forcierte Durchdringung“ ist dabei zum einen von einem höheren Engagement des Staates auszugehen, neue, effizientere Technologien im Bereich des Automobilsektors einzufordern. Zum anderen muss vor dem Hintergrund von zu erwartenden Mineralölsteuerausfällen durch einen vergleichsweise größeren Anteil von Elektrofahrzeugen im Fahrzeugbestand eine Anpassung des Instrumentes stattfinden. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die Berechnung der Mineralölsteuer zukünftig auf die Treibhausgasintensität der Kraftstoffe bezogen wird, wobei Ottokraftstoff als Referenz dient. Das hat zur Folge, dass sich das Preisverhältnis Ottokraftstoff/ Dieselmotorkraftstoff verschiebt und der Preis für Dieselmotorkraftstoff im Jahr 2030 mit 2,55 €₂₀₀₅ /Liter (real, inklusive Steuern 2005) um fünf Cent über dem von Benzin liegt.

Tab. 6-22: Entwicklung von Kraftstoffkosten für unterschiedliche Antriebstypen [€₂₀₀₅/Liter]

Jahr	Szenario					
	Nische		Moderate Marktentwicklung		Forcierte Durchdringung	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
2010	1,42	1,20	1,42	1,20	1,42	1,20
2015	1,49	1,32	1,49	1,32	1,69	1,54
2020	1,57	1,44	1,57	1,44	1,96	1,87
2025	1,64	1,55	1,64	1,55	2,23	2,21
2030	1,71	1,67	1,71	1,67	2,50	2,55

Quelle: Szenario „Nische“ und „Moderate Marktentwicklung“ nach BVU & Intraplan Consult (2007); Szenario „Forcierte Durchdringung“ nach DLR, KIT (2011)/ eigene Berechnungen.

Neuregelung der Dienstwagenbesteuerung

Die derzeitige Dienstwagenbesteuerung bei Privatnutzung richtet sich ausschließlich am Neuwagenpreis aus; Betriebskosten werden in der Regel vom Arbeitgeber übernommen und von diesem von der Steuer

abgesetzt. Diese Regelung wirkt sich hemmend auf alternative Antriebe aus, welche höhere Anschaffungs- und niedrigere Betriebskosten aufweisen. Die bisherige Regelung findet im Nischenszenario Anwendung und wurde auch in den bisherigen Rechnungen umgesetzt.

Das Szenario „Moderate Marktentwicklung“ beinhaltet hingegen bereits die erklärte politische Absicht, die entstehende Benachteiligung durch höhere Neupreise durch Bemessung anhand von Preisen äquivalenter Verbrennungsmotorfahrzeuge zu vermeiden. In diesem Szenario wird eine Differenz der geldwerten Vorteile von 0 angenommen (vgl. NPE 2011).

Einer gänzlichen Neuregelung wird eine starke Steuerungsfunktion bezüglich der Stärkung der Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in Unternehmen beigemessen und soll daher im Szenario „Forcierte Durchdringung“ abgebildet werden.

Tab. 6-23: Dienstwagenbesteuerung bei privater Nutzung

Szenario		
Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
1% des Listenneupreises + 0,03% pro km Arbeitsweg als monatlich zu versteuernder geldwerter Vorteil	Egalisierung des geldwerten Vorteils gegenüber konventionellen Fahrzeugen	Abschaffung des geldwerten Vorteils, im Gegenzug Verbot des Treibstoffkaufs durch den Arbeitgeber bei privat genutzten Dienstwagen

Quelle: DLR, KIT (2011).

Wiederverkaufswert von Elektrofahrzeugen

Der Restwert elektrischer Antriebskomponenten basiert auf mehreren Faktoren, die teilweise gegenläufig oder nur sehr wenig erforscht sind: Zum einen stehen Elektromotoren im Ruf guter Langzeitzuverlässigkeit und Wartungsfreiheit, zum anderen fehlen ausreichende Langzeitdaten zur Batterie. Hinzu kommt der subjektive Faktor des Kunden, welches Vertrauen er gealterten Komponenten noch entgegenbringt. Folgende Varianten werden für die Berechnungen angenommen, wobei sich die Variante „Nische“ am derzeitigen Wertverlust für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren orientiert.

Tab. 6-24: Wertverlust der elektrischen Antriebskomponenten

Szenario		
Nische	Moderate Marktentwicklung	Forcierte Durchdringung
20% im 1. Jahr; +5% pro Folgejahr; +1% pro 1.000 km	20% im 1. Jahr; +5% pro Folgejahr; +0,4% pro 1.000 km; mindestens 10% Restwert	10% im 1. Jahr; +3% pro Folgejahr; +0,2% pro 1.000 km; mindestens 20% Restwert

Quelle: DLR, KIT (2011).

Spezifischer Verbrauch von Elektrofahrzeugen

Neben den Technologiekosten und der Entwicklung der Kraftstoffpreise ist auch der elektrische Verbrauch von Elektrofahrzeugen ein Faktor, welcher die Ökonomie dieser Fahrzeuge maßgeblich beeinflusst. Die in den bisherigen Potenzialrechnungen verwendeten Zahlen wurden zwischen den Projektpartnern abgestimmt und finden sich im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ wieder. Dabei werden für BEVs und PHEVs gleiche Verbrauchswerte angesetzt, da die Fahrzeugeigenschaften wie Größe, Gewicht etc. ähnlich angenommen werden (um z. B. „große“ Fahrzeuge auch miteinander vergleichen zu können). Die Effizienzgewinne in den Szenarien „Nische“ bzw. „Forcierte Durchdringung“ werden um jeweils 50% geringer bzw. höher angenommen im Vergleich zum Szenario „Moderate Marktentwicklung“. Es ergeben sich Verbesserungsraten von etwa 0,4% bis zu 1,4% pro Jahr je Szenario.

Tab. 6-25: Entwicklung des elektrischen Verbrauchs für Pkw [kWh/100 km]

Jahr	Szenario								
	Nische			Moderate Marktentwicklung			Forcierte Durchdringung		
	Fahrzeuggröße			Fahrzeuggröße			Fahrzeuggröße		
	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß
2010	18,2	23,8	30,1	18,2	23,8	30,1	18,2	23,8	30,1
2015	17,8	23,2	29,5	17,5	22,7	28,9	17,1	22,1	28,3
2020	17,4	22,7	28,9	16,7	21,6	27,7	16,1	20,5	26,5
2025	17,0	22,1	28,2	15,9	20,6	26,4	14,9	19,1	24,7
2030	16,6	21,6	27,6	15,1	19,6	25,2	13,7	17,7	22,9

Quelle: DLR, KIT (2011).

Tab. 6-26: Entwicklung des elektrischen Verbrauchs für leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) [kWh/100 km]

Jahr	Szenario								
	Nische			Moderate Marktentwicklung			Forcierte Durchdringung		
	Fahrzeuggröße			Fahrzeuggröße			Fahrzeuggröße		
	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß
2010	23,8	30,8	36,4	23,8	30,8	36,4	23,8	30,8	36,4
2015	23,3	30,1	35,7	23,1	29,9	35,3	22,4	28,7	34,2
2020	22,9	29,4	34,9	22,4	29,0	34,2	21,0	26,6	32,0
2025	22,3	28,7	34,1	21,7	28,1	33,2	19,5	24,7	29,8
2030	21,7	28,0	33,3	21,1	27,3	32,2	18,0	22,9	27,7

Quelle: DLR, KIT (2011).

6.6.2 Berechnung des Nachfragepotenzials für Elektromobilität

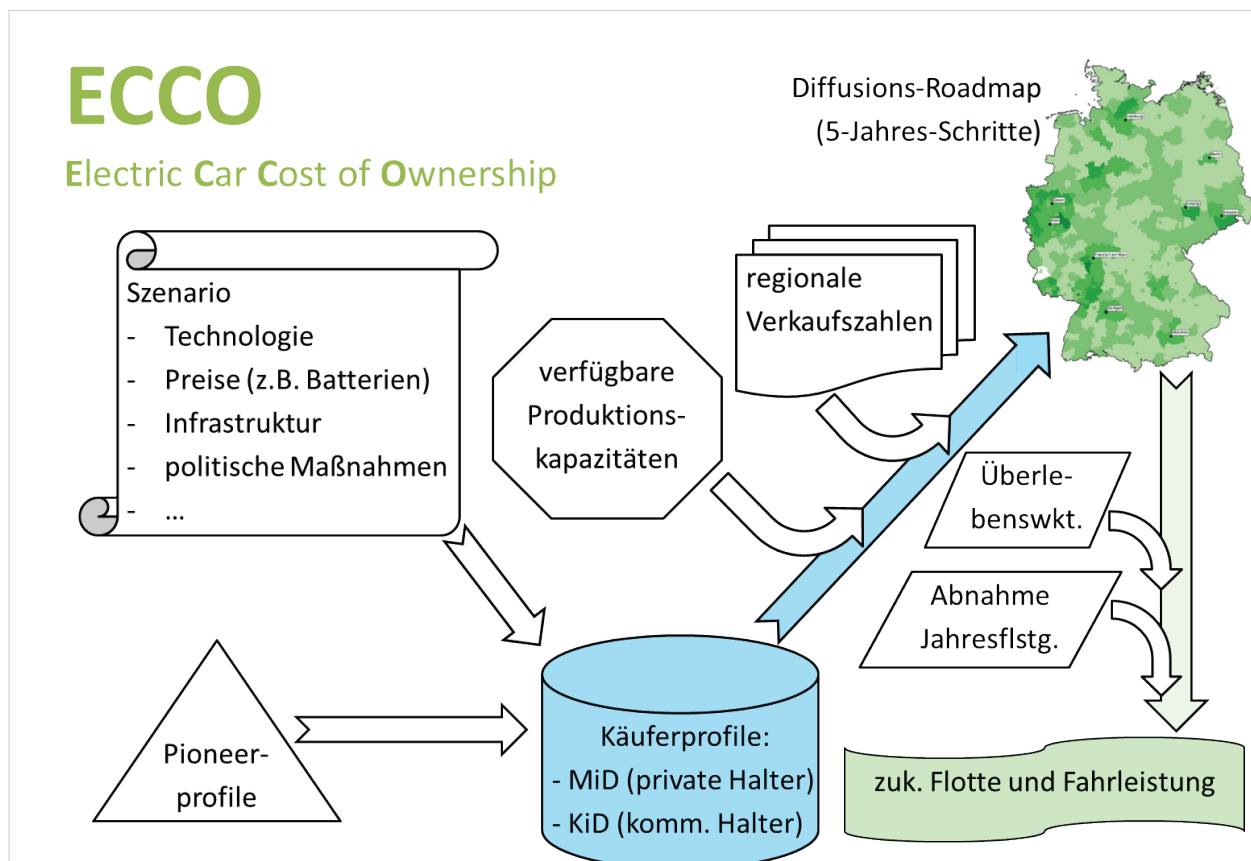
Ziel der Berechnung ist die Ermittlung potenzieller Neuzulassungen elektrisch angetriebener Fahrzeuge unter Einbezug entsprechender Produktionskapazitäten sowie die Extrapolation der jährlichen Fahrleistungen, um so abschließend die benötigte (elektrische) Energiemenge der Gesamtflotte berechnen zu können.

Hierbei wird zwischen zwei verschiedenen Arten von Elektroantrieben – rein elektrischen Fahrzeugen (BEV) und Plug-In-Hybriden (PHEV) – unterschieden, wobei keine weitere Differenzierung Letzterer vorgenommen wird. Um den unterschiedlichen Fahrzeugeigenschaften gerecht zu werden, wird das Modell getrennt für leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) und Pkw geschätzt. Letztere wiederum teilen sich analog zu den derzeitigen Neuzulassungen in drei Marktsegmente auf: Private Käufer (im Folgenden „PV“ für Privatverkehr), kommerzielle Flotten (im Folgenden „WV“ für Wirtschaftsverkehr) sowie das v. a. im höherpreisigen Bereich zunehmend zentrale Segment der so genannten „User-Chooser“-Firmenwagen (im Folgenden „DW“ für Dienstwagen). Die resultierenden vier Märkte werden für einen Zeitraum bis 2030 in den drei verschiedenen Szenarien simuliert. Nachfolgend wird das für diese Berechnungen entwickelte Modell ECCO (Electric Car Cost of Ownership) beschrieben.

6.6.2.1 Modellaufbau

Das Modell ECCO basiert auf der Nutzung der Datensätze der beiden deutschlandweiten Verkehrserhebungen MiD 2002 (Mobilität in Deutschland) und KiD 2002 (Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland). Diese werden im Abschnitt „Datenbasis“ näher erläutert. ECCO verwendet darüber hinaus Daten und Annahmen zum derzeitigen Fahrzeugkaufverhalten von Haushalten und Unternehmen, verfügbare Produktionskapazitäten, regional differenzierte Verkaufsvolumina sowie die in den Szenarien beschriebene Entwicklung von Technologiepfaden, Kundenverhalten und politischen Maßnahmen. Das Ergebnis ist eine geographische Diffusions-Roadmap in Fünf-Jahres-Schritten, welche die potenziellen Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen je Kreis/ Gemeinde beinhaltet. Für diese im Modell erwarteten verkauften Fahrzeuge wird für deren Nutzungszeitraum sowohl die Überlebenswahrscheinlichkeit je Jahr als auch die Abnahme der jährlichen Fahrleistung modelliert, um schließlich im Gesamtergebnis die gefahrenen Gesamtkilometer der jeweiligen regionalen Flotten auszugeben. Von diesen ist besonders der elektrisch gefahrene Anteil von Interesse, da dieser für Berechnung des elektrischen Energiebedarfs einen zentralen Eingabeparameter darstellt. Der durch die sich im Fahrzeugbestand befindlichen Elektrofahrzeuge zusätzlich entstehende Energiebedarf wurde im Projekt von Partnern am KIT und Fraunhofer ISI berechnet.

Abb. 6-68: Aufbau des Prognosemodells ECCO



Quelle: Eigene Darstellung.

Das Modell simuliert eine Käuferperspektive in 2010 (zwecks Integration bereits bestehender Fahrzeuge), 2015, 2020, 2025 und 2030. Die Technologiealternativen PHEV und BEV werden in diesem Modell ausschließlich als Antriebsform wahrgenommen – Elektrofahrzeuge sind somit in Bezug auf Form, Funktion und Eigenschaften Fahrzeuge wie alle anderen, nur anders angetrieben. Die simulierten Käufer in diesem Modell besitzen eine voreingestellte Präferenz für ihre bisherige Anzahl an Fahrzeugen, Fahrzeugarten und Antriebsformen (Benzin oder Diesel) sowie bezüglich der Entscheidung, ein Neufahrzeug zu erwerben oder nicht. Das Modell stellt dem „normalerweise“ erworbenen Fahrzeug nun mit PHEV und BEV zwei alternative Antriebsformen derselben Fahrzeugklasse gegenüber. Diese Herangehensweise kann am besten nachvollzogen werden, wenn die alternative Antriebsform als aufpreispflichtige Sonder-

ausstattung verstanden wird, welche zu höheren Investitions- und geringeren Verbrauchskosten führt. Der simulierte Käufer tätigt nun diejenige Wahl, die ihm den höchsten Kapitalwert erbringt bzw. die geringsten „Total Cost of Ownership“ (TCO) verursacht. Damit ist ECCO den kostenorientierten, deterministischen Modellen zur Potenzialabschätzung zuzuordnen, wenngleich einzelne Nicht-Kosten-Parameter ergänzend einfließen.

Im Folgenden werden die Berechnungsschritte des Modells transparent dargestellt.

6.6.2.2 Berechnungsschritte des Modells „ECCO“

Der Kapitalwert wird durch die gesamten jährlichen Zahlungsflüsse C ab Periode 0 (dem Kaufdatum) bis Periode T (dem letzten Nutzungsjahr) berechnet. Zeitlich beginnen diese Flüsse mit der Kaufpreisdifferenz C_0 , beinhalten dann jährlich die Einsparungen C_t und enden mit der Wiederverkaufswertdifferenz C_T :

$$C = -C_0 + \sum_{t=1}^T C_t * (1+i)^{-t} + C_T * (1+i)^{-T}$$

C_0 ist das Initial-Investment für den Mehrpreis der derzeit bevorzugten Antriebsform zu PHEV oder BEV. Es errechnet sich aus der Motorpreisdifferenz Δp_{eng} , der Batteriegröße B , Ladegerätkosten p_{ch} , eventueller Kaufprämien σ und einer Aufpreisbereitschaft ϵ , um umweltfreundliches Kaufverhalten abzubilden:

$$C_0 = \frac{(\Delta p_{eng} + p_{bat} * B + p_{ch})}{1 + \epsilon} - \sigma$$

Je nach Szenario wurden die in Abschnitt 6.6.1 beschriebenen Ausprägungen der Parameter verwendet. Für die Kosten der Ladeinfrastruktur auf Käuferseite (am Wohnort bzw. im Unternehmen) wurden pauschal 500 € angenommen. Den Aufpreis, welchen potenzielle Käufer bereit sind im Vergleich zu einem herkömmlichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor zu zahlen, wurde basierend auf Untersuchungen zur Zahlungsbereitschaft für Ökostrom mit 7% veranschlagt (vgl. GERPOTT & MAHMUDOVA 2009).

C_t beinhaltet nicht nur den Kraftstoffverbrauch, sondern auch Wertverlust, Wartungskosten, Steuern und alle anderen jährlichen Kostendifferenzen (bzw. Zusatzeinnahmen) gegenüber der aktuell gewählten Antriebsart:

$$C_t = m * \Delta c_m + \Delta c_a$$

m stellt in dieser Formel die (konstant auf dem aktuellen Niveau angenommene) Jahresfahrleistung dar, Δc_m die Kostendifferenz je gefahrenem km und Δc_a die Differenz jährlicher Fixkosten. Δc_m selbst wiederum besteht aus zwei Elementen:

$$\Delta c_m = \beta * \Delta p_f + \Delta p_w$$

Δp_w bezeichnet die Differenz der Wartungskosten aufgrund geringerer Abnutzung elektrischer Antriebe (vgl. WIETSCHER & BÜNGER 2010 und BAUM et al. 2011), Δp_f bezeichnet die Differenz der Kraftstoffkosten je Kilometer und β den elektrisch gefahrenen Anteil der Jahresfahrleistung, welcher bei BEVs 100% beträgt, bei PHEVs hingegen mit kleinen Batterien wesentlich geringer ausfallen kann, abhängig wiederum von der Jahresfahrleistung m . Bei angenommen gleichverteilter Fahrzeugnutzung an d Tagen pro Jahr ergibt sich:

$$\beta = \max\left(\frac{R * d * \gamma}{m}; \beta'\right)$$

R bezeichnet die elektrische Reichweite des Fahrzeugs, und die Obergrenze β' erlaubt die Annahme eines kleinen Anteils unvermeidlicher nicht-elektrisch gefahrener Kilometer. d wird in unseren Berechnungen konstant mit 300 angenommen. γ bezeichnet den so genannten „charge factor“, welcher zur Abbildung reichweitenverbessernder Ladeinfrastruktur wie z. B. Schnellladung dient. Dieser Wert stellt die durchschnittliche verfügbare Ladeleistung dar und wird durch den Anteil s_i jeder der I verfügbaren Ladetechnologien sowie ihrer jeweiligen Ladeleistung P_i berechnet:

$$\gamma = \sum_{i=1}^I s_i * P_i$$

Die Kraftstoffkostendifferenz Δp_f ist die Differenz der Produkte aus Verbrauch und Preis des jeweiligen Kraftstoffs – konventionell Benzin/ Diesel (Index c) oder elektrischer Strom (Index e):

$$\Delta p_f = p_c * c_c - p_e * c_e$$

Der Strompreis wurde iterativ mit den anderen beteiligten Modellen der deutschen und europaweiten Stromnachfrage und des Kraftwerkzubaues berechnet und folgt in allen Szenarien einem linear ansteigenden Pfad von 0,21 € in 2010 bis 0,25 € in 2030. Die Differenz der jährlichen Fixkosten Δc_a beinhaltet sowohl die Kfz-Steuerlast Δq als auch die Einsparungen bzw. Gewinne r_{V2G} durch unidirektionales DSM bzw. bidirektionales Vehicle-to-Grid:

$$\Delta c_a = \Delta q + r_{V2G}$$

Die Steuerlast kann aus der derzeitigen Gesetzgebung abgeleitet werden, zusätzlich wurden Annahmen bezüglich zukünftigen Entwicklung des Hubraums konventioneller Fahrzeuge sowie des CO₂-Steuer-grenzwertes getroffen. Die potentiellen Einsparungen/ Einnahmen durch gesteuertes Laden oder bidirektionale Netzintegration unterliegen großen Unsicherheiten, hier wurden pauschal 2 € pro kWh Batteriegroße und Jahr in 2010 angesetzt (vgl. HERMANN et al. 2011). Dieser Wert wächst linear auf 10 € in 2030 an. Somit ergeben sich bei großen Batterien im Jahre 2030 mehrere hundert Euro jährliche Einsparungen bzw. Erlöse. Im Nischen-Szenario hingegen ist auch bis 2030 nur ungesteuertes Laden möglich, der angenommene Wert liegt also durchgehend bei null.

Im Falle der gemischt privat-geschäftlich genutzten Dienstwagen wird im Modell davon ausgegangen, dass diese gänzlich geleast und nach der so genannten „1%-Regelung“ versteuert werden. Die „1%-Regelung“ bildet einen Teil der Steuerlast und wird je Szenario unterschiedlich berechnet. Beim Vergleich der Antriebsformen werden daher zusätzlich auch Differenzen der Leasingkosten Δl und dieser Steuer den jährlichen Kostendifferenzen Δc_a zugerechnet:

$$\Delta c_{a,leasing} = \Delta q + r_{V2G} + \Delta l$$

Die Differenz der Leasingkosten basiert auf der Kaufpreisdifferenz C_0 , dem Leasingfaktor λ sowie zwei Kalibrierungsparametern ω_1 und ω_2 für die Abrechnung von Mehr-/ Minderkilometern:

$$\Delta l = C_0 * \left(\lambda + \frac{\omega_1 - m}{\omega_2} \right)$$

Basierend auf Marktrecherchen wird ein Leasingfaktor von 15,6% (monatlich 1,3% des Neupreises) sowie Kalibrierungsparametern von $\omega_1 = 20\,000$ und $\omega_2 = 900\,000$ angenommen.

Die Differenz der Wiederverkaufspreise C_T (welche nur bei Nicht-Leasingfahrzeugen zum Tragen kommt) wird in einem Submodell zur Abnutzung der EV-Komponenten durch vier Parameter definiert: δ_1 stellt den prozentualen Wertverlust im ersten Nutzungsjahr dar, δ_2 die jährliche prozentuale Abnutzung in den Folgejahren, δ_3 eine kilometerbasierte Abnutzung und δ' eine Obergrenze für den resultierenden Wertverlust:

$$C_T = C_0 * (1 - \max((\delta_1 + \delta_2 * (T - 1) + \delta_3 * m); \delta'))$$

Es ist zu beachten, dass der Wertverlust hier erneut nicht auf das Gesamtfahrzeug bezogen ist, sondern auf die neu hinzukommenden Komponenten bei einem Wechsel zu BEV bzw. PHEV.

Da elektrische Antriebe hohe Investitionen und geringere Kilometerkosten aufweisen als konventionelle Antriebe (BAUM et al. 2011) berechnet ECCO nun diejenige minimale Jahresfahrleistung, ab der die Investition in ein PHEV oder BEV gegenüber dem bisher gewählten Benzin- oder Diesel-getriebenen Fahrzeug profitabel wird. Die Fahrzeugkäufer wählen in der Simulation dann entsprechend die wirtschaftlichste Option entsprechend der Jahresfahrleistung in ihrem Profil. Im Falle einer Wirtschaftlichkeit von sowohl PHEV als auch BEV wählt der Käufer die wirtschaftlichere Variante – bei ähnlicher Wirtschaftlichkeit (weniger als 1.000 km Unterschied der Minimalfahrleistungen) entscheidet der Zufall zwischen PHEV und BEV.

Diese rationale Entscheidungsmaxime wird für eine kleine Gruppe so genannter „Pioniere“ relaxiert. Von diesen wird angenommen, dass sie weniger aus wirtschaftlichen, sondern eher aus ideologischen oder sozialen Gründen ihr Fahrzeug wählen. Basierend auf den Ergebnissen der soziodemographischen Un-

tersuchung von Teilnehmern verschiedener Flottenversuche (vgl. CAMPBELL et al. 2012 und TURRENTINE et al. 2011) wird dieses Profil für Privatkäufer folgendermaßen definiert:

- Zwei-Personen-Haushalte in einer Großstadt oder deren Suburbia
- hoher ökonomischer Status
- Hauptnutzer des Fahrzeugs ist männlich und 30-60 Jahre alt

Für Dienstwagen und gewerbliche Flottenfahrzeuge definiert sich das Profil analog:

- Firmenstandort in einer Großstadt
- mehr als 1.000 Angestellte
- zugehörig zu den Branchen Versorger, Finanzindustrie, Immobilien oder Dienstleistungen

Die Gesamtzahl der so ermittelten Pioniere ist gering, allerdings reflektiert sie gut die derzeit schon angemeldeten (und nicht wirtschaftlichen) Elektrofahrzeuge.

Neben den (potentiell relaxierten) ökonomischen Bedingungen müssen Käufer jedoch weitere Bedingungen erfüllen, um in der Simulation grundsätzlich für den Kauf eines EV infrage zu kommen:

- Sie müssen als Neuwagenkäufer aufgetreten sein.
- Um ein BEV als Option zu betrachten, darf keiner der berichteten Wege oberhalb der Grenze $R * \gamma$ liegen.
- Privatkäufer müssen über einen eigenen Stellplatz verfügen (diese Bedingung wird in einigen Szenarien für spätere Perioden relaxiert).
- Bis 2020 tauscht kein Haushalt das einzige Haushaltsfahrzeug gegen ein BEV.

Die Ergebnisse der Simulation haben eine Auflösung von zwei ersetzten Antriebsarten (Benzin/ Diesel), vier Märkten (privat/ gewerblich/ gemischt/ leichte Nutzfahrzeuge), zehn Fahrzeugsegmenten (KBA-Klassen) und neun Regionstypen (BBR-9-Einteilung). Diese Granularität entspricht exakt derjenigen der Datenquellen zu bisherigen Verkäufen – im Resultat wird eine regionale Berechnung der potenziellen Verkaufszahlen für jede(n) Kreis/ Gemeinde in Deutschland ermöglicht.

Aus diesen Verkaufszahlen wiederum wird nun mithilfe der Überlebenskurven und Jahresfahrleistungsdegressionen aus TREMOD (KNOERR 2011) die Flottengröße mit ihrer gesamten Jahresfahrleistung und ihrem Energiebedarf berechnet. Bezüglich der Halterstruktur wird angenommen, dass die Dienstwagen nach Ablauf von durchschnittlich zwei Jahren in den privaten Gebrauchtwagenmarkt weiterverkauft werden und somit ab dann als Privatfahrzeuge gezählt werden. Selbiges gilt für Flottenfahrzeuge nach durchschnittlich drei Jahren Haltedauer. Bei diesen eher geringen Durchschnittswerten ist zu beachten, dass eine signifikante Anzahl an Fahrzeugen zunächst an die Fahrzeughersteller selber bzw. deren Mitarbeiter ausgeliefert und dann nach kurzer Zeit privat weiterverkauft werden.

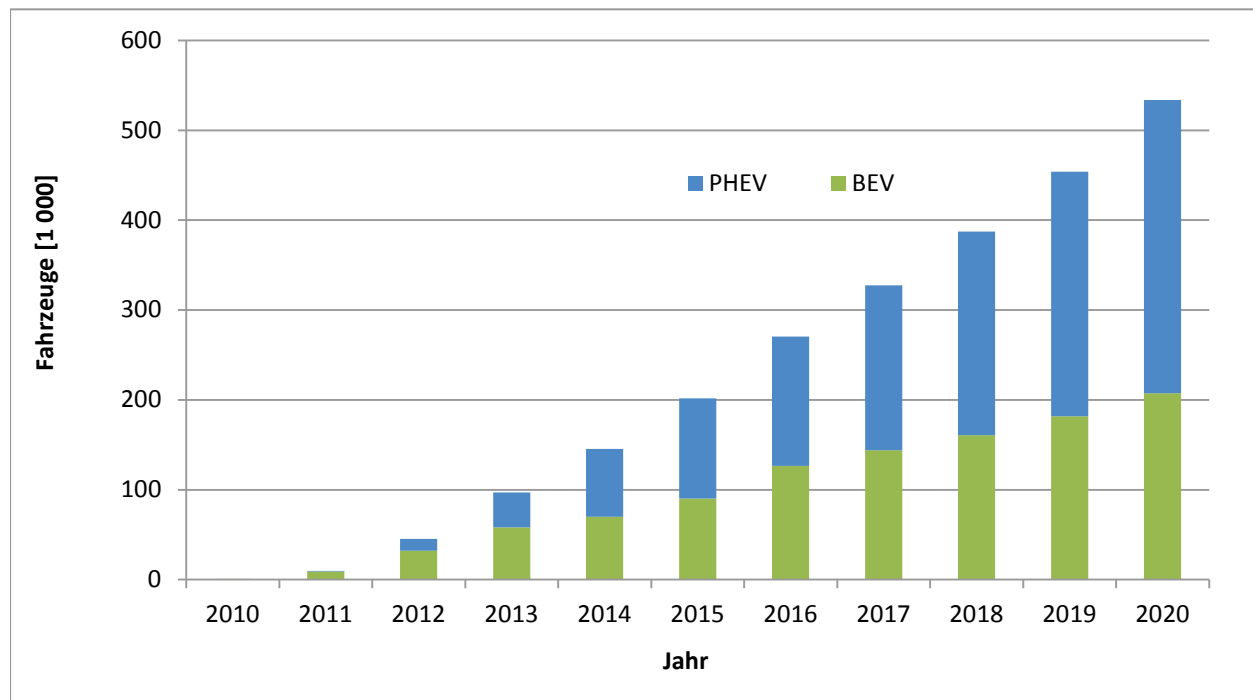
6.6.2.3 Datenbasis

Als Datenbasis der Fahrzeugnutzung wurden für die Analyse privat zugelassenen Fahrzeuge der Haushaltsdatensatz sowie der Fahrzeugdatensatz der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (MiD 2008) genutzt (infas, DLR 2010c). Für die Analysen des Einsatzes von gewerblich zugelassenen Fahrzeugen hingegen wurden Daten der Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002“ (KiD 2002) genutzt (IVS et al. 2003). Die MiD stellt die in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) beauftragte repräsentative Studie zur Soziodemographie von Personen und Haushalten sowie deren alltäglichem Verkehrsverhalten dar (Wege zwecke, Wegelängen, Verkehrsmittelwahl etc.). Die Erhebung umfasste im Jahr 2008 rund 25 000 Haushalte. Die KiD ist das Gegenstück zur MiD mit dem Fokus auf gewerblich zugelassenen Fahrzeugen. Die letzte Erhebung wurde im Jahr 2010, ebenfalls im Auftrag des BMVBS, durchgeführt. Leider lagen die Daten zum Zeitpunkt der Modellrechnungen noch nicht vor. Die KiD ist eine für Deutschland repräsentative Fahrzeughalterbefragung, welche empirisch abgesicherte Kennwerte beispielsweise zu Verkehrsaufkommen, Verkehrsmittelwahl, Fahrtenketten usw. liefert. Die Stichprobe umfasst rund 77 000 Fahrzeuge

und 119 000 Fahrten. Die folgenden vier Segmente wurden in der Analyse unterschieden: (1) private Pkw, (2) gewerbliche Pkw, (3) Dienstwagen und (4) leichte Nutzfahrzeuge.

Darüber hinaus wurden auf Basis einer umfangreichen Literatur- und Presserecherche maximal anzunehmende jährliche Produktionsvolumina der von Herstellern bereits angekündigten Elektrofahrzeuge geschätzt und für den deutschen Markt runtergebrochen. Diese Informationen sind für das Berechnungsmodell notwendig, um sicherzustellen, dass die Fahrzeughersteller auch in der Lage sind, die im Modell generierte Nachfrage bis zum Jahr 2020 zu befriedigen. In Abb. 6-69 sind diese Produktionskapazitäten aufgeschlüsselt nach PHEV und BEV dargestellt. Es ist vorwegzunehmen, dass diese „künstliche“ Obergrenze in keinem Szenario erreicht wird.

Abb. 6-69: Geschätzte maximale jährliche Produktionsvolumina von Elektrofahrzeugen für den deutschen Markt



Quelle: Eigene Darstellung.

6.6.3 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellrechnungen dargestellt. Einführend werden die potenziellen Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland sowie die sich daraus ableitende Entwicklung des Fahrzeugbestandes in den verschiedenen Szenarien dargestellt. Anschließend werden sukzessive verschiedene Aspekte der berechneten Flotten detailliert betrachtet. Es erfolgt stets der Vergleich der Wirkungen der Maßnahmen und Rahmenbedingungen für die drei zuvor definierten Szenarien.

6.6.3.1 Anteile von Elektrofahrzeugen im Fahrzeugbestand

Szenario „Nische“

Die Ergebnisse der Berechnungen des potenziellen Bestandes von Elektrofahrzeugen für das Szenario „Nische“ entsprechen den durch die Rahmenbedingungen vorgezeichneten Erwartungen. Bis zum Jahr 2020 sind lediglich 120 000 Elektrofahrzeuge (BEVs und PHEVs) im Bestand zu erwarten. Mit rund 15 000 Neuzulassungen pro Jahr ab 2015 bildet sich ein stabiler Nischenmarkt. Die Wachstumsrate geht ab 2025 zurück, so dass im Jahr 2030 ein Gesamtbestand von rund 200 000 Elektrofahrzeugen erreicht wird. Durch langsame technologische Fortschritte und der damit einhergehenden deutlich geringeren

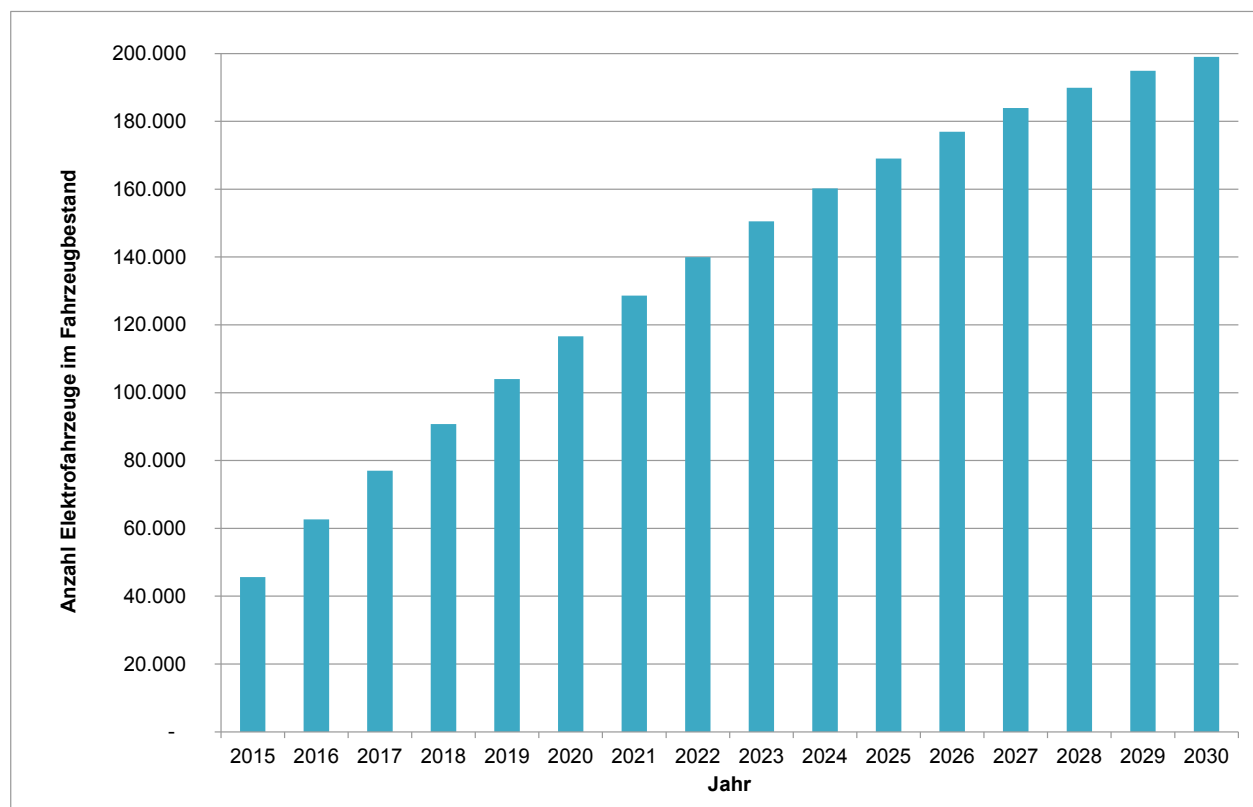
Tab. 6-27: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Nische“

Szenario „Nische“	
Parameter	Ausprägung
Ladesteuerung	ungesteuert
Ladeinfrastruktur	nur zu Hause bzw. im Unternehmen
Ladeleistung	~ 3,5 kW
Technologiekosten	hoch
staatliche Förderung	nein
Kraftstoffkosten	Anstieg ca. 5% pro Jahr (real)
Dienstwagenbesteuerung	wie bisher
Wiederverkaufswert	niedriger gegenüber konventionellen Fahrzeugen
Energieverbrauch E-Fahrzeug	Reduktion ca. 0,4% pro Jahr

Quelle: Eigene Darstellung.

Kostendegression über die Zeit, nicht vorhandener öffentlicher Ladeinfrastruktur und Schnelllademöglichkeiten ist die Marktdiffusion im Szenario „Nische“ sehr stark eingeschränkt. Es zeichnet sich eine Entwicklung ähnlich zum bisherigen Gasfahrzeugmarkt in Deutschland ab.

Abb. 6-70: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Nische“



Quelle: Eigene Darstellung.

Szenario „Moderate Marktentwicklung“

Das Szenario „Moderate Marktentwicklung“ zeigt einen langsamen Anstieg der jährlichen Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2015. Im Jahr 2015 wird unter diesen Bedingungen mit ca. 15 000 Neufahrzeugen gerechnet. Zwischen 2015 und 2020 steigen die Neuzulassungen merklich auf ca.

Tab. 6-28: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Moderate Marktentwicklung“

Szenario „Moderate Marktentwicklung“	
Parameter	Ausprägung
Ladesteuerung	DSM
Ladeinfrastruktur	ab 2015 auch am Arbeitsplatz
Ladeleistung	ab 2015 steigender Anteil ~ 10,5 kW
Technologiekosten	mittel
staatliche Förderung	nein
Kraftstoffkosten	Anstieg ca. 5% pro Jahr (real)
Dienstwagenbesteuerung	Egalisierung des geldwerten Vorteils gegenüber konventionellen Fahrzeugen
Wiederverkaufswert	gleich konventionellen Fahrzeugen
Energieverbrauch E-Fahrzeug	Reduktion ca. 1% pro Jahr

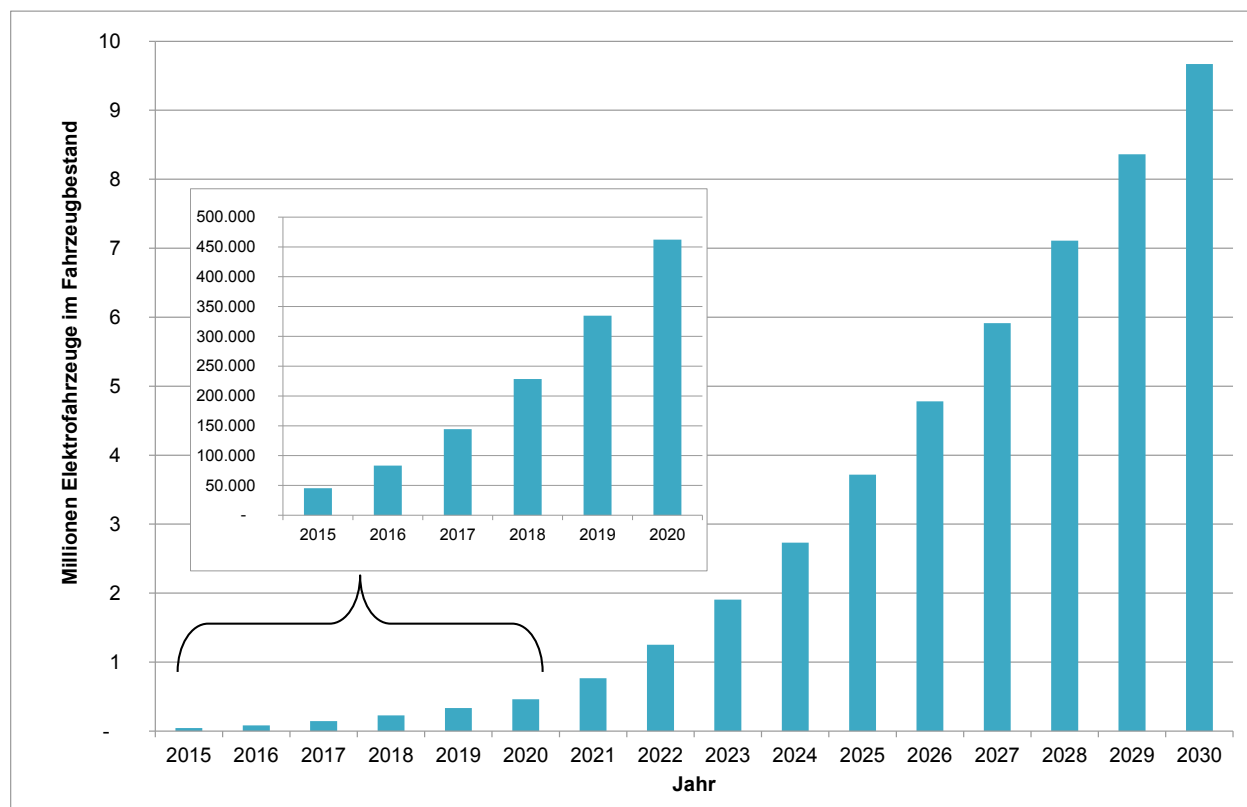
Quelle: Eigene Darstellung.

130 000 Neuzulassungen an. Dies entspricht einem Anteil von rund 4% der jährlichen Neuzulassungen von ca. 3,3 Mio. Fahrzeugen in Deutschland.

Zwischen 2020 und 2030 ist unter den formulierten Rahmenbedingungen ein weiterer, noch wesentlich stärkerer Anstieg der Verkaufsanteile zu erwarten. Diese liegen im Jahr 2030 bereits bei rund 50% der neu zugelassenen Pkw und leichten Nutzfahrzeuge. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden jährlichen

Neuzulassungen in den Fahrzeugbestand sind im Jahr 2020 ca. 460 000 Elektrofahrzeuge im deutschen Fahrzeugbestand zu erwarten. Dies entspricht einem Anteil von ca. 1% am Fahrzeugbestand. Unter Berücksichtigung der Szenarioparameter und Außerbetriebnahmen steigt die Zahl auf knapp 10 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2030, was in etwa einem Viertel aller in Deutschland zugelassenen Pkw und leichten Nutzfahrzeuge entspricht.

Abb. 6-71: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Moderate Marktentwicklung“



Quelle: Eigene Darstellung.

Der ausschlaggebende Grund für die bis zum Jahr 2020 sehr langsame Entwicklung sind die hohen Kosten der Batterien der Fahrzeuge, welche maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge beeinflussen. Die Berechnungen ergeben, dass die Kosten erst ab dem Jahr 2020 signifikant sinken werden. Diese Entwicklung führt dazu, dass eine hohe jährliche Fahrleistung notwendig ist, um die zusätzlichen Kosten zu rechtfertigen. Treibende Kräfte für die Entwicklung bis zum Jahr 2020 sind dementsprechend maßgeblich als Dienstwagen zugelassene Fahrzeuge sowie durch so genannte Pioniere erworbene Fahrzeuge, die im Modell für einen privaten Nutzer keine Profitabilität voraussetzen.

Gerade in der ersten Dekade ist die geringe Verbreitung von Lademöglichkeiten ein weiterer limitierender Faktor für einen Massenmarkt für Elektrofahrzeuge. Dies trifft insbesondere für private Käufer zu. Die Ausstattung von Haushalten mit einer eigenen Garage bzw. einem Stellplatz auf dem eigenen Grundstück liegt in Deutschland zwar bei rund 70%, variiert regional jedoch stark und ist gerade in Städten deutlich geringer (eigene Berechnung nach infas, DLR 2010c). Darüber hinaus ist dies nicht in jedem Fall gleichbedeutend mit der Möglichkeit, das Fahrzeug dort auch laden zu können.

Im Vergleich zum Szenario „Nische“ jedoch zeichnet sich in diesem Szenario ein ab 2015 deutlich wachsender Markt ab. Auch durch die zunehmende Anzahl öffentlicher und halböffentlicher Ladepunkte stellen Elektrofahrzeuge ab dem Jahr 2020 für viele potenzielle Neuwagenkäufer eine echte Alternative zum verbrauchsarmen konventionell angetriebenen Fahrzeug dar.

Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“

Tab. 6-29: Ausprägungen der variablen Parameters im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“

Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“	
Parameter	Ausprägung
Ladesteuerung	DSM+V2G
Ladeinfrastruktur	ab 2020 (fast) überall
Ladeleistung	ab 2015 steigender Anteil ≥ 60 kW
Technologiekosten	niedrig
staatliche Förderung	3000 € für BEV bzw. 2000 € für PHEV ab 2012, Halbierung der Förderung ab 2015
Kraftstoffkosten	Anstieg 12-20% pro Jahr (real)
Dienstwagenbesteuerung	Verbot Kraftstoffschenkung bei privat genutzten Pkw
Wiederverkaufswert	höher gegenüber konventionellen Fahrzeugen
Energieverbrauch E-Fahrzeug	Reduktion ca. 1,4% pro Jahr

Quelle: Eigene Darstellung.

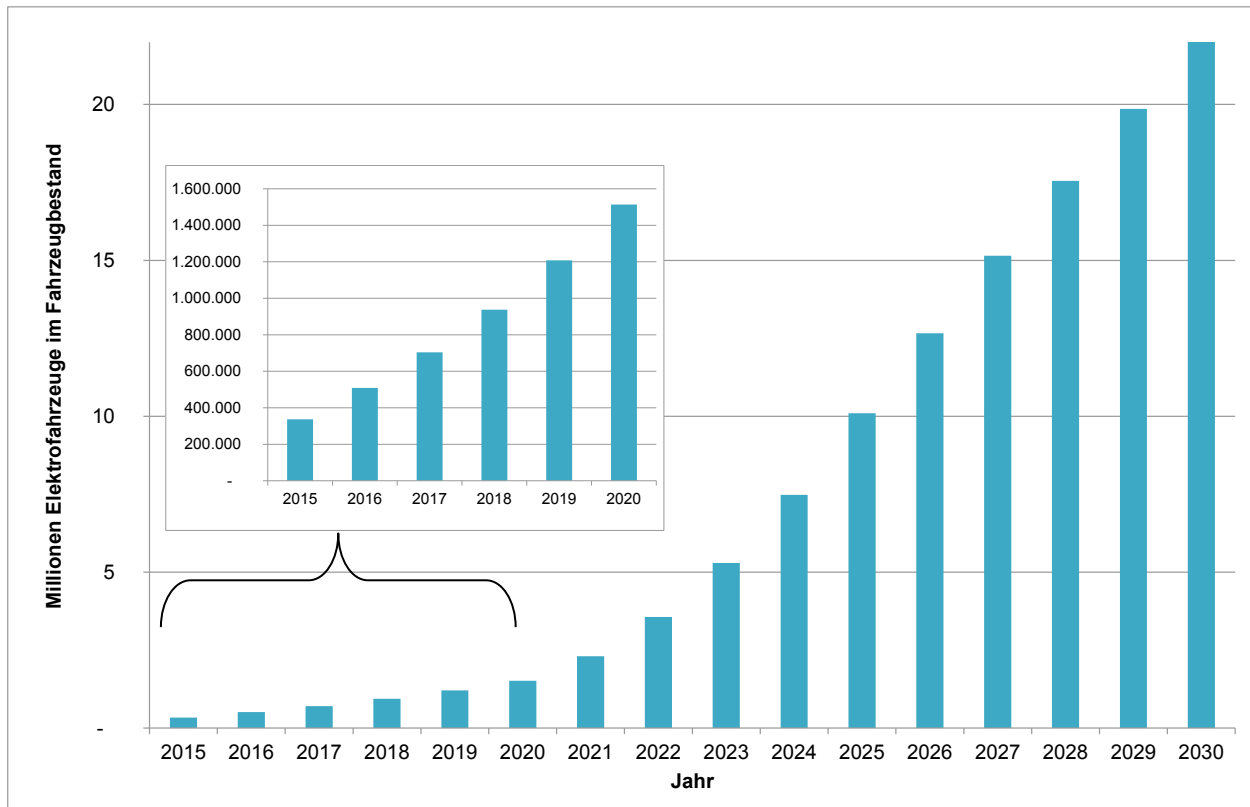
Im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ vollzieht sich der Wandel des Fahrzeugparks entsprechend schneller. Insbesondere bis zum Jahr 2020 liegen die Anteile von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen deutlich höher als im Szenario „Moderate Marktentwicklung“. Mit rund 330 000 Neuzulassungen im Jahr 2020 liegt dieser bereits bei ca. 10% des Gesamtmarkts. Dementsprechend beträgt die Anzahl der Elektrofahrzeuge am Fahrzeugbestand im Jahr 2020 schon rund 1,5 Mio.

und führt mit 22 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2030 zu einem Austausch des halben Bestands.

Bestimmend für diese Entwicklung, gerade in den Jahren bis 2020, sind der in diesem Szenario angenommene enorme technische Fortschritt und der damit verbundene geringere Aufpreis für die neue Technologie. Weiterhin wirken sich die angenommenen Kaufprämien sowie die vergleichsweise stark steigenden Kraftstoffpreise positiv auf die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen aus.

Darüber hinaus kann demonstriert werden, dass die Ausstattung von Pkw-Stellplätzen am Arbeitsplatz mit Lademöglichkeiten sowie eine größere Verbreitung von Schnellladepunkten einen signifikanten Einfluss auf den Erfolg von Elektromobilität haben kann. Insbesondere PHEVs können dadurch den Anteil elektrisch zurückgelegter Kilometer erhöhen und BEVs ihre Reichweite deutlich vergrößern. Auf diese Weise werden Einstiegsbarrieren gemindert, Betriebskosten gesenkt und der Kundennutzen erhöht.

Abb. 6-72: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Forcierte Marktentwicklung“



Quelle: Eigene Darstellung.

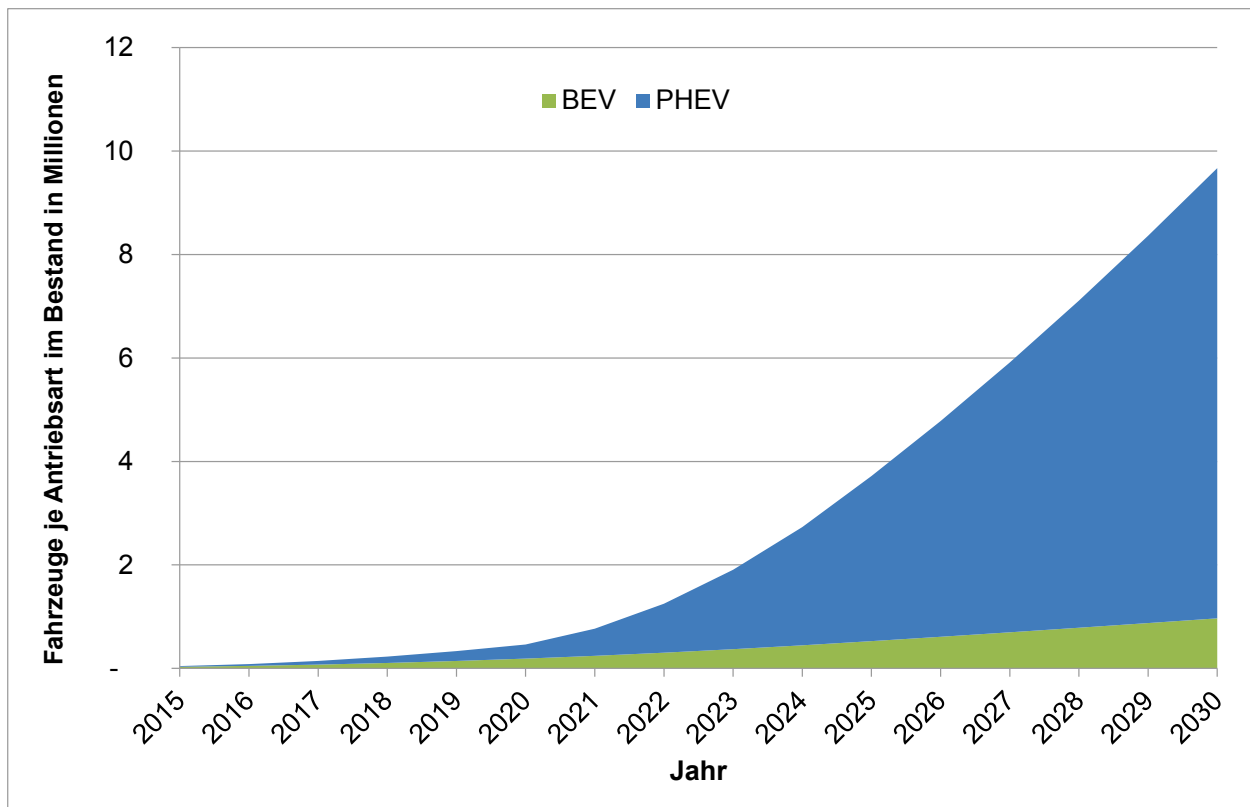
Aufgrund des bereits sehr hohen Reifegrades von Verbrennungsmotoren und der deutlich steigenden Kosten für weitere Verbesserungen erhöhen sich die Betriebskosten für Elektrofahrzeuge (sowohl BEVs als auch PHEVs) im Betrachtungszeitraum vergleichsweise weniger stark (KNOERR 2011). Diese Entwicklung ist im Szenario „Forcierte Durchdringung“ entsprechend stärker ausgeprägt, weniger stark im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ und im Szenario „Nische“ nicht existent.

6.6.3.2 Ergebnisanalyse der Anteile von BEV und PHEV

Da die elektrischen Antriebsvarianten in starker Wechselbeziehung zueinander stehen, ist neben den oben beschriebenen Ergebnissen vor allem eine vertiefte Analyse der Anteile von BEVs und PHEVs von Interesse. Unabhängig vom Szenario ist der berechnete Anteil PHEVs an den Neuzulassungen bis zum Jahr 2015 vergleichsweise gering. Dieser beträgt im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ in 2015 rund ein Drittel. Dies ist maßgeblich durch die bisher beobachtete und bis 2015 erwartete geringe Verfügbarkeit von PHEV-Fahrzeugmodellen und -Volumina begründet. Es wird erwartet, dass diese Einschränkungen nach 2015 wegfallen. Dementsprechend kann der Anteil der Plug-In Hybride am Elektrofahrzeugmarkt ab 2015 deutlich stärker steigen. Im Jahr 2020 beträgt deren Anteil im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ am Elektrofahrzeugbestand bereits knapp 60%. Diese Entwicklung zieht sich bis 2030 fort. Der Anteil rein elektrischer Fahrzeuge am Fahrzeugbestand beträgt 2030 rund 10%.

Der Grund für dieses Verhältnis ist der geringere Aufpreis für PHEV gegenüber dem für BEV in Kombination mit moderat steigenden Kraftstoffpreisen. PHEV rechnen sich für den Nutzer schneller und schränken in ihrer Nutzung gegenüber einem BEV nicht ein. Dies gilt insbesondere unter Berücksichtigung der angenommenen Reichweiten von 30-50 km (PHEV) und 130 km (BEV), welche zu stark unterschiedlichen Batteriekosten führen. Verglichen mit einem BEV kann ein PHEV zudem ohne Einschränkungen für alle Wege verwendet werden. Dies schließt gelegentliche Fernfahrten und Urlaubsfahrten, welche über die entsprechende elektrische Reichweite eines BEV hinausgehen, ein. Damit ist ein PHEV in Haushalten, welche solche Wege mit dem Pkw durchführen, erste Wahl. Unsere Modellberechnungen folgen eben dieser Annahme. Es wird weiterhin angenommen, dass die Nutzungseinschränkungen von BEV im

Abb. 6-73: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand im Szenario „Moderate Marktentwicklung“



Quelle: Eigene Darstellung.

Laufe der Zeit durch ein dichtes Schnellladenetzwirk aufgehoben werden. Diesbezüglich bestehen ab 2025 keine Einschränkungen mehr. Darüber hinaus wird im Modell nicht davon ausgegangen, dass die elektrischen Reichweiten von BEVs mit der Zeit steigen werden, sondern stattdessen die anfangs sehr hohen Kosten auf ein konkurrenzfähigeres Niveau sinken. Dieser in einem kostenorientierten Modell sehr sensitive Parameter hat logischerweise starke Auswirkungen auf die ermittelten Potenziale, welche bei anderen Annahmen von den präsentierten Ergebnissen divergieren.

Tab. 6-30 stellt die berechneten Fahrzeuge im Bestand in den drei Szenarien zusammenfassend dar.

Tab. 6-30: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand in allen Szenarien

Jahr	Szenario					
	Nische		Moderate Marktentwicklung		Forcierte Durchdringung	
	Fahrzeugtyp		Fahrzeugtyp		Fahrzeugtyp	
	BEV	PHEV	BEV	PHEV	BEV	PHEV
2015	23 625	22 003	31 509	13 855	22 359	314 711
2020	57 722	58 916	189 578	272 621	57 156	1 456 697
2025	83 077	85 987	527 214	3 190 682	325 609	9 772 796
2030	97 427	101 589	967 627	8 701 557	862 014	21 207 483

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ hingegen bestimmen PHEV von Beginn an die Entwicklung. Aufgrund der früher einsetzenden Profitabilität von PHEV gegenüber BEV ist der Kauf eines PHEV ökonomisch deutlich attraktiver. Bereits im Jahr 2015 beträgt der Anteil PHEV an den Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen ca. 90%. Die erforderliche Jahresfahrleistung zur Rechtfertigung der Mehrkosten gegenüber einem Verbrenner ist entsprechend geringer und besteht selbst im Jahr 2030. Darüber hinaus

profitieren von der im Szenario angenommenen hohen Dichte von öffentlichen Ladestationen nicht nur BEV. PHEV können durch häufiges Zwischenladen, zum Teil auch durch Schnellladung, den elektrischen Fahranteil noch weiter erhöhen und somit unter Umständen auch einen Großteil der Jahresfahrleistung trotz ihrer wesentlich kleineren und kostengünstigeren Batterie elektrisch bestreiten.

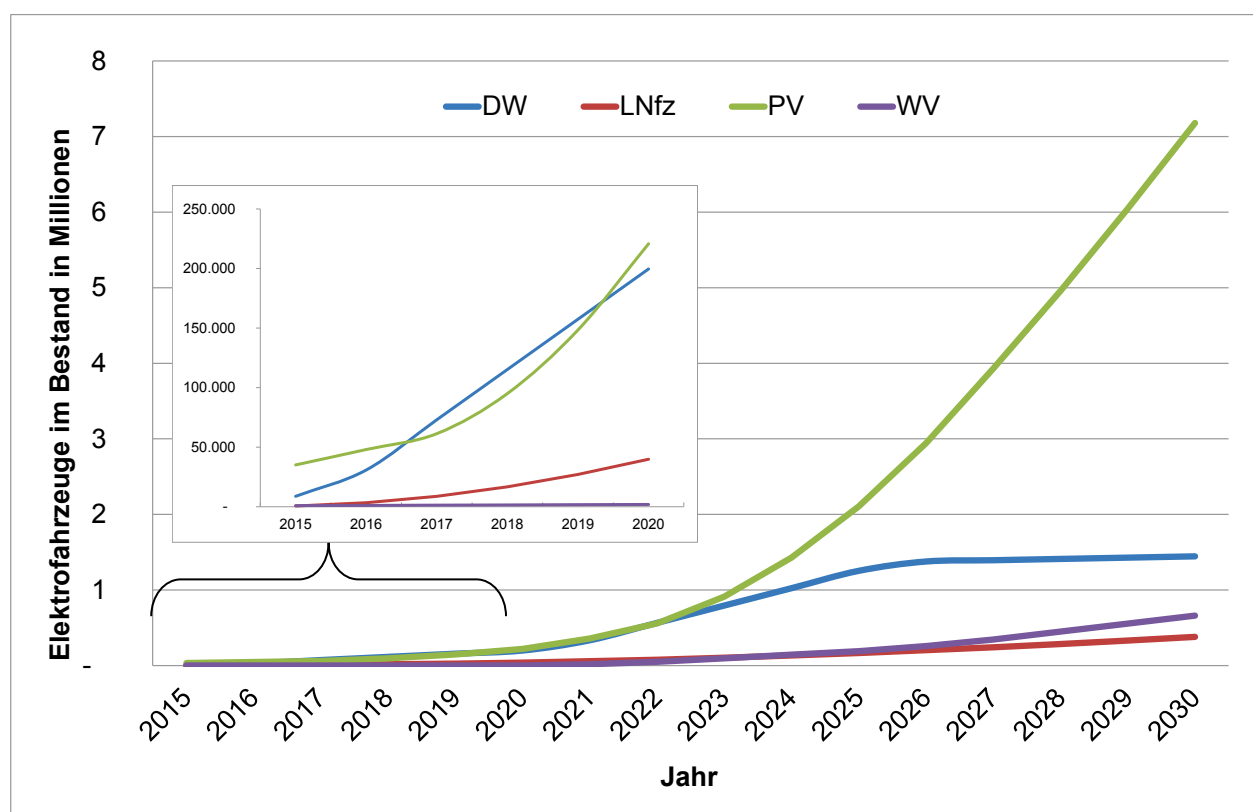
Dieser Umstand ist besonders gut im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ zu beobachten, wo PHEVs aufgrund der Entwicklung der Parameter zwischen 2025 und 2030 sogar einen Großteil des zuvor entstandenen BEV-Marktes abschöpfen, da sie bei vergleichsweise geringerer Investition nun fast die gleichen Einsparpotenziale erreichen.

Im Szenario „Nische“ dominiert keine der beiden Antriebsarten. Rein batterieelektrische Antriebe und Plug-In-Hybride haben einen ungefähr gleich großen Marktanteil. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei den Käufern fast ausschließlich um die so genannten ‚Early Adopter‘ handelt. Während die harten Rahmenbedingungen wie Stellplatzverfügbarkeit, Anzahl der Fahrzeuge im Haushalt und Einsatz des bisherigen Fahrzeuges für Fernfahrten (siehe Abschnitt 6.6.2.2) weiterhin gelten, spielt die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugs für diese Kundengruppe beim Erwerb keine Rolle.

6.6.3.3 Ergebnisse Zulassungsarten

Bei der Analyse der Zulassungsanteile von Elektrofahrzeugen entsprechend der vier im Modell unterschiedenen Haltergruppen Dienstwagen (DW), private Zulassungen (PV), Wirtschaftsverkehr (WV) und leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) lassen sich folgende Aussagen treffen:

Abb. 6-74: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand nach Haltergruppen im Szenario „Moderate Marktentwicklung“



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Evolution des Elektrofahrzeugbestandes im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ gliedert sich in vier Entwicklungsabschnitte. Bis zum Jahr 2015 liegt der vergleichsweise höchste Bedarf mit ca. 32 000 Zulassungen im privaten Bereich. Diese Entwicklung wird maßgeblich durch so genannte Pioniere bestimmt. Elektrofahrzeuge sind unter den beschriebenen Rahmenbedingungen bis zum Jahr 2015 nicht profitabel und darüber hinaus in ihrer Verfügbarkeit stark limitiert.

Ab 2015 werden Elektrofahrzeuge in Nutzungskontexten mit entsprechend hoher Jahresfahrleistung profitabel. Dies ist insbesondere bei Privatpersonen mit langen Pendeldistanzen bzw. bei den so genannten Dienstwagen der Fall. Hier wirkt die Annahme verstärkend, dass potenzielle Nutzer ab dem Jahr 2015 die Möglichkeit haben, am Arbeitsplatz zu laden. Dementsprechend wachsen diese Segmente am stärksten. Das Wachstum im Segment der Dienstwagen ist jedoch aufgrund des größeren Anteils von Fahrzeugen mit hoher Jahresfahrleistung im Vergleich zu privaten Neuzulassungen deutlich stärker. Darüber hinaus nehmen auch Neuzulassungen von LNfz zu. Im Jahr 2020 beträgt die Zahl der LNfz im Fahrzeugbestand immerhin ca. 40 000 Fahrzeuge.

Ab 2020 nimmt das Wachstum aufgrund der sich fortan sehr positiv entwickelnden Rahmenbedingungen für die Elektromobilität bei allen Haltergruppen deutlich zu. Insbesondere gewerblich eingesetzte und private Pkw haben hohe Wachstumsraten. Dies ist jedoch im Privatsektor nicht ausschließlich durch Neuzulassungen begründet sondern auch maßgeblich durch den Übergang von als Dienstwagen zugelassenen Fahrzeugen in den Privatsektor. Dienstwagen stellen bereits heute durch ihren vergleichsweise hohen Anteil an den jährlichen Neuzulassungen, aber einer vergleichsweise kurzen Haltedauer einen wichtigen Pool „junger Gebrauchter“ für private Nutzer dar. Private Nutzer werden auch zukünftig von diesem Umstand profitieren.

Von den insgesamt rund 4 Mio. kommerziell zugelassenen Pkw im Jahr 2025 (DW und WV) sind rund 2 Mio. Elektrofahrzeuge. Der Anteil erhöht sich bis 2030 weiter auf rund 75%. Dabei ist der Markt der so genannten Dienstwagen weitestgehend elektrifiziert. Auch der Anteil privater Zulassungen steigt ab 2025 noch einmal deutlich stärker. Mit stetig sinkenden Technologiekosten, zunehmender Effizienz der Elektroantriebe und der steigenden Verfügbarkeit öffentlicher Ladeanlagen sind Elektrofahrzeuge nun massentauglich. Selbst für Privathaushalte mit einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung stellen Elektrofahrzeuge nun eine profitable Option dar. Gleiches gilt für kommerziell eingesetzte Pkw und LNfz. Durch ihren häufig sehr spezifischen Einsatz, beispielsweise als Fahrzeug bei Kurierexpressdiensten mit regelmäßigen Wegen und selten höheren Tagesfahrleistungen als 130 km bei gleichzeitig hohen Jahresfahrleistungen, stellen LNfz den größten Anteil BEV im Jahr 2030. Tab. 6-31 stellt die Ergebnisse der Szenariorechnungen gegenüber.

Das Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ zeichnet sich in der Analyse der Haltergruppen im Vergleich zum Szenario „Moderate Marktentwicklung“ durch ein früheres Einsetzen des Zuwachses in den Haltergruppen der privaten und gewerblichen Nutzer aus. So ist bereits im Jahr 2015 die Anschaffung eines BEV oder PHEV für viele Neuwagenkäufer wirtschaftlich sinnvoll, was zunächst zu sehr viel höheren Zulassungszahlen führt. Auch in späteren Perioden sind die Verkaufszahlen in allen Kundensegmenten erwartungsgemäß stärker, wobei im Bereich der Dienstwagen nur ein geringeres Wachstum gegenüber dem ohnehin starken Markt im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ zu beobachten ist.

Im Szenario „Nische“ bestimmen private Zulassungen die Entwicklung. Spielte im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ die Haltergruppe der Dienstwagen eine tragende Rolle bei den Erstkäufern, kann davon im Szenario „Nische“ keine Rede sein. Neben den deutlich höheren Technologiekosten und systembedingten Nachteilen in diesem Szenario wirkt sich die steuerliche Benachteiligung von Elektrofahrzeugen gegenüber vergleichbaren Verbrennern zusätzlich hemmend aus. Dies führt zu einer generellen Beschränkung des Marktes auf wenige Kundengruppen mit sehr hoher Jahresfahrleistung oder entsprechenden Pionierprofilen (siehe 6.6.2.2), wobei Letztere stark überwiegen. Zu beachten ist in allen Szenarien, dass der Bestand an Privatfahrzeugen immer auch durch den Gebrauchtwagenmarkt getrieben wird, da nach Ablauf der Ersthaltedauer sämtliche Fahrzeuge als privat zugelassene Gebrauchtfahrzeuge betrachtet werden.

Tab. 6-31: Bestand von Elektrofahrzeuge je Haltergruppe in den Szenarien

	Jahr			
	2015	2020	2025	2030
Nische				
	PW	31 929	99 454	151 211
	DW	4 141	4 584	4 584
	WV	8 958	11 127	11 127
	LNfz	600	1 473	2 141
Moderate Marktentwicklung				
	PW	35 096	220 794	2 106 363
	DW	8 755	199 634	1 253 868
	WV	904	1 912	191 073
	LNfz	609	39 858	166 593
Forcierte Durchdringung				
	PW	190 223	1 043 598	6 284 998
	DW	67 881	201 842	1 682 125
	WV	65 735	196 556	1 532 628
	LNfz	13 231	71 857	598 654
				1 358 069

Quelle: Eigene Berechnungen.

6.6.3.4 Ergebnisse Fahrzeuggrößenklassen

Neben der Analyse der verschiedenen Haltergruppen ist insbesondere der Blick auf die ersetzten Fahrzeuggrößenklassen von Interesse.

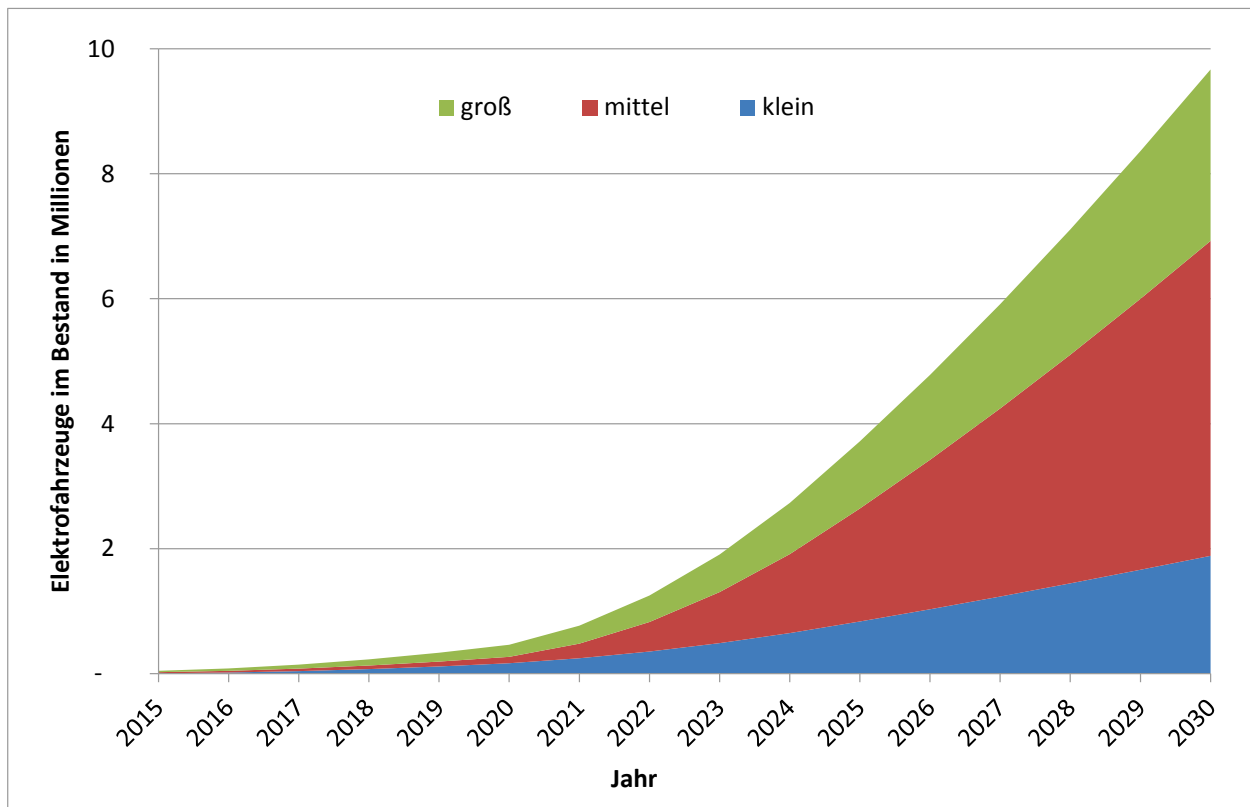
Hier zeigt sich im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ eine Verteilung, welche der Verteilung der aktuellen Zulassungen und Bestände konventioneller Fahrzeuge sehr ähnlich ist. Neben dem dominanten Segment der mittleren Größe (etwa 50% der Flotte in 2030) gibt es etwa gleich große Segmente jeweils kleiner und großer Fahrzeuge (je 25% der Flotte in 2030). In früheren Perioden ist (bei insgesamt kleiner Elektrofahrzeug-Flotte) das mittelgroße Segment weniger dominant, da zum einen hier noch nicht ausreichend Produktionskapazitäten (v. a. für PHEVs) erwartet werden, zum anderen bis 2020 die Pioniere die vorherrschende Käufergruppe darstellen.

Im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ ist die langfristige Aufteilung analog – allerdings kann in früheren Perioden bereits eine Dominanz des mittelgroßen Segments beobachtet werden, da schon früher die Wirtschaftlichkeit erreicht und der Markt nicht mehr durch Pioniere bestimmt wird.

Im Szenario „Nische“ hingegen zeigt sich der oben beschriebene Effekt der Pioniere vor allem in Form eines stärkeren großen Segments – wenngleich die absoluten Verkaufszahlen so gering sind, dass eine tiefergehende Betrachtung der Größenklassen nicht sinnvoll erscheint.

Entscheidenden Einfluss auf die Verteilung der drei Größenklassen auf die Antriebsformen PHEV und BEV wird auch die Modellpolitik, d. h. das Fahrzeugangebot der Hersteller haben. So kann sich beispielsweise das Segment kleiner PHEV nur entwickeln, wenn angebotsseitig nicht ausschließlich reine Elektroantriebe für diese Größenklasse vorgesehen werden. Derartige Erwägungen spiegeln sich jedoch nicht in den modellierten Produktionskapazitäten wider, sondern werden in Zukunft durch die Strategie der Hersteller bestimmt.

Abb. 6-75: Anzahl Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand* nach Fahrzeuggrößenklassen im Szenario „Moderate Marktentwicklung“



* Die prognostizierten Gesamtfahrzeugbestände können Tab. 6-15 entnommen werden.

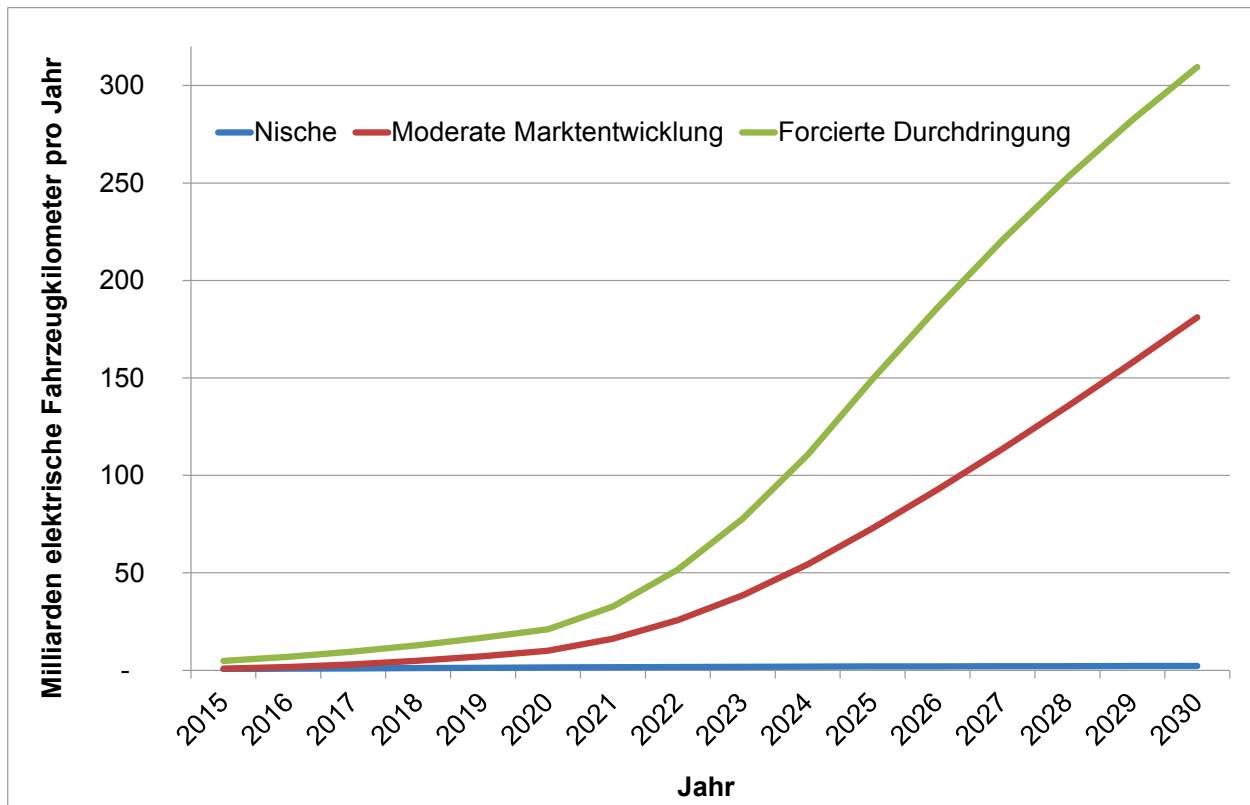
Quelle: Eigene Darstellung.

6.6.3.5 Ergebnisse Jahreskilometerleistung durch Elektrofahrzeuge

Neben der Berechnung des zukünftigen Potenzials von Elektrofahrzeugen am Fahrzeugbestand ist es von besonderem Interesse, deren elektrische Fahrleistungen darzustellen. Neben der direkten Ableitung der Energienachfrage (als zentralem Input für die angeschlossenen Energiemodelle) ermöglicht dies beispielsweise, in einem weiteren Schritt, Emissionsreduktionspotenziale durch Elektrofahrzeuge zu berechnen, welche direkt proportional zu den vermiedenen Fahrkilometern der mit Otto- oder Dieselmotoren betriebenen ersetzten Fahrzeuge sind.

Grundsätzlich wächst die Leistung elektrisch zurückgelegter Kilometer rein-batterieelektrischer Fahrzeuge sowie von Plug-In-Hybridfahrzeugen proportional zur Größe der Elektrofahrzeugflotte. Allerdings sinkt die neu hinzukommende Jahresfahrleistung je Periode und Fahrzeug logischerweise leicht ab, da Erhöhungen der Neuzulassungen durch eine niedrigere Mindestjahresfahrleistung bedingt werden und die hinzugewonnenen Fahrzeuge eben diese geringere Fahrleistung aufweisen. Wie in Abb. 6-76 dargestellt, liegt diese im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ im Jahr 2020 bei rund 10 Mrd. Fahrzeugkilometern und steigt bis zum Jahr 2030 auf rund 180 Mrd. Fahrzeugkilometer an.

Abb. 6-76: Elektrische Fahrzeugkilometer im Szenariovergleich



* Die prognostizierten Gesamtfahrzeugkilometer können der „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ (BVU & Intraplan Consult 2007) entnommen werden.

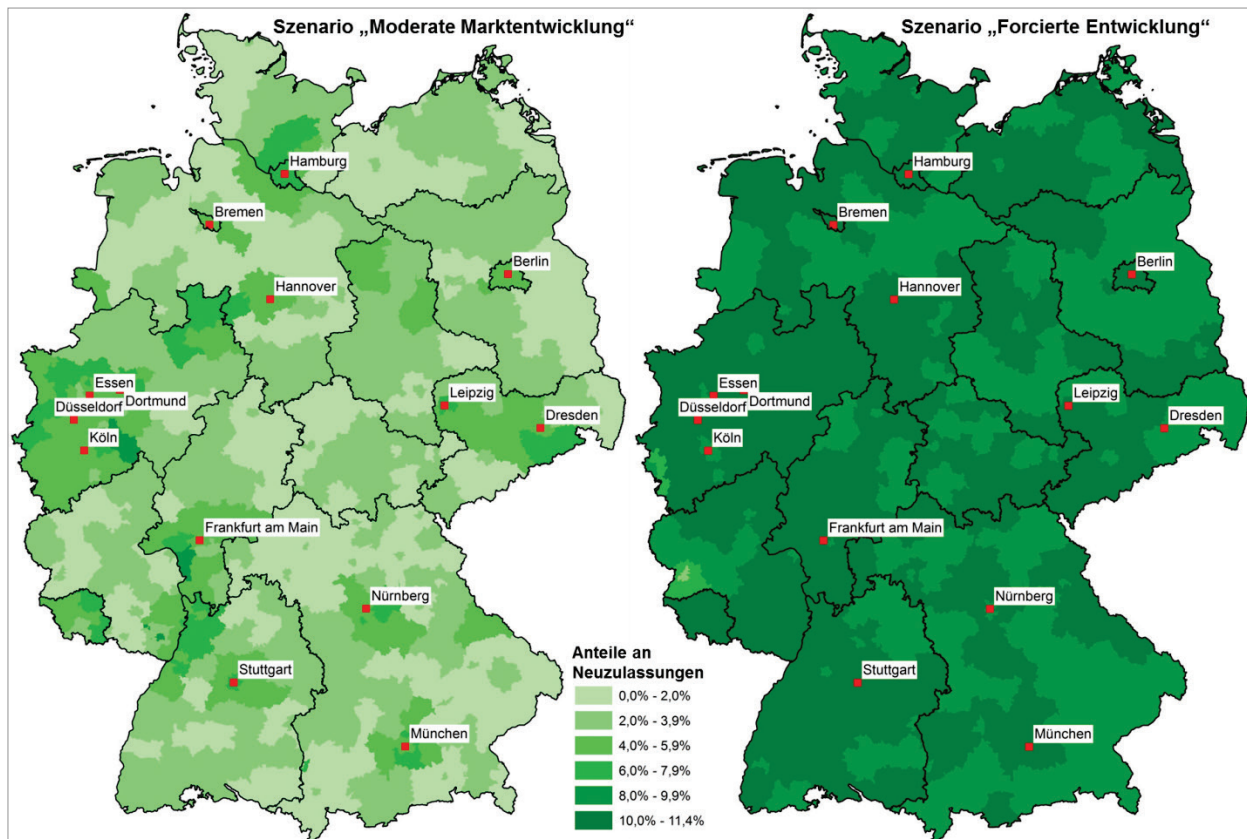
Quelle: Eigene Darstellung.

Bei einer rund dreimal größeren Anzahl von Elektrofahrzeugen im Bestand liegt die elektrische Jahresfahrleistung im Szenario „Forcierte Entwicklung“ im Jahr 2020 mit rund 21 Mrd. Fahrzeugkilometern entsprechend höher. Die in diesem Szenario vergleichsweise geringere Fahrleistung pro Elektrofahrzeug resultiert aus der Tatsache, dass die erforderliche Jahresfahrleistung zur Erreichung der Profitabilität eines Elektrofahrzeugs durch die geringeren Technologiekosten und höheren Kraftstoffpreise sowie Kaufprämien deutlich niedriger ist, als im Szenario „Moderate Marktentwicklung“. Die rund 310 Mrd. elektrischen Fahrzeugkilometer im Szenario „Forcierte Marktdurchdringung“ entsprechen ca. der Hälfte aller von in Deutschland zugelassenen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen generierten Kilometern im Jahr 2008 (BVU & Intraplan Consult 2007). Analog zur Entwicklung des Fahrzeugbestandes liegt die Jahresfahrleistung von Elektrofahrzeugen im Szenario „Nische“ hingegen mit rund 1,5 Mrd. in 2020 und 2,2 Mrd. in 2030 deutlich unter den Ergebnissen der anderen beiden Szenarien.

6.6.3.6 Ergebnisse Regionale Differenzierung

Wie in Abb. 6-77 (linke Karte) dargestellt, liegt das höchste Neuzulassungspotenzial für Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ in den Metropolregionen Deutschlands. Der Anteil an den Neuzulassungen liegt in diesen Regionen bei 4-10%. Diese räumliche Konzentration ist zum Teil durch die Verortung der Pionier-Nutzer in den Großstädten und im suburbanen Raum begründet. Weiterhin ist der Anteil so genannter Dienstwagen an den Neuzulassungen hier im Allgemeinen deutlich höher, diese machen ca. die Hälfte der im Jahr 2020 neu zugelassenen Elektrofahrzeuge aus (siehe Abschnitt 6.6.3.3). Auch die Haltedauer von Fahrzeugen ist in Agglomerationen kürzer als im ländlichen Raum, was zu einer schnelleren Erneuerung des Fahrzeugbestandes führt. Darüber hinaus sind Pkw-Wege im ländlichen Raum im Vergleich zu Agglomerationsräumen länger. Dies führt unter der Annahme, dass in diesem Szenario keine öffentliche (Schnell)ladeinfrastruktur vorhanden ist, dazu, dass insbesondere BEVs aufgrund der beschränkten Reichweite für potenzielle Nutzer in diesen Regionen zum Teil keine Option sind.

Abb. 6-77: Anteile von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen im Jahr 2020 auf Kreisebene



Quelle: Eigene Darstellung.

In der rechten Karte der Abb. 6-77 sind analog die Ergebnisse der Rechnungen des Szenarios „Forcierte Durchdringung“ dargestellt. Die insgesamt dunklere Färbung stellt den allgemein höheren Anteil von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen in diesem Szenario dar. Dieser liegt in den Metropolregionen mehrheitlich bei über 10-12%. Auch im ländlichen Raum ist mit durchschnittlich 8-10%igen Anteilen an den Neuzulassungen ein deutlicher Anstieg im Vergleich zum Szenario „Moderate Marktentwicklung“ zu verzeichnen. Neben den bereits diskutierten Gründen für diese Entwicklung (maßgeblich die höhere Wirtschaftlichkeit) ist insbesondere die stärkere Verbreitung von (Schnell)ladeinfrastruktur im Szenario „Forcierte Durchdringung“ zu nennen. Besonders auffallend ist die Schließung von ‚Lücken‘ im ländlichen Raum, wo aufgrund der realisierten Wegelängen zuvor kein großflächiger Einsatz von Elektrofahrzeugen möglich war. Diese Erklärung wird durch die Erkenntnis bestärkt, dass die Varianz der Anteile in den verschiedenen Kreisen deutlich geringer ist als im Szenario „Moderate Marktentwicklung“.

Dieser Effekt konnte auch in einer Sensitivitätsanalyse¹⁷ des Parameters Ladeinfrastruktur nachgewiesen werden. Darüber hinaus hat die Bereitstellung von öffentlicher Ladeinfrastruktur auch einen großen Einfluss auf den nachgefragten Antriebstyp und begünstigt eine Verschiebung des Marktes von PHEV hin zu rein elektrischen Fahrzeugen (vgl. KIH, TROMMER & MEHLIN 2013).

Die geringe Nachfrage im Szenario „Nische“ ermöglicht keine (vergleichbar) anschauliche Darstellung der Ergebnisse nach Regionen. Prinzipiell kann jedoch festgehalten werden, dass die Verteilung (in einer deutlich abgeschwächten Form) der des Szenarios „Moderate Marktentwicklung“ entspricht.

¹⁷ Bei dieser Sensitivitätsanalyse wurde der Effekt des Parameters Ladeinfrastruktur mittels der Integration der Annahmen zur Entwicklung der Ladeinfrastruktur aus dem Szenario „Forcierte Entwicklung“ und Beibehaltung aller weiteren Parameterausprägungen des Szenarios „Moderate Marktentwicklung“ im Modell getestet. Die Gesamtnachfrage steigt dabei im Vergleich zum Szenario „Moderate Marktentwicklung“ um rund 140 000 auf 600 000 Elektrofahrzeuge.

6.6.3.7 Fazit

Wie im vorangehenden Kapitel dargestellt, ist die Entwicklung des Marktpotenzials von Elektrofahrzeugen aufgrund der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Szenarien sehr verschieden. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte in Kürze zusammengefasst. Daran anschließend erfolgt eine Diskussion einzelner Maßnahmen.

Szenario „Nische“

Der Anteil von Elektrofahrzeugen am Fahrzeugbestand entwickelt sich im Szenario „Nische“ nur sehr langsam und erreicht mit rund 200 000 Fahrzeugen in 2030 das Maximum. Bei den zugelassenen Fahrzeugen handelt es sich in etwa gleichen Anteilen um BEVs und PHEVs vorwiegend mittlerer und größerer Fahrzeuggrößenklassen. Die Fahrzeuge sind vorwiegend privat zugelassen bzw. werden bei sehr hohen Jahresfahrleistungen gewerblich genutzt. Insgesamt werden im Jahr 2020 rund 1,5 Mrd. Fahrzeugkilometer elektrisch zurückgelegt. Dieser Wert steigt bis zum Jahr 2030 auf rund 2,2 Mrd. Kilometer.

Szenario „Moderate Marktentwicklung“

Im Vergleich zum Szenario „Nische“ entwickelt sich der Bestand von Elektrofahrzeugen im Szenario „Moderate Marktentwicklung“ etwas schneller und erreicht im Jahr 2020 rund 460 000 Fahrzeuge. Insbesondere der zu erwartende technologische Fortschritt und damit verbundene Kostenreduktionen führen allerdings ab 2020 zu einem starken Wachstum des Marktpotenzials, welches im Jahr 2030 bei rund 10 Mio. Elektrofahrzeugen liegt. Die zugelassenen Fahrzeuge werden bis 2020 zu relativ gleichen Anteilen BEVs und PHEVs sein, welche vorwiegend privat genutzt werden. Einen großen Anteil haben so genannte Dienstwagen. Bis zum Jahr 2020 liegt das größte Substitutionspotenzial bei kleineren Fahrzeugen. Ab 2020 wächst der Markt mittlerer und größerer Fahrzeuge dann deutlich stärker. Das Potenzial elektrisch realisierter Kilometer liegt im Jahr 2020 bei rund 10 Mrd. Fahrzeugkilometern und steigt bis 2030 auf rund 180 Mrd. Kilometer.

Szenario „Forcierte Durchdringung“

Aufgrund der positiven Rahmenbedingungen entwickelt sich das Marktpotenzial in diesem Szenario sehr dynamisch. Bis zum Jahr 2020 sind bereits 1,5 Mio. Elektrofahrzeuge zugelassen. Dieser Wert steigt bis 2030 auf rund 22 Mio. Fahrzeuge. Dies entspricht in etwa der Hälfte des deutschen Fahrzeugbestands. Im Vergleich zu den Szenarien „Nische“ und „Moderate Marktentwicklung“ dominieren PHEVs bereits ab 2015 den Markt der Elektrofahrzeuge. Bei den Zulassungsarten ist ein gleichmäßiges Wachstum in allen Kategorien entsprechend den heutigen Zulassungsanteilen bei herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu beobachten. Dies trifft ebenfalls auf die Fahrzeuggrößenklassen zu. Aufgrund der größeren Anteile von Elektrofahrzeugen am Gesamtfahrzeugmarkt sind die realisierten elektrischen Kilometer mit rund 21 Mrd. Kilometern in 2020 und rund 310 Mrd. Kilometern in 2030 im Szenario „Forcierte Durchdringung“ signifikant höher, als in den anderen Szenarien.

An der Spannweite der Ergebnisse der Szenarien kann man einerseits die grundsätzlichen Unsicherheiten einer solchen Prognose erkennen, vor allem aber den enormen Einfluss der verschiedenen Rahmenbedingungen und Maßnahmen im Wechselspiel. Sämtliche getroffene Annahmen liegen innerhalb erwartbarer Korridore. Insbesondere jedoch im Szenario „Forcierte Durchdringung“ kann das maximal mögliche Potenzial sehr gut dargestellt werden, vorausgesetzt, alle Hebel werden konsequent in eine Richtung gestellt. Alle Szenarien verdeutlichen darüber hinaus – mehr oder weniger stark ausgeprägt –, dass der Prozess der Elektrifizierung des Fahrzeugbestandes langwierig ist. Selbst im Szenario „Forcierte Durchdringung“ ist lediglich ein Anteil von rund 3% Elektrofahrzeugen im Fahrzeugbestand im Jahr 2020 zu erwarten. Gerade aus diesem Grund ist es notwendig, bereits vor 2015 unterstützende Maßnahmen zu implementieren, wenn Elektrofahrzeuge langfristig einen signifikanten Anteil der jährlichen Neuzulassungen in Deutschland darstellen sollen.

6.6.3.7.1 Diskussion der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen

Da im Rahmen des Vorhabens die Modellierung von Maßnahmen in Form von Maßnahmenpaketen erfolgte, können Effekte einzelner Maßnahmen auf das Marktpotenzial von Elektrofahrzeugen nicht isoliert werden. Dennoch lassen sich beim Vergleich der Ergebnisse der Szenarien auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Flottenversuch einige Aussagen zur erwarteten Wirksamkeit von einzelnen Maßnahmen treffen. Allgemein kann festgestellt werden, dass mögliche Maßnahmen nicht nur im Bereich der gezielten Förderung elektrischer Antriebe verortet werden können, sondern auch allgemeine Maßnahmen zur Belohnung hoher Effizienz oder zur Besteuerung ineffizienterer Antriebe eine positive Wirkung auf den Absatz von Elektrofahrzeugen erwarten lassen.

Öffentliche Ladeinfrastruktur

Der öffentlichen Ladeinfrastruktur kommen gleich mehrere Rollen zu: Zum einen ist sie, wie auch Ergebnisse des Nutzerbefragung ergeben haben, für Nutzer von Elektrofahrzeugen ein wichtiges psychologisches Backup, für Nutzer von BEVs ungleich mehr, als für Nutzer von PHEVs. Darüber hinaus ermöglicht sie nicht nur BEVs einen größeren Aktionsradius, sondern erlaubt gerade privaten und gewerblichen Nutzern von PHEVs eine Maximierung des elektrischen Fahranteils und damit, aufgrund der vergleichsweise geringeren Kosten pro elektrischem Fahrzeugkilometer, maximale Einsparung pro eingesetztem Investment. Dabei ist für private Nutzer sowie Nutzer so genannter Dienstwagen die Bereitstellung von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz mittelfristig am wirksamsten, da die Aufenthaltsdauer der Fahrzeuge neben jener am Wohnort am längsten ist. Letztlich ist ein Netz öffentlicher Ladeanlagen Grundvoraussetzung für Nutzer ohne festen Stellplatz am Wohnort.

Besteuerung von Dienstwagen

Dienstwagen stellen einen signifikanten Anteil der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland und weisen zudem meist hohe Jahresfahrleistungen auf, welche effiziente Antriebe rentabler machen. Diesem Sektor kommt damit eine Pilotfunktion zu. Die Wirkung der Steuerung dieses Sektors hin zu einer größeren wirtschaftlichen Attraktivität von Elektrofahrzeugen gegenüber Pkw mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren, führt, wie im Szenario „Forcierte Durchdringung“ dargestellt, zu einem bedeutenden Anstieg des Neuzulassungsanteils von als Dienstwagen genutzten Elektrofahrzeugen. Darüber hinaus werden die Fahrzeuge in der Regel lediglich wenige Jahre gehalten und gelangen dann in den Privatsektor.

Kaufprämien

Wie im Abschnitt 6.5.4 dargestellt, sind potenzielle Käufer von Elektrofahrzeugen zum Teil bereit, einen Aufpreis für ein Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem herkömmlichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor in Kauf zu nehmen. Diese Aufpreisbereitschaft ist jedoch deutlich geringer, als die zu kalkulierenden Mehrkosten für bereits am Markt erhältliche Elektrofahrzeuge bzw. Fahrzeuge, die mittelfristig zu erwarten sind. Entsprechend höhere Anschaffungskosten sind daher bis zum Jahr 2020 wirtschaftlich nur durch hohe (elektrische) Jahresfahrleistungen darstellbar. Wie im Szenario „Forcierte Durchdringung“ dargestellt, scheint es daher sinnvoll, diese Mehrkosten für den Kunden durch so genannte „Kaufprämien“ zu reduzieren, um auch potenziellen Interessenten mit durchschnittlichen Jahresfahrleistungen den Zugang zu Elektrofahrzeugen zu ermöglichen und eine schnellere Verbreitung dieser Technologie zu unterstützen. Allerdings sollte ein entsprechendes Fahrzeugangebot am Markt vorausgesetzt werden. Wie auch im Abschnitt 6.5.2 dargestellt, sind potenzielle Käufer nicht bereit, Kompromisse bezüglich gewünschter Fahrzeuggröße und Alltagstauglichkeit zu machen. Eine Abwanderung zu einem anderen als dem bevorzugten Hersteller wird hingegen eher in Betracht gezogen. Darüber hinaus wird empfohlen, die Zahlung von Prämien über einen Zeitraum von mehreren Jahren zu garantieren, um ein Einbrechen des Marktes nach einer kurzen Förderdauer zu verhindern. Die Höhe der Prämien sollte dabei sukzessive reduziert werden, um den zu erwartenden sinkenden Mehrkosten für die neue Technologie gerecht zu werden.

Kraftstoffpreis und Stromkosten

Die Differenz zwischen Kraftstoffkosten auf der einen Seite und Batterie- sowie Stromkosten auf der anderen Seite ist für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren von hoher Bedeutung. Die Mehrheit der Flottenversuchsteilnehmer nannte die vergleichsweise geringeren Betriebskosten von Elektrofahrzeugen als wichtiges Argument für einen potenziellen Kauf und einer damit verbundenen Aufpreisbereitschaft beim Kauf. Durch den mit rund 6% p. a. ansteigenden Strompreis für private Haushalte seit 2002 im Vergleich zu den lediglich mit rund 4% p. a. steigenden Kraftstoffkosten zeichnet sich allerdings eine Entwicklung ab, welche die wirtschaftliche Attraktivität von Elektrofahrzeugen eher behindert. Für einen erfolgreichen Markteintritt von Elektrofahrzeugen ist eine für den Käufer attraktive Differenz der Betriebskosten wesentlich. Der hohe Anschaffungspreis als derzeit stärkste Barriere für einen erfolgreichen Markt für Elektrofahrzeuge ist überwiegend von den Preisen der Batterietechnologie abhängig; deren zukünftige Entwicklungspfade haben somit entscheidenden Einfluss. Eine gezielte Entwicklungsförderung im Batteriebereich könnte somit – wenngleich wesentlich indirekter – einen weiteren großen Hebel zur Förderung von Elektrofahrzeugen darstellen.

6.6.3.8 Einschränkungen

Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem TCO-Modell, welches streng den vorgegebenen Annahmen bezüglich Batteriekosten, Verbräuchen, Kraftstoffpreisen usw. folgt. Dem Umstand, dass insbesondere in den ersten Jahren des betrachteten Modellierungszeitraums die Entscheidung für eine bestimmte Antriebstechnologie bei einer Fahrzeuganschaffung beispielsweise bei den so genannten ‚Early Adoptern‘ nicht TCO-getrieben ist, wurde durch Relaxierung des Modells für bestimmte Nutzergruppen entsprechend Rechnung getragen. Langfristig kann sich jedoch eine neue Technologie nur durch einen deutlichen Mehrwert für den Nutzer bzw. durch konkurrenzfähige Preise gegen die herkömmliche Technologie durchsetzen. Dies konnte z. B. auch durch Berechnungen im Szenario „Nische“ dargestellt werden.

Neben den zum Teil ungewissen Preisentwicklungen von Komponenten und Kraftstoffen unterliegt natürlich auch die grundsätzliche Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen der verschiedenen Antriebsarten und Größenklassen in ausreichender Stückzahl am Markt einer großen Unsicherheit. Wie im Abschnitt 6.6.2.1 dargestellt, wurde versucht, durch intensive Recherche diese Verfügbarkeit am Markt bis zum Jahr 2015 durch eine Deckelung der Nachfrage zu implementieren.

6.6.4 Tabellenanhang (Abschnitt 6.6)

Tab. 6-32: Verbrauchsentwicklung konventioneller Fahrzeuge [l/100km]

	Jahr				
	2010	2015	2020	2025	2030
Otto klein	5,40	5,08	4,72	4,40	4,10
Otto mittel	6,63	6,06	5,60	5,17	4,79
Otto groß	9,45	8,46	7,78	6,98	6,43
Diesel klein	3,90	3,77	3,52	3,31	3,10
Diesel mittel	5,23	4,94	4,61	4,33	4,04
Diesel groß	7,15	6,57	6,10	5,89	5,47
LNfz Otto klein	5,92	5,46	5,04	4,68	4,35
LNfz Otto mittel	8,85	8,15	7,51	6,97	6,48
LNfz Otto groß	10,26	9,44	8,69	8,07	7,50
LNfz Diesel klein	4,04	3,72	3,43	3,19	2,96
LNfz Diesel mittel	7,59	6,99	6,45	5,99	5,56
LNfz Diesel groß	10,01	9,23	8,52	7,91	7,35

Quelle: KNOERR (2011).

Tab. 6-33: Entwicklung des durchschnittlichen Hubraums von konventionellen Fahrzeugen [1 000 ccm]

	Jahr				
	2010	2015	2020	2025	2030
Otto klein	1,3	1,2	1,1	0,9	0,9
Otto mittel	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1
Otto groß	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5
Diesel klein	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Diesel mittel	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3
Diesel groß	2,2	2,0	1,9	1,8	1,6

Quelle: DLR, KIT (2011)

Tab. 6-34: Elektrische Reichweite von Elektrofahrzeugen [km]

		Elektrische Reichweite
Pkw	PHEV klein	30
	PHEV mittel	40
	PHEV groß	50
	BEV klein	130
	BEV mittel	130
	BEV groß	130
LNfz	PHEV klein	30
	PHEV mittel	40
	PHEV groß	50
	BEV klein	130
	BEV mittel	130
	BEV groß	130

Quelle: Eigene Berechnung nach WIETSCHEL & BÜNGER (2010) und BAUM et al. (2011).

Tab. 6-35: Wartungskostendifferenz von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen [€/km]

	Differenz
PHEV klein	-0,0050
PHEV mittel	-0,0045
PHEV groß	-0,0040
BEV klein	-0,0100
BEV mittel	-0,0090
BEV groß	-0,0080

Quelle: Eigene Berechnung nach WIETSCHEL & BÜNGER (2010) und BAUM et al. (2011).

Tab. 6-36: Entwicklung der CO₂-Steuergränze [g CO₂/km]

	Jahr				
	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂ -Steuergränze	120	110	100	90	80

Quelle: DLR, KIT (2011)

Tab. 6-37: Differenz des Anschaffungspreises eines Elektrofahrzeuges im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeuge (exklusive der Batterie) [€]

Komponenten für ein Fahrzeug mittlerer Größe	PHEV vs. Otto	PHEV vs. Diesel	BEV vs. Otto	BEV vs. Diesel
Motor (alt)	- 2 310 €	- 3 720 €	- 1 350 €	- 2 500 €
Motor (neu)	1 234 €	1 234 €	0 €	0 €
E-Antrieb	1 842 €	1 842 €	1 167 €	1 167 €
Restkomponenten	1 503 €	1 503 €	0 €	0 €
Starter	- 300 €	- 300 €	- 300 €	- 300 €
Tank	0 €	0 €	- 125 €	- 125 €
Summe der Aufpreise	PHEV vs. Otto	PHEV vs. Diesel	BEV vs. Otto	BEV vs. Diesel
Klein (Aufpreis 70%)	1 378 €	391 €	- 426 €	- 1 231 €
Mittel (Aufpreis 100%)	1 969 €	559 €	- 608 €	- 1 758 €
Groß (Aufpreis 130%)	2 560 €	727 €	- 790 €	- 2 285 €

Quelle: Eigene Berechnung nach WIETSCHEL & BÜNGER (2010) und BAUM et al. (2011).

6.7 Fazit

Die Analyse des Nutzerverhaltens liefert detaillierte Erkenntnisse zur Integration der Versuchsfahrzeuge in familiäre oder betriebliche Nutzerkontexte insgesamt, vor allem aber auch zum praktischen Umgang mit den Fahrzeugen (Einsatzmuster, Fahren, Laden). Trotz des für die Nutzer in der Regel neuartigen Fahrzeugkonzepts konnten die Fahrzeuge überwiegend zufriedenstellend genutzt werden. Gleichwohl wurden Einschränkungen wahrgenommen und Erwartungen an zukünftige Fahrzeuggenerationen formuliert.

Die Ergebnisse sind immer vor dem Hintergrund der **Zusammensetzung der Nutzer(innen)stichprobe** zu sehen, die aufgrund ihrer geringen Größe nicht den Anspruch der Repräsentativität erfüllen konnte. Die Auswahl der Haushalte und Unternehmen orientierte sich an deren angenommenen Nutzungsprofilen, für die das Versuchsfahrzeug im Vorfeld prinzipiell geeignet schien. Darüber hinaus wurden sie aufgrund ihres allgemeinen Nutzungskontextes als potenzielle Erstkäufer/-nutzer von Elektrofahrzeugen eingeschätzt. Gegenüber der Gesamtbevölkerung unterschieden sich die Nutzer(innen) insofern, als dass sie in der Regel in größeren Haushalten mit mehreren Kindern lebten. Rund vier Fünftel der privaten Fahrer(innen) gingen während der Versuchslaufzeit einer Vollzeitbeschäftigung nach, die verfügbaren Haushaltsnettoeinkommen fielen dementsprechend leicht überdurchschnittlich aus.

Die Unternehmen konstituierten sich überwiegend aus verschiedenen Dienstleistungsbereichen, wobei sowohl die Zahl der Mitarbeiter(innen) als auch die Größe der Firmenflotten stark variierten.

Das Feld der Fahrer(innen) war mit 63% im privaten Bereich und 91% im betrieblichen Bereich deutlich männlich geprägt. Das Durchschnittsalter der privaten Fahrer(innen) betrug 41 Jahre, die betrieblichen Fahrer(innen) waren mit 47 Jahren etwas älter.

Ungeachtet der geringen Größe der Stichprobe deckte das beobachtete **Nutzungs- und Fahrverhalten** ein **sehr großes Verhaltensspektrum** ab, und zwar nicht nur im Hinblick auf die drei untersuchten Nutzungssegmente PRIVAT, MIX und GEWERBE, sondern auch innerhalb der Segmente.

Bei einer durchschnittlichen Tagesstrecke von 65,7 km wurde der TwinDRIVE sowohl für sehr viele, sehr kurze Fahrten genutzt – etwa ein Drittel aller Fahrten war kürzer als 4 km –, aber auch für lange Strecken über 100 km. Obwohl letztere deutlich seltener waren, entfielen doch 14% der Laufleistung auf diese. Ermöglicht durch das hybride Antriebskonzept des TwinDRIVEs wurde jeweils rund die Hälfte der Gesamtfahrleistung im hybriden Fahrmodus realisiert, also sowohl durch den Verbrennungsmotor als auch durch den Elektromotor getragen; 42% des elektrischen Fahranteils wurde dabei bei aktiviertem E-MODE erbracht. Etwa jede vierte Fahrt erfolgte nahezu vollständig elektrisch. Damit erfüllte sich der häufig geäußerte Wunsch der Teilnehmer(innen) nur teilweise, auch mit einem Plug-In Hybridfahrzeug so viele alltägliche Wege wie möglich elektrisch realisieren zu können. In diesem Zusammenhang wurde darüber hinaus explizit die Erwartung geäußert, dass der benötigte Fahrstrom aus regenerativen Energiequellen stammen solle.

Deutliche Unterschiede zwischen den drei Nutzungssegmenten PRIVAT, MIX und GEWERBE gab es bei der globalen Durchschnittsgeschwindigkeit und der Tagesfahrleistung: MIX-Nutzer(innen) fuhren mit 46 km/h am schnellsten und legten mit 78 km die längsten Tagesstrecken zurück. Im Vergleich dazu hatten gewerbliche Fahrer(innen) mit 36 km/h eine deutlich geringere Durchschnittsgeschwindigkeit sowie eine mit 66 km geringere Tagesfahrleistung. Die durchschnittliche Geschwindigkeit privater Nutzer(innen) liegt mit 39 km/h im Mittelfeld, deren Tagesfahrleistung ist mit 63 km am geringsten.

Gewerbliche Fahrer(innen) legten mit 5,1 Fahrten pro Tag die meisten Wege mit dem TwinDRIVE zurück – fast einer Fahrt mehr als in den anderen beiden Segmenten. Die gewerblich und dienstlich genutzten Fahrzeuge wiesen unter der Woche eine höhere Nutzungsintensität auf als am Wochenende.

Die gegenüber dem konventionellen Vergleichsfahrzeug um 4,7 km/h geringere Durchschnittsgeschwindigkeit lässt auf teilweise deutliche Änderungen im Mobilitätsverhalten schließen. Neben dem Aspekt einer effizienten Nutzung vor allem der elektrischen Energie dürfte hier auch das Sicherheitsbewusstsein der Fahrer(innen) eine bedeutende Rolle gespielt haben, die nach eigener Aussage in der Regel voraus-

schauender und damit umsichtiger fahren. Die Erwartung eines erhöhten Unfallrisikos mit Fußgängern durch geringere Fahrgeräusche nahm über die Zeit ab.

Die positiven Erwartungen an die Nutzung von Plug-In-Hybridfahrzeugen sowohl der gewerblichen als auch der privaten Versuchsteilnehmer(innen) richteten sich vor allem auf die Aspekte „Kosten“, „Umwelt“ und „Fahrgefühl“.

Auch wenn der diesbezügliche Bedarf der Nutzer(innen) sehr unterschiedlich ausfiel, wurde die derzeitig als zu gering empfundene elektrische Reichweite kritisch gesehen, nicht zuletzt vor dem Hintergrund des aus Sicht der Nutzer(innen) als zu hoch empfundenen Kraftstoffverbrauchs des Verbrennungsmotors, welcher aufgrund der begrenzten elektrischen Reichweite von real rund 40 km regelmäßig zum Einsatz kam.

In seiner alltäglichen Nutzung wurde das Fahrzeug jedoch als unproblematisch empfunden, und die Umstellung auf ein Plug-In-Hybridfahrzeug gelang den Teilnehmer(inne)n einfacher als vor Versuchsbeginn erwartet. Auftretende technische Probleme wurden sehr wohl kritisch zur Kenntnis genommen, jedoch durchweg dem Status des TwinDRIVE als einem weitgehend ausgereiften, wenn auch noch nicht serienreifen Versuchsfahrzeug zugeschrieben.

Auch beim **Ladeverhalten** zeigten sich größere Unterschiede sowohl zwischen einzelnen Nutzer(inne)n als auch zwischen den Segmenten.

Für das Aufladen der Fahrzeuge wurde eine deutliche, im Versuchsverlauf steigende Präferenz der großen Mehrheit der Teilnehmer(innen) zum Laden zu Hause und im Betrieb deutlich. Eine (halb-)öffentliche Ladeinfrastruktur (z. B. am Arbeitsplatz oder in Einkaufszentren) wurde mehrheitlich als zusätzlich erforderlich eingeschätzt. Für die Nutzung solcher Lademöglichkeiten war eine hohe Zahlungsbereitschaft vorhanden, allerdings würde nur ein kleiner Teil der Befragten diese Infrastruktur auch bevorzugt in Anspruch nehmen. Die öffentliche Ladeinfrastruktur hingegen wurde dabei generell als wichtig empfunden, auch wenn einzelne Nutzer(innen) angaben, für sich persönlich keinen Bedarf zu sehen. Damit kommt der Infrastruktur eine Grundsicherungsfunktion zu.

Unter diesen Voraussetzungen ist von den untersuchten Nutzergruppen nur eine geringe Nachfrage nach Strom aus öffentlichen Infrastrukturen zu erwarten. Die grundsätzliche Möglichkeit zur öffentlichen Ladung und damit die psychologische Komponente der Ladeinfrastruktur stellt jedoch aus Nutzersicht eine wichtige Prämisse zur Etablierung der Elektromobilität dar.

Starke Divergenzen zeigten sich zwischen den angegebenen bevorzugten Ladezeiten einerseits und dem beobachtetem Ladeverhalten andererseits. Eine Nutzung intelligenter Ladetechnologie (V2G) und damit verbunden ein veränderter Tagesgang der Ladeenergienachfrage birgt größere Potenziale zur Ausnutzung von Schwachlastzeiten zur Beladung des Fahrzeuges sowie von Spitzenlastzeiten zur Rückspeisung von temporär nicht benötigter Energie in das Stromnetz. Vor allem im privaten Bereich scheint bereits mit einfachen technischen Mitteln oder einer Verhaltensänderung eine Verlagerung der abendlichen Ladung in die Nacht und/oder in den frühen Morgen möglich. Entsprechende Tarife vorausgesetzt, bietet solch eine zeitliche Verlagerung neben Vorteilen für die Auslastung der Energienetze auch Kostenvorteile für die Nutzer(innen) der Fahrzeuge.

Die Handhabung der Ladeschnittstelle (Stecker, Kabel) wurde in der Summe als unproblematisch beurteilt, auch wenn es vor dem Hintergrund individueller praktischer Lösungen verschiedene Verbesserungsvorschläge gab. Der mit dem Laden verbundene organisatorische und zeitliche Aufwand wurde von den allermeisten als vertretbar angesehen, dennoch würde eine deutliche Verkürzung des Ladvorgangs zugunsten subjektiv empfundener Flexibilität begrüßt werden.

Nicht zuletzt im Hinblick auf die aktuell verfügbare(n) Reichweite(n) gehörten aus Sicht der Nutzer(innen) die Ladezustandsanzeige der Batterie sowie die Anzeigen zur aktuellen elektrischen und verbrennungsmotorischen Reichweite zu den wichtigsten und am häufigsten genutzten Informationen im Fahrzeug.

Dabei wurde die **Kombi- und Multifunktionsanzeige (MFA)** des TwinDRIVE von den Nutzer(inne)n ähnlich wie in einem herkömmlichen Fahrzeug verwendet (z. B. Tachometer, Kraftstofftankanzeige, Bereitschafts- und Leistungsanzeige), während das **Fahrer-Informationen-System (FIS)** subjektiv für die Teil-

nehmer(innen) nur wenige relevante Informationen oder Funktionen bereitstellte. Wichtig waren das Energieflussdiagramm zur Darstellung des aktuellen Antriebs sowie die Funktion der Fahrtplanung zur Einsatzplanung des elektrischen Antriebs. Die Mehrheit der Nutzer(innen) hat die Anzeigen des FIS während des Versuchs eher außer Acht gelassen und vorwiegend aus Neugier verwendet. Die Mehrheit der Versuchsteilnehmer(innen) äußerte hingegen den Bedarf, zusätzliche Informationen zum Ladezustand und zur aktuellen elektrischen Reichweite auch außerhalb des Fahrzeugs abrufen zu können. Diese sollten sowohl über das Internet (inklusive Smartphone), aber auch an der Ladeanlage selbst verfügbar sein. Um seitens der Nutzer(innen) die Möglichkeiten eines komplexen Informationsmediums wie dem FIS ausschöpfen zu können, bedarf es in jedem Fall einer Vereinfachung der Funktionsweise sowie einer praktischen Einweisung z. B. im Hinblick auf Energieeinsparpotenziale durch richtigen Einsatz des FIS.

Zu den dominierenden **Kaufkriterien** gehören die Fahrzeugsicherheit, die Kosten und die elektrische Reichweite. Insbesondere die Kosten werden derzeit noch als (zu) hoch und die elektrische Reichweite als zu niedrig eingestuft, so dass diese Kriterien noch für die Mehrzahl der Teilnehmer(innen) gegen eine Anschaffung eines Elektrofahrzeuges sprechen. Immerhin zeigten sich drei Viertel der befragten Teilnehmer(innen) bereit, für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges einen höheren Kaufpreis zu zahlen. Dies wurde vor allem mit möglichen späteren Einsparungen beim Unterhalt sowie Umweltschutzaspekten begründet. Der Mehrpreis sollte dabei die Werte 6 100 € (Privathaushalte/ 27%) und 8 800 € (Betriebe/ 25%) nicht übersteigen. Voraussetzung für einen Kauf sei in jedem Fall, dass das künftige Fahrzeug den alltäglichen praktischen Nutzungsanforderungen vor allem hinsichtlich Reichweite und Zuladung gerecht wird.

Staatliche Markteinführungsmaßnahmen seien aus Sicht der Nutzer nicht zwingend erforderlich, allerdings sollten deutlichere Signale der Politik und Wirtschaft für die Einführung der Elektromobilität gesetzt werden.

Neben der Analyse der Nutzung der Versuchsfahrzeuge erfolgte eine Modellierung des möglichen zukünftigen Bedarfs an Elektrofahrzeugen in Deutschland bis zum Jahr 2030. Um der mit vielen Unwägbarkeiten behafteten zukünftige Entwicklung der Rahmenbedingungen wie Kraftstoffpreisen und Batteriekosten entsprechend Rechnung zu tragen, wurden drei Szenarien definiert, welche jeweils unterschiedliche Entwicklungspfade abdecken.

Die zukünftige **Entwicklung des Marktpotenzials von Elektrofahrzeugen** gestaltet sich aufgrund der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen der **Szenarien „Nische“, „Moderate Marktentwicklung“ und „Forcierte Durchdringung“** dementsprechend sehr verschieden. Das Fahrzeugpotenzial reicht dabei für das Jahr 2030 von rund 200 000 Fahrzeugen (Nische), über 10 Mio. Fahrzeugen (Moderate Marktentwicklung) bis zu 22 Mio. Fahrzeugen (Forcierte Durchdringung). Während es sich in den Szenarien „Nische“ und „Moderate Marktentwicklung“ gleichermaßen um BEVs und PHEVs vorwiegend mittlerer und größerer Fahrzeuggrößenklassen handelt, die vorwiegend privat (auch als Dienstwagen) genutzt werden, dominieren im Szenario „Forcierte Durchdringung“ bereits ab 2015 PHEVs den Markt der Elektrofahrzeuge. Sowohl die Zulassungsarten als auch die Fahrzeuggrößenklassen entsprechen den heutigen Zulassungsanteilen bei herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren

Die Spannbreite der Szenarioergebnisse verdeutlichen einerseits die grundsätzlichen Unsicherheiten einer solchen Prognose, vor allem aber den enormen Einfluss der verschiedenen Rahmenbedingungen und Maßnahmen im Wechselspiel. Im Szenario „Forcierte Durchdringung“ kann das maximal mögliche Potenzial nur unter der Voraussetzung realisiert werden, dass alle Hebel konsequent in eine Richtung gestellt werden. Alle Szenarien verdeutlichen darüber hinaus – mehr oder weniger stark ausgeprägt –, dass der Prozess der Elektrifizierung des Fahrzeugbestandes langwierig ist. Selbst im Szenario „Forcierte Durchdringung“ ist lediglich ein Anteil von rund 3% Elektrofahrzeugen im Fahrzeugbestand im Jahr 2020 zu erwarten. Gerade aus diesem Grund ist es notwendig, bereits vor 2015 unterstützende Maßnahmen zu implementieren, wenn Elektrofahrzeuge langfristig einen signifikanten Anteil der jährlichen Neuzulassungen in Deutschland darstellen sollen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Flottenversuch können einige Aussagen zur erwarteten **Wirksamkeit einzelner Maßnahmen** getroffen werden. Generell ist festzuhalten, dass mögliche Maß-

nahmen nicht nur im Bereich der gezielten Förderung elektrischer Antriebe verortet werden können, sondern auch allgemeine Maßnahmen zur Belohnung hoher Effizienz oder zur Besteuerung ineffizienterer Antriebe eine positive Wirkung auf den Absatz von Elektrofahrzeugen erwarten lassen.

Eine **öffentliche Ladeinfrastruktur** ermöglicht prinzipiell größere Aktionsradien, eine Maximierung der elektrischen Fahranteile und damit, aufgrund der vergleichsweise geringeren Kosten pro elektrischem Fahrzeugkilometer, maximale Einsparung pro eingesetztem Investment. Für private Nutzer sowie Nutzer so genannter Dienstwagen ist die Bereitstellung von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz mittelfristig am wirksamsten, da dort die Aufenthaltsdauer der Fahrzeuge neben jener am Wohnort am längsten ist. Letztlich ist ein Netz öffentlicher Ladeanlagen Grundvoraussetzung für Nutzer ohne festen Stellplatz am Wohnort.

Aufgrund des signifikanten Anteils an Pkw-Neuzulassungen in Deutschland sowie der meist hohen Jahresfahrleistungen kommt dem **Dienstwagensegment** und einer darauf zielenden **günstigeren Besteuerung** eine Pilotfunktion zu. Abgesehen von einem zu erwartenden Anstieg des Neuzulassungsanteils von Dienstwagen werden diese Fahrzeuge in der Regel lediglich wenige Jahre gehalten und gelangen dann in den Privatsektor.

Auch wenn grundsätzlich von einer gewissen Aufpreisbereitschaft potenzieller Käufer von Elektrofahrzeugen ausgegangen werden kann, liegt diese nach wie vor deutlich unter den zu kalkulierenden Mehrkosten für bereits am Markt erhältliche oder mittelfristig zu erwartende Elektrofahrzeuge. Da höhere Anschaffungskosten bis zum Jahr 2020 wirtschaftlich nur durch hohe (elektrische) Jahresfahrleistungen darstellbar sind, erscheint es sinnvoll, diese Mehrkosten durch so genannte **Kaufprämien** zu reduzieren, um auch potenziellen Interessenten mit durchschnittlichen Jahresfahrleistungen den Zugang zu Elektrofahrzeugen zu ermöglichen und eine schnellere Verbreitung dieser Technologie zu unterstützen. Allerdings sollte ein **entsprechendes Fahrzeugangebot** am Markt vorausgesetzt werden, da potenzielle Käufer nicht bereit sind, größere Kompromisse bezüglich gewünschter Fahrzeuggröße und Alltagstauglichkeit zu machen. Eine Abwanderung zu einem anderen als dem bevorzugten Hersteller wird hingegen eher in Betracht gezogen. Darüber hinaus wird empfohlen, die Zahlung von Prämien über einen Zeitraum von mehreren Jahren zu garantieren, um ein Einbrechen des Marktes nach einer kurzen Förderdauer zu verhindern. Die Höhe der Prämien sollte dabei sukzessive reduziert werden, um den zu erwartenden sinkenden Mehrkosten für die neue Technologie gerecht zu werden.

Die **Differenz** zwischen **Kraftstoffkosten** auf der einen Seite sowie **Batterie- und Stromkosten** auf der anderen Seite ist für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren von hoher Bedeutung. Die Mehrheit der Flottenversuchsteilnehmer(innen) nannte die vergleichsweise geringeren Betriebskosten von Elektrofahrzeugen als wichtiges Argument für einen Kauf und einer damit verbundenen Aufpreisbereitschaft. Durch den mit rund 6% p. a. ansteigenden Strompreis für private Haushalte seit 2002 im Vergleich zu den lediglich mit rund 4% p. a. steigenden Kraftstoffkosten zeichnet sich allerdings eine Entwicklung ab, welche die wirtschaftliche Attraktivität von Elektrofahrzeugen eher behindert. Für einen erfolgreichen Markteintritt von Elektrofahrzeugen ist eine für den Käufer **attraktive Differenz der Betriebskosten** wesentlich. Der hohe Anschaffungspreis als derzeit stärkste Barriere für einen erfolgreichen Markt für Elektrofahrzeuge ist überwiegend von den Preisen der Batterietechnologie abhängig; deren zukünftige Entwicklungspfade haben somit entscheidenden Einfluss. Eine gezielte **Entwicklungsförderung im Batteriebereich** könnte somit – wenngleich wesentlich indirekter – einen weiteren großen Hebel zur Förderung von Elektrofahrzeugen darstellen.

Ungeachtet der zahlreichen Einzelergebnisse hat sich die Vorhabenskonzeption als Langzeitversuch mit wiederholten Befragungen/ Interviews als zielführend erwiesen, da sich die subjektive Bewertung von Fahrzeugeigenschaften und Nutzungsbesonderheiten als auch das tatsächliche Nutzungsverhalten mit zunehmender Erfahrung während des Feldtests veränderten. In diesem Zusammenhang scheint neben Möglichkeiten zur praktischen Fahrzeugerprobung sowie einem sich mit der Zeit unter Autokäufern verbreitenden Erfahrungswissen eine transparente Informationspolitik unabdingbar, die es künftigen Nut-

zer(inne)n ermöglicht, sowohl die individuelle Alltagstauglichkeit eines Elektrofahrzeugs als auch die finanziellen Implikationen von Anschaffung, Betrieb und ggf. Wiederverkauf zu antizipieren.

Die Erkenntnisse zum Nutzerverhalten bieten insb. der Automobilindustrie und Energieversorgungsunternehmen Anhaltspunkte für die Gestaltung zukünftiger Elektrofahrzeuge, die Auslegung einzelner Komponenten (z. B. Batteriekapazität, Ladeleistung), die Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur oder zu erwartende Stromnetzbelastungen.

Die Szenariorechnungen geben darüber hinaus Auskunft über Fahrzeugnachfrage- und Substitutionspotenziale. Zu erwartende Fahrzeugzulassungen sowie Aussagen zur Wirksamkeit von Markteinführungsmaßnahmen bilden Eingangsgrößen für Umweltwirkungsabschätzungen, flottenbezogenen Emissionsgrenzwertabschätzungen und die Entwicklung von Markteinführungsstrategien. Adressaten sind vorrangig politische Entscheidungsebenen, aber auch Automobilindustrie und Energieversorgungsunternehmen.

7 Nutzung und Verwertung der Ergebnisse

Die im Projekt erzielten (Teil-)Ergebnisse und gewonnenen Erfahrungen wurden bereits vor Projektende vielfältig verwertet. In diesem Abschnitt soll in Kürze dargestellt werden, in welcher Art und Weise durch die Projektarbeit erlangte Kompetenzen in weiteren Projekten Anwendung finden und/oder weiterentwickelt werden. Erzielte Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge sind im Abschnitt 9 zusammengestellt.

Das DLR-Institut für Verkehrsforschung führt in verschiedenen Projekten Untersuchungen zur Analyse der Nutzeranforderungen, Wirkungsweisen und Fragen der Akzeptanz der Endnutzer von Elektromobilität durch. Der Flottenversuch Elektromobilität erfüllte eine gewisse Pionierfunktion hinsichtlich der Methodik und der inhaltlichen Fragestellungen für diese, aber auch zukünftige Projekte. Im Folgenden sollen die Projekte „Verkehrssystemische Elektromobilitätsforschung“, „SELECT“, „Ich ersetze ein Auto“ sowie „WiMobil“ mit ihren jeweiligen methodischen und inhaltlichen Schnittstellen zum Flottenversuch Elektromobilität vorgestellt werden.

7.1 Verkehrssystemische Elektromobilitätsforschung (Laufzeit 2011 bis 2015)

Projektbeschreibung

Neun interdisziplinär arbeitende Institute des DLR untersuchen die Elektromobilität im „Portfoliothema Verkehrssystemische Elektromobilitätsforschung“ und bündeln hierzu Kompetenzen aus den Bereichen Verkehr und Energie. Dabei geht es nicht nur um die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik und ihrer Komponenten sondern auch um die Anforderungen und Auswirkungen der Elektromobilität auf das Verkehrs- und Energiesystem als solches. Verkehrsnachfrage und Nutzerbedarf stehen ebenso im Fokus wie Verkehrs- und Mobilitätsmanagement, Infrastrukturintegration und Strombereitstellung, eine ökonomische und ökologische Systemanalyse sowie Strategien für eine erfolgreiche Markteinführung und Geschäftsmodelle.

Das Institut für Verkehrsforschung ist Partner des umfangreichen Vorhabens der Helmholtz Gemeinschaft und leitet Arbeiten im Teilbereich „Märkte und Nutzer“. In diesem Rahmen werden das Nutzungsverhalten und die Nutzerakzeptanz elektromobiler Mobilitätsangeboten untersucht. Gleichzeitig werden Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsentwicklung anhand von Modellen abgebildet. Auf dieser Basis erfolgt die Entwicklung eines intermodalen Mobilitäts- und Verkehrsmanagement-Konzeptes für urbane Regionen.

Das zu entwickelnde Verkehrsmodell benötigt empirische Daten von Nutzern von Elektrofahrzeugen, um die systemischen Veränderungen möglichst realitätsnah abbilden zu können. Aus diesem Grund ist eine umfangreiche Befragung von Haltern von Elektrofahrzeugen geplant. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei folgende Forschungsfragen:

- Wie wird das Fahrzeug im Alltag eingesetzt und wie gehen die Nutzer mit der begrenzten Reichweite rein batterieelektrischer Fahrzeuge um?
- Was hat die Halter zu Kauf und Nutzung des Elektrofahrzeuges motiviert?
- Welchen sozioökonomischen Gruppen lassen sich private Halter von Elektrofahrzeugen zuordnen? Welcher Art und Größe von Unternehmen lassen sich die gewerblichen Halter zuordnen?
- Wurde durch den Kauf des Elektrofahrzeuges ein anderes Fahrzeug ersetzt oder handelt es sich dabei um ein zusätzliches Fahrzeug im Haushalt/ Unternehmen?

Neben den notwendigen Eingangsgrößen für die Modellierung lassen sich durch die Ergebnisse der Erhebung auch Nutzeranforderungen an Elektrofahrzeuge für einen späteren Massenmarkt ableiten sowie Konzepte zur nutzerorientierten Verortung von Ladeinfrastruktur erarbeiten. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse dazu beitragen, Maßnahmen zu entwickeln, welche die Nachfrage im privaten sowie gewerblichen Fahrzeugmarkt erhöhen.

Verwertung der Ergebnisse des Flottenversuchs Elektromobilität

In beiden Projekten steht für das Institut für Verkehrsforschung die Analyse der Akzeptanz und Nutzung von Elektromobilität im Mittelpunkt. Entsprechend der unterschiedlichen Nutzung von Elektrofahrzeugen durch Privatpersonen und Unternehmen werden Anforderungen an zukünftige Fahrzeuge formuliert

Erfahrungen der Datenerhebung aus dem Flottenversuch Elektromobilität unterstützen die Empirie im Projekt „Verkehrssystemische Elektromobilitätsforschung“. Bereits entwickelte Methoden können entsprechend angepasst wiederverwendet werden. Die Fahrerfragebögen des Flottenversuchs dienen als Ausgangspunkt für die Erstellung der Erhebungsmaterialien für die Nutzerbefragung. In einem weiteren Schritt können die derzeitigen Informationsdefizite wie z. B. langfristige Verhaltensänderungen und Zahlungsbereitschaft durch eine Nutzerbefragung mittels Gruppendiskussionen ergänzt werden. Die qualitativ ausgerichtete Methode der Gruppendiskussion hat sich diesbezüglich im Flottenversuch Elektromobilität als sehr erkenntnisbringend erwiesen.

7.2 SELECT (Laufzeit Juli 2012 bis Juni 2015)

Projektbeschreibung

Das Projekt „SELECT – Suitable ELEctromobility for Commercial Transport“ untersucht, inwieweit der Einsatz von Elektrofahrzeugen eine Alternative für einen umweltfreundlichen Wirtschaftsverkehr in der Stadt sein kann. Das Projekt wird von der Europäischen Union sowie nationalen Initiativen in Österreich, Dänemark und Deutschland im Rahmen des ERA-NET TRANSPORT Programms (Call Electromobility+) gefördert. Das DLR-Institut für Verkehrsforschung koordiniert das Projekt (DLR 2013a).

Ziele des Projektes sind a) die Ermittlung der technischen und praktischen Nutzeranforderungen zum Einsatz von Elektrofahrzeugen im Wirtschaftsverkehr sowie b) die Entwicklung von Methoden zum optimierten Einsatz gemischter Fahrzeugflotten. Darüber hinaus werden notwendige ökonomische, infrastrukturelle sowie politische Voraussetzungen analysiert, um einen möglichst reibungslosen Wechsel von konventionellen Fahrzeugen zu Elektrofahrzeugen realisieren zu können.

Verwertung der Ergebnisse des Flottenversuchs Elektromobilität

Ausgangspunkt für SELECT sind Forschungsergebnisse, die in den Projekten Flottenversuch Elektromobilität sowie „E-City-Logistik“ (Projekt im Rahmen der Berliner „Modellregion Elektromobilität“) erarbeitet

wurden. Beispielsweise werden Befragungsmethoden weiterentwickelt, welche im Projekt in Erhebungen zur Ermittlung der Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten sowie der branchen- und betriebsspezifischen Voraussetzungen eingesetzt werden. Die betriebliche Befragung bildet die Schnittstelle zum Flottenversuch Elektromobilität, da die Identifikation der Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen im Wirtschaftsverkehr im Mittelpunkt steht. Einen weiteren Anknüpfungspunkt bildet eine geplant GPS-gestützte Erhebung von Fahrdaten, die in ähnlicher Weise auch im Flottenversuch Elektromobilität durchgeführt wurde. Darauf aufbauend werden in einem weiteren Schritt Methoden für die Erstellung von Planungswerkzeugen entwickelt, die den speziellen Bedürfnissen des Wirtschaftsverkehrs gerecht werden und Flottenbetreiber beim effizienten Einsatz von Elektrofahrzeugen unterstützen. Wie auch im Flottenversuch Elektromobilität ist die fortlaufende, begleitende Diskussion mit den (potenziellen) Nutzern der Elektrofahrzeuge sowie mit den Entscheidungsträgern aus Politik und Planung vorgesehen. Durch den expliziten Fokus des Projekts SELECT auf den Wirtschaftsverkehr können durch den Flottenversuch Elektromobilität identifizierte Wissenslücken zielgerichteter beforscht werden.

7.3 „Ich ersetze ein Auto“ (Laufzeit März 2012 bis Mai 2014)

Projektbeschreibung

Dass Elektromobilität nicht nur für Pkw eine Alternative bildet, wird im Projekt „Ich ersetze ein Auto“ gezeigt (DLR 2013b).

In diesem Projekt untersucht das DLR-Institut für Verkehrsforschung das Potenzial von Elektro-Lastenrädern, die im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative in die tägliche Auslieferung von Kuriersendungen integriert werden. Elektro-Lastenräder ermöglichen bei einer Zuladung von bis zu 100 kg eine höhere Liefergeschwindigkeit als nichtmotorisierte Lastenräder. Es gilt, diese Innovation im städtischen Wirtschaftsverkehr insbesondere im Hinblick auf förderliche Rahmenbedingungen und Einsatzspektren zu untersuchen. Es wird vermutet, dass insbesondere urbane Teilräume die Möglichkeit bieten, bis zu 85% der Autokurierfahrten zu ersetzen und somit eine deutliche Emissionsreduktion zu erzielen. Dadurch kann auch die Infrastruktur entlastet und der Flächenverbrauch verringert werden. Die Unterstützung von Kurierunternehmen bei der Ermöglichung des Ersatzes von Kraftfahrzeugen und die damit verbundene Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen sind die übergeordneten Ziele des Projektes.

Hierfür werden während der zweijährigen Projektlaufzeit folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Wie geeignet sind Elektro-Lastenräder, CO₂ Emissionen und umweltbelastendes Verkehrsaufkommen in Großstädten zu reduzieren und welche Einsatzzwecke im städtischen Kurier- und Expressdienst bieten das größte Potenzial für dieses Transportmittel?
- Welcher Anteil an Autokurierfahrten könnten prinzipiell von Kurieren auf Elektro-Lastenrädern übernommen werden?
- Welche Möglichkeiten ergeben sich aus dem Einsatz von Elektro-Lastenrädern für städtische Kurierdienste und ihre Kunden?
- Welche Treiber und Hemmnisse beeinflussen den Umstieg auf ein Elektro-Lastenrad aus Sicht der selbstständigen Kurierfahrer(innen)?

Im Projekt werden in sieben deutschen Großstädten insgesamt 40 zweirädrige Elektro-Lastenräder vom Typ „iBullitt Pedelec Solar“ der Firma Urban-e eingesetzt. Der praktische Einsatz der Elektro-Lastenräder dauert zwei Jahre und begann im Sommer 2012. Um den Nutzen der Elektro-Lastenräder zu bewerten, werden Auftragsdatensätze und Routenverläufe der Sendungen vor und während des Einsatzes der Fahrzeuge analysiert. Des Weiteren wird durch empirische Erhebungen in Form von Befragungen der Kurierfahrer(innen), Techniker(innen), Einsatzleitenden und Firmenkund(inn)en im Vorfeld sowie im Verlauf des Projekts erhoben, wie dieses innovative Transportmittel akzeptiert und bewertet wird.

Verwertung der Ergebnisse des Flottenversuchs Elektromobilität

In den Projekten Flottenversuch Elektromobilität sowie „Ich ersetze ein Auto“ wird die Nutzerakzeptanz zweier unterschiedlicher (elektromobiler) Fahrzeugarten erhoben. Dennoch ist es möglich, die Interviewleitfäden für Fahrer(innen) und Betriebsleiter(innen) des Flottenversuchs Elektromobilität in gegebenenfalls angepasster Form anzuwenden. Insbesondere Fragen zur generellen Einschätzung der Elektromobilität sowie nicht-fahrzeugspezifische Fragestellungen fließen in die Empirie ein. Ein Schwerpunkt im Rahmen des Flottenversuchs Elektromobilität lag auf Nutzung und Auswertung der CAN-Bus-Daten einschließlich der GPS-Koordinaten der Fahrten. Hier bietet sich eine Schnittstelle zwischen den beiden Projekten, da für „Ich ersetze ein Auto“ eine Routenverfolgung der Fahrzeuge geplant ist. Die Erfahrungen aus der Auswertung wie das Auszählen und Aggregieren der CAN-Bus-Daten können an dieser Stelle einfließen. Dies betrifft zunächst die Genauigkeit und Kalibrierung der Daten, aber auch die Erstellung von Wegeprotokollen und -ketten. Überdies ermöglicht es auch die Untersuchung von Forschungsfragen zu möglichen Ladeorten und Strombedarfen.

7.4 WiMobil (Laufzeit September 2012 bis August 2015)

Projektbeschreibung

Neue Car-Sharing Konzepte und Elektromobilität gehören zu den wichtigsten Innovations- und Forschungsfeldern der letzten Jahre im Bereich Verkehr. In Zukunft werden energieeffiziente und emissionsfreie Mobilitätsdienstleistungen für ein neues umweltorientiertes Mobilitätsparadigma sorgen. Elektromobilität und Car-Sharing sind hierbei sehr wichtige Lösungsansätze, in Zukunft vor allem auch in der Form von „Elektro-Car-Sharing“.

Ziele des Vorhabens WiMobil in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sind die Identifikation und Quantifizierung der Mobilitäts-, Verkehrs- und Umweltwirkungen von (E-)Car-Sharing-Systemen mittels umfangreicher empirischer Datenerhebungen in den Testfeldern Berlin (DriveNow: 40 Fahrzeuge; Flinkster: 40 Fahrzeuge) und München (DriveNow: 15 E-Fahrzeuge, Flinkster: 20 Fahrzeuge). Das Ziel soll durch den kombinierten Einsatz verschiedener Analyseinstrumente in statistisch relevanten Stichprobengrößen in mehreren Untersuchungswellen erreicht werden. Die zum Einsatz kommenden Analyseinstrumente umfassen Backenddaten (Datenbankdaten) der (E-)Car-Sharing-Systeme, eine GPS-Datenanalyse der Fahrzeuge und Buchungs- und Reservierungsdaten der Car-Sharing-Anbieter, ein personenbezogenes Mobilitätstracking sowie Befragungen der (E-)Car-Sharing-Nutzer(innen)

Das Vorgehen soll einer Darstellung allgemeiner Trends dienen und die Wirkungen von (E-)Car-Sharing-Systemen auf Verkehr und Mobilität, Parkdauer, Emissionen, Motorisierungsgrad und resultierende Ladesäulenbedarfe ermitteln. Die Wirkungen der (E-)Car-Sharing-Systeme werden abschließend im Rahmen einer Gesamtevaluation integriert und szenariobasiert für die Zukunft für die jeweiligen Ballungsräume hochgerechnet. Darüber hinaus ist es Ziel, einen Leitfaden zu entwickeln, der es Städten und Kommunen ermöglichen soll, (E-)Car-Sharing effektiv in eine nachhaltig integrierte Verkehrsplanung einzugliedern.

Verwertung der Ergebnisse des Flottenversuchs Elektromobilität

Gemeinsamkeiten der beiden Projekte liegen in der Ermittlung von Nutzer(innen)verhalten und Akzeptanz für Elektromobilität. Über das Projekt WiMobil können Nutzergruppen der Elektromobilität im Bereich (E-)Car-Sharing ermittelt und Untersuchungen zur Veränderung des Mobilitätsverhaltens durchgeführt werden. Ein wesentlicher Unterschied der Projekte liegt im Untersuchungshintergrund: Im Projekt WiMobil wird die Nutzung verschiedener Fahrzeugkonzepte (auch nicht-elektrischer) im Car-Sharing-Kontext untersucht. Der Flottenversuch Elektromobilität beschränkte sich auf die Untersuchung des alltäglichen Mobilitätsverhaltens unter Einsatz von Plug-In-Hybridautos in privaten Haushalten und Betrieben. Im Projekt WiMobil wird auf die Erfahrungswerte der im Flottenversuch Elektromobilität entwickelten Methoden zurückgegriffen. So wird neben automatischen Datenerhebungsverfahren im Fahrzeug ebenfalls eine

Nutzerbefragung durchgeführt. Mithilfe der Befragung werden zum einen die Nutzer(innen) von insbesondere E-Car-Sharing-Systemen näher charakterisiert. Zum anderen wird das konkrete Mobilitätsverhalten – hierbei insbesondere die Art und Weise der Integration von E-Car-Sharing in die alltägliche Mobilität – sowie deren Wandel im Laufe der beiden Untersuchungswellen erfasst. Neben Fragen zum generellen Mobilitätsverhalten beinhaltet die Online-Befragung spezifische Fragen zur E-Car-Sharing-Nutzung, welche sich zum Teil an den Inhalten der Befragung des Flottenversuchs Elektromobilität orientieren.

Eine Erweiterung der Methodik ergibt sich durch die im Projekt WiMobil eingesetzte On-Car-Befragung. Mittels einer Kurzbefragung im Fahrzeug ist es möglich, Nutzer(innen) am Ende einer Fahrt über den Bordcomputer des Fahrzeugs zur Car-Sharing-Nutzung zu befragen. Von besonderem Interesse ist hierbei die Erhebung des Wegezwecks der durchgeführten Fahrt. Gerade bei der Ermittlung des Wegezweckes traten innerhalb der Befragung des Flottenversuchs Elektromobilität zum Teil Lücken auf, da diese mittels zeitlich begrenzter Wegetagebücher manuell erfasst wurden. Dementsprechend ist die für WiMobil entwickelte Vorgehensweise eine methodische Weiterentwicklung.

Auch im Projekt WiMobil werden Gruppendiskussionen zur Untersuchung individueller Einstellungs- und Bewertungsmuster der (E-)Car-Sharing-Systeme eingesetzt. Dabei kann auf Erfahrungen der Durchführung von Gruppendiskussionen im Rahmen des Flottenversuchs Elektromobilität zurückgegriffen werden. Darüber hinaus wird die Idee der zweiphasigen Befragung aus dem Flottenversuch auch in WiMobil Anwendung finden, da dadurch der Adaptionverlauf rekonstruiert und Veränderungen im Nutzerverhalten und Aussagen zur Habitualisierung untersucht werden können.

8 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Projekt BeMobility – Berlin elektroMobil (2009-2011)

Das Projekt BeMobility wurde im Rahmen des Regierungsprogramms „Elektromobilität in Modellregionen“ in der Modellregion Berlin durchgeführt. Im Mittelpunkt stand die Integration elektromobiler Fortbewegungsmittel in die bereits bestehende und gut ausgebauten Nahverkehrsstruktur. Dabei wurden neben organisatorischen und technischen Aspekten auch konkrete Geschäftsmodelle sowie die Akzeptanz entsprechender Angebote bei den Kunden untersucht.



Quelle: <http://www.bemobility.de>

Das Projekt war in drei Phasen gegliedert:

Ziel der **Laborphase** war es, unterschiedliche Mobilitätsbedürfnisse sowie potenzielle Lead-User zu identifizieren und dabei auch die Wohnstandorte zu berücksichtigen, um darauf aufbauend unterschiedliche Produktbilder entwickeln zu können. In diesem Zusammenhang wurden Gruppendiskussionen durchgeführt, um zusätzlich etwas über die Nutzerakzeptanz und die erforderlichen Rahmenbedingungen zu erfahren. Zudem wurde in dieser Phase eine Erprobungsplattform eingeführt. Auch eine Auswahl verschiedener Entleihstationen sowie die Ausstattung verschiedener Versuchsfahrzeuge mit Bordelektronik und die Schaffung passender Rahmenbedingungen, etwa die Einrichtung einer Servicestelle bei Schwierigkeiten mit dem Fahrzeug erfolgten zu diesem Zeitpunkt. Die Versuchsfahrzeuge standen allerdings teilweise noch nicht zur Verfügung, da es seitens der Hersteller zu Lieferengpässen kam.

In der **Entwicklungsphase** wurden die Lade- und Entleihmöglichkeiten ausgebaut. Allerdings offenbarten sich in diesem Rahmen einige Probleme: So erwies sich die Stellplatzgenehmigung im öffentlichen Raum als äußerst komplex. Aufgrund weiterer Lieferschwierigkeiten der Fahrzeuge war das eingerichtete Buchungssystem nur eingeschränkt nutzbar.

Zu Beginn der **Pilotphase** erwarben insgesamt 135 Personen die „Mobilitätskarte Berlin elektroMobil“. Drei Monate lang konnten die Kund(inn)en für jeweils 78 € monatlich das erweiterte Berliner Nahver-

kehrsnetz nutzen (Tarifgebiet ABC) und Fahrräder (einschließlich Pedelecs) sowie verschiedene Automodelle (sowohl Plug-In-Hybrid- als auch rein batterieelektrische Fahrzeuge) über das Car-Sharing-System „e-Flinkster“ leihen. Letztere konnten an über 100 Ladesäulen aufgeladen und dabei kostenfrei geparkt werden.

Soziodemographisch wich die Stichprobe nicht wesentlich von der Zusammensetzung bei anderen Versuchen ab (BE MOBILITY – BERLIN ELEKTROMOBIL, S. 62). So handelte es sich überwiegend um überdurchschnittlich gut gebildete männliche Arbeitnehmer zwischen 30 und 40 Jahren. Die Befragung zum Zeitpunkt T0 ergab, dass die meisten Befragten sehr positive Erwartungen in Bezug auf den Umweltnutzen, die Sicherheit oder das Fahrvergnügen hatten. Im Hinblick auf Anschaffungskosten sowie Lademöglichkeiten im privaten und öffentlichen Raum äußerten sie allerdings Bedenken.

Zum Zeitpunkt T1 (nach kurzer Nutzungsdauer) entlieh rund ein Zehntel der Mobilitätskartenbesitzer regelmäßig (an 1 bis 3 Tagen pro Woche) einen Wagen über das e-Carsharing-System. Insgesamt haben sich die positiven Erwartungen der Nutzer bestätigt. Verbesserungspotenzial sehen sie vor allem beim Ladekonzept. So wurde in offen gestellten Fragen etwa die Handhabung mit dem Kabel, dessen Unterbringung im Fahrzeug und die fehlende Exponiertheit der Lademöglichkeiten in Parkhäusern kritisiert.

Zum Zeitpunkt T2 hatte über die Hälfte der Befragten (56%) lediglich ein- oder zweimal ein Auto über das e-Carsharing-System genutzt, 8% wurden als „Vielfahrer“ identifiziert. Nur sehr selten (3%) wurde ein Fahrzeug für eine regelmäßig stattfindende Fahrt, wie etwa den Arbeitsweg, genutzt; häufiger handelte es sich beim Wegezweck um dienstliche Auswärtstermine (9%), Einkäufe (18%) oder Freizeitaktivitäten (31%). Auch Neugier spielte eine gewisse Rolle (10%). Zudem zeigte sich, dass die Teilnehmer(innen) auf kein spezielles Fahrzeugmodell fixiert waren, sondern je nach Situation und Anforderung entschieden. Auch in dieser Phase waren Umweltnutzen und Fahrvergnügen die größten Nutzungsanreize. Zudem waren die Nutzer(innen) weiterhin vom Komfort und der geringen Geräuschkulisse überzeugt. Positiv überrascht zeigten sie sich aufgrund des guten Fahrverhaltens (Beschleunigung, Geschwindigkeit). Dagegen hielt die negative Betrachtung der Lademöglichkeiten an oder verstärkte sich sogar.

Im Unterschied zum Flottenversuch Elektromobilität, bei dem die Versuchsfahrzeuge jeweils dauerhaft in private Haushalts- oder gewerbliche Unternehmenskontexte eingebunden waren, stand im BeMobility-Versuch die Integration elektromobiler Fahrzeuge in ein bestehendes öffentliches Nahverkehrsnetz im Vordergrund des Forschungsinteresses. Die vom Typ her unterschiedlichen Versuchsfahrzeuge wurden dabei den einzelnen Versuchsteilnehmern nicht direkt zugeordnet, sondern konnten von diesen im Rahmen des Car-Sharing-Systems bedarfsentsprechend ausgeliehen werden (Zeitraum, Fahrzeugtyp). In diesem Zusammenhang wurden zudem Erkenntnisse über mögliche Car-Sharing-Geschäftsmodelle gesammelt. Infolge dieses grundsätzlich anders gearteten Nutzungskonzeptes haben die meisten der befragten BeMobility-Nutzer(innen) innerhalb der Praxisphase wesentlich weniger Erfahrung mit den Fahrzeugen sammeln können als die Teilnehmer des TwinDRIVE-Flottenversuchs. Wenngleich nur sehr wenige Monatskartenbesitzer das Angebot der Elektroauto-Nutzung in Anspruch nahmen, wird der Versuch als Erfolg bewertet, da gezeigt werden konnte, dass es auch unter aktuellen Bedingungen bereits möglich ist, das Elektroauto in ein multimodales Verkehrskonzept einzubinden (BE MOBILITY – BERLIN ELEKTROMOBIL, S. 299).

Projekt eFlott – Online-Analyse des Nutz- und Ladeverhaltens von Elektrofahrzeugen im Flottenversuch (2010-2011)

Beim Flottenversuch eFlott (FFE 2011) handelt es sich ebenfalls um ein Projekt, welches im Rahmen des Regierungsprogramms „Elektromobilität in Modellregionen“ gefördert wurde. Es wurde in der Modellregion München durchgeführt. Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses standen Fragen zu Rahmenbedingungen für zukünftige Geschäftsmodelle im Bereich Elektromobilität.

Ursprünglich war geplant, zur Bearbeitung der Fragestellung auf Ladedaten zurückzugreifen, die im Zusammenhang mit der Nutzung von Versuchsfahrzeugen (Audi A1 e-tron) generiert werden sollten. Infolge der ausbleibenden Auslieferung der vorgesehenen Versuchsfahrzeuge wurden Anpassungen des Forschungsdesigns vorgenommen: Die Untersuchung wurde mit konventionellen Fahrzeugen durchgeführt und es wurden insgesamt 100 Bewegungsprofile von Privatpersonen sowie gewerblichen Nutzern gesammelt.

Die Auswertung der Nutzungsprofile zeigte, dass zum Untersuchungszeitpunkt ein rein batterieelektrisches Fahrzeug nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur für sehr wenige Personen (9%) rentabel wäre. Laut prognostizierten Szenarien werde dieser Wert aber bis zum Jahr 2020 deutlich anwachsen, so dass dann bereits 40-50% der Nutzer finanziell von einem elektromobilen Fahrzeug profitieren könnten oder aber wenigstens nicht schlechter gestellt wären als mit einem konventionellen Fahrzeug. Ladedaten wurden nur in sehr kleinem Umfang über Fahrzeuge erhoben, die selbst nicht Teil des Flottenversuchs waren, jedoch Ladesäulen im Großraum München nutzten. Diese konnten mithilfe einer Chipkarte bedient werden, welche zuvor bei E.ON beantragt werden musste. Die Analyse der Ladedaten zeigte, dass die Nutzer durchschnittlich knapp einmal pro Woche eine der 23 Ladesäulen nutzten. Es konnte keine Steigerung der Nutzung im Versuchszeitraum festgestellt werden.

Weitere Untersuchungen zum Ladeverhalten zeigten darüber hinaus, dass eine geplante Rückspeisung von Energie ins öffentliche Stromnetz (Vehicle2Grid) mit einer notwendigen Poolgröße von 500 bis 1200 Fahrzeugen für die Teilnahme am Primärregelleistungsmarkt (Markt der Netzbetreiber zur kurzfristigen Regulierung von Stromschwankungen) notwendig seien.

Bezüglich der allgemeinen Notwendigkeit der Bereitstellung öffentlicher (Schnell)Ladeinfrastruktur konnte gezeigt werden, dass Schnellladesäulen keine signifikanten Vorteile für die Nutzer aufwiesen. Dies steht in Einklang mit den Ergebnissen im Flottenversuch Elektromobilität. Die Standzeiten sind in der Regel entsprechend lang, um eine Ladung mit normaler Geschwindigkeit zu ermöglichen. Allerdings erwarten Nutzer(innen) im Projekt eFlott wie auch im Flottenversuch Elektromobilität trotz fehlender objektiver Notwendigkeit dennoch Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum, um Vertrauen in das System Elektromobilität zu schaffen.

Projekt „MINI E Berlin powered by Vattenfall“ (2008-2010)

Hauptanliegen des MINI E-Flottenversuchs war es, die Kundenerwartung und -akzeptanz in Bezug auf Elektromobilität sowie das Verhalten im Umgang mit dieser zu untersuchen. Von besonderem Interesse waren dabei potentielle Einstellungs- und Verhaltensänderungen, die mit einer zunehmenden Erfahrung im Umgang mit einem rein elektrischen Pkw gegebenenfalls einhergehen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten zur Steigerung des Marktpotenzials elektromobiler Fahrzeugkonzepte herangezogen werden können (vgl. KREMS 2011: 4).

Versuchsfahrzeug war der MINI E von BMW, der in Privathaushalten (40 Fahrzeuge) und im Bereich von Firmen- und Car-Sharing-Flotten (10 Fahrzeuge) genutzt wurde. Dabei wurde die Feldphase in zwei



Quelle: <http://www.lfe.mw.tum.de/de/research/projects/eflott>



Quelle: http://www.minispace.com/de_de/projects/electric-mini-e/

sechsmonatige Zeiträume gestaffelt.

Während des Versuchs wurde, wie beim TwinDRIVE-Flottenversuch, auf einen Methodenmix zur Gewinnung von subjektiven und objektiven Daten (vgl. KREMS 2011, S. 6) gesetzt. Die Teilnehmer(innen) wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten befragt: Vor der Übergabe des Elektroautos, nach 3 Monaten Alltagspraxis sowie nach Beendigung der Testphase. Zudem waren die Nutzer(innen) aufgerufen, Vegetagebücher zu führen, um eventuelle Veränderungen im Fahrverhalten beobachten und nachvollziehen zu können. Darüber hinaus kamen auch assoziative Methoden wie ‚lautes Denken‘ zur Anwendung. Informationen über die Uhrzeit, gefahrene Kilometer, Geschwindigkeiten, Temperatur-, Verbrauchs- und Fahrdaten wurden über Datenlogger erhoben (vgl. KREMS 2011, S. 26).

Für den Großteil der Privatpersonen war die Verringerung der Umweltbelastung die Hauptmotivation zur Teilnahme am Flottenversuch. Dagegen spielten – anders als beim TwinDRIVE-Flottenversuch – wirtschaftliche Gründe eher eine untergeordnete Rolle. Generell war die Akzeptanz gegenüber der Elektromobilität bei den Teilnehmer(inne)n schon zu Beginn der Studie hoch, was insofern plausibel ist, als dass für Personen mit negativ geprägten Einstellungen ein Interesse an einer Versuchsteilnahme als eher unwahrscheinlich angenommen werden kann. Dennoch gab es partielle Bedenken, die besonders die Reichweite der Batterie betrafen.

Im Laufe des Versuchs wurde allerdings deutlich, dass die Reichweite im Regelfall für die alltägliche Nutzung ausreichend war. Während der Testphase kam das Fahrzeug daher auch sehr häufig (bei mehr als 80% der Wege) zum Einsatz. Als Grund für den Verzicht auf die Nutzung des MINI E wurde vornehmlich das begrenzte Platzangebot im Zusammenspiel mit der geringen Zuladungsmöglichkeit genannt. Besonders am Wochenende war dieser Umstand aufgrund der für diesen Zeitraum typischen Wegezwecke von großer Bedeutung.

Insgesamt nahm die Nutzerakzeptanz für Elektromobilität im Laufe des Flottenversuchs weiter zu, obwohl sich teilweise auch Probleme im praktischen Umgang mit den Versuchsfahrzeugen abzeichneten. So wurde von einigen Nutzer(inne)n das Ladekonzept bemängelt. Als störend erachteten sie dabei vor allem das hohe Gewicht und das „Verschmutzungspotenzial“ des Kabels, dessen schlechte Verstaubarkeit sowie die nicht vorhandene Möglichkeit, das Kabel zu sichern. Darüber hinaus wurden die Teilnehmer(innen) während des Versuchs offenbar auch für bestimmte Aspekte weiter sensibilisiert: So empfanden diese Elektromobilität schließlich nicht mehr als hinreichende Bedingung, um einen Umweltnutzen sicherzustellen, sondern erkannten eine notwendige Verbindung zu regenerativ erzeugter Energie. Die meisten positiven Erwartungen bezüglich Akustik, Sicherheit, Alltagstauglichkeit oder Fahrverhalten bestätigten sich aus Sicht der Nutzer(innen) jedoch.

Ein deutlicher Unterschied zum TwinDRIVE-Flottenversuch zeigte sich in der Zusammensetzung der Teilnehmer(innen) bezogen auf die Haushaltssituation: Während die Teilnehmer(innen) des Mini E-Flottenversuchs größtenteils in Zwei-Personen-Haushalten lebten, wohnten in 65% aller am TwinDRIVE-Flottenversuche teilnehmendem Haushalte minderjährige Kinder. Diese Tatsache könnte möglicherweise der Größe der Versuchsfahrzeuge geschuldet sein: Beim MINI E handelte es sich infolge des Batterieeinbaus im Bereich der Rückbank faktisch einen Zweisitzer mit begrenzter Zuladungsmöglichkeit, der für Familien mit Kindern tendenziell ungeeignet erscheint oder nur als Zweitwagen in Frage kommt.

Ein weiterer Unterschied bestand in der Antriebsart beider Fahrzeuge. Während der MINI E ausschließlich über einen reinen Elektroantrieb verfügte, handelte es sich beim TwinDRIVE um ein Plug-In-Hybrid-Fahrzeug mit deutlich geringerer elektrischer Reichweite, der aber zusätzlich mit einem konventionellen Antriebsstrang ausgestattet war. Dennoch äußerten die Nutzer(innen) beider Fahrzeugkonzepte in beiden Versuchen Bedenken bezüglich der Batteriereichweite. Allerdings erwies sich die Reichweite des MINI E mit rund 200 km für den alltäglichen Gebrauch in der Regel als mehr als ausreichend, was beim TwinDRIVE bei einigen Nutzungsprofilen mit längeren täglichen Strecken nicht immer gegeben war. Deshalb wurde bei letzterem häufig auf den Verbrennungsmotor zurückgegriffen. Andere Fahrzeuge kamen an Stelle des MINI E hingegen eher am Wochenende und dann besonders aus Platzgründen zum Einsatz. Die hohe elektrische Reichweite des Mini E führte schließlich dazu, dass die Nutzer das Fahrzeug in

der Regel lediglich alle zwei Tage an das Stromnetz anschlossen. Im Vergleich dazu wurde der Twin-DRIVE aufgrund seiner deutlich geringeren elektrischen Reichweite wesentlich häufiger geladen.

9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

- KIHM, A., TROMMER, S. & M. MEHLIN (2013): Calculating Potential Emission Reductions Through Introduction of Electric Vehicles. Proceedings of the TRB Annual Meeting 2013, 13.-17. Januar 2013, Washington (DC), USA. Paper ID: 13-3871
- TROMMER, S., KIHM, A. & B. LENZ (2012): Market shares and prospects of electric vehicles in Europe: The case Germany. Plug-In Conference 2012, 23.-26. April 2012, San Antonio, USA.
- TROMMER, S. (2012): Impulsbeitrag zu Anforderungen an die Elektromobilität aus Nutzersicht - Erkenntnisse aus der Akzeptanzforschung. Autoforum VI – Elektromobilität in Berlin-Brandenburg – ein Resümee zwischen Modellregion und Schaufenster, 1. März 2012, Berlin, Deutschland.
- LENZ, B., TROMMER, S. & KIHM, A. (2012): Impact of policy measures on the market development for electric vehicles. Annual meeting of the Association of American Geographers (AAG), New York, USA.
- HEBES, P., TROMMER, S. & A. KIHM (2011): Elektromobilität: Analyse des Marktpotentials in verschiedenen Raumtypen. Jahrestagung DGfG Arbeitskreis Verkehr 2011, 21.-22. Juli 2011, Tübingen, Deutschland.
- PEHNT, M., HELMS, H., LAMBRECHT, U., DALLINGER, D., HEINRICHS, H., KOHRS, R., LINK, J., TROMMER, S., POLLOK, T. & P. BEHRENS (2011): Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft, 35 (3). Vieweg Verlag. DOI 10.1007/s12398-011-0056-y. ISSN 0343-5377.
- TROMMER, S., KIHM, A., HEBES, P. & M. MEHLIN (2010): Policy driven demand for sales of plug-in hybrid electric vehicles and battery-electric vehicles in Germany. European Transport Conference 2010, 11.-13. Oktober 2010, Glasgow, Großbritannien.
- TROMMER, S. (2010): Nutzerorientierte Begleitforschung im Projekt Flottenversuch Elektromobilität. Universitätstagung Verkehrswesen 2010, 19.-21. September 2010, Berlin, Deutschland.
- KIHM, A., TROMMER, S., HEBES, P. & M. MEHLIN (2010): Maximum economic market potential of PHEV and BEV vehicles in Germany in 2015 to 2030 under different policy conditions. International Advanced Mobility Forum 2010, 9.-10. März 2010, Geneva, Switzerland.

10 Literatur

- ANDERMANN, M. (2010) Feedback on ARB's Zero Emission Vehicle Staff Technical Report of 11/25/2009 including attachment A: Status of EV Technology Commercialization, Advanced Automotive Batteries.
- BAUM, H.; DOBBERSTEIN, J.; SCHULER, B. (2011) Nutzen-Kosten-Analyse der Elektromobilität, Kölner Diskussionsbeiträge zur Verkehrswissenschaft, Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln.
- BCG (BOSTON CONSULTING GROUP) (2010) Batteries for Electric Cars – Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020.
- BE MOBILITY – BERLIN ELEKTROMOBIL (2011): Gemeinsamer Abschlussbericht des Projektkonsortiums. Internetressource/URL [Zugriff am 26.06.2013]: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/715680013.pdf>

- BMBF (Hrsg.) (2004) Alternative Antriebe und Hybridkonzepte. Positionspapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Internetressource/ URL: http://www.bmbf.de/pub/hybrid_position.pdf [Zugriff am 26.03.2008]
- BMW, BMU (2007) Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. Internetressource/ URL [Zugriff am 05.02.2013]: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gesamtbericht_iekp.pdf
- BMW; PROGNOSE; EWI; GWS (2010) Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.
- BVU; INTRAPLAN CONSULT (2007) Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (VP 2025). München, Freiburg. Gutachten im Auftrag des BMVBS.
- CAMPBELL, A. R.; RYLEY, T.; THRING, R. (2012) Identifying the early adopters of alternative fuel vehicles: A case study of Birmingham, United Kingdom, Transportation Research Part A, 46 (2012) 1318-1327.
- DAUG (1996) Erprobung von Elektrofahrzeugen der neuesten Generation auf der Insel Rügen und Energieversorgung für Elektrofahrzeuge durch Solarenergie und Stromtankstellen. Abschlussbericht. Forschungsprojekt gefördert vom Bundesministerium Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und vom Wirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern, Förderkennzeichen TV 9225 und 0329376A. Bearbeitung: DAUG - Deutsche Automobilgesellschaft mbH (Braunschweig), HTW - Hochschule für Technik und Wirtschaft/ Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik (Dresden), ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH u. a.
- DESTATIS (2009) Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- DESTATIS (2012a) Bevölkerung und Erwerbstätigkeit: Haushalte und Familien – Ergebnisse des Mikrozensus. Ausgabe 2011. Fachserie 1, Reihe 3. Internetressource/ URL [Zugriff am 27.06.2013]: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/HaushalteMikrozensus/HaushalteFamilien2010300117004.pdf?__blob=publicationFile
- DESTATIS (2012b) Bildungsstand der Bevölkerung. Ausgabe 2012. Internetressource/ URL [Zugriff am 27.06.2013]: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/BildungForschungKultur/Bildungsstand/BildungsstandBevoelkerung5210002127004.pdf?__blob=publicationFile
- DESTATIS (2012c) Wirtschaftsrechnungen. Laufende Wirtschaftsrechnungen. Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. Ausgabe 2010. Fachserie 15, Reihe 1. Internetressource/ URL [Zugriff am 27.06.2013]: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/LfdWirtschaftsrechnungen/EinnahmenAusgabenprivaterHaushalte2150100107004.pdf?__blob=publicationFile
- DLR (2013a) Projektbeschreibung SELECT. Internetressource/ URL [letztes Update: 15.04.2013, letzter Zugriff: 25.04.2013]: http://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabid-2974/1445_read-35688/
- DLR (2013b) Projektbeschreibung Ich ersetze ein Auto. Internetressource/ URL [letztes Update: 15.04.2013; letzter Zugriff: 25.04.2013]: <http://www.ich-ersetze-ein-auto.de>
- DLR; KIT (2011) Abstimmung der Energie und Verkehrsszenarien bis 2030. Arbeitspapier des Projektes „Flottenversuch Elektromobilität“. Unveröffentlicht.

- DÜRSCHNER, C. (1996) Vergleich und Wertung der bisherigen Flottenversuche mit Elektro- und Hybridfahrzeugen in Europa mit dem Ziel, das Konzept für einen mit EU-Mitteln geförderten Flottenversuch in der Stadt Erlangen auszuarbeiten. Reihe "Wissenschaftliche Arbeiten für eine so-larmobile Zukunft", Bd. 4.
- ELCIDIS (2002) ELCIDIS - Electric Vehicle City Distribution. Final Report. Projekt im Auftrag der Europäischen Kommission/ DG Energy, THERMIE-Programm, TR 0048/97.
- ELECTRIFICATION COALITION (2009) Electrification Roadmap – Revolutionizing Transportation and Achieving Energy Security. Washington. Internetressource/ URL [Zugriff am 05.07.2013]: http://www.electrificationcoalition.org/sites/default/files/SAF_1213_EC-Roadmap_v12_Online.pdf
- EMNID-INSTITUT (o. J.) KONTIV 1989. 3 Bände: Bericht zur Methode, Anlagen, Tabellenband.
- EMOBIL (2012) Flottenversuch Elektromobilität. Daten der Nutzerbefragung. Erhoben durch DLR Institut für Verkehrsforschung. Unveröffentlicht.
- EMOBIL CAN-Bus (2012) Flottenversuch Elektromobilität. CAN-Bus-Daten. Bereitgestellt durch VW Volkswagen AG, Konzernforschung. Unveröffentlicht.
- EUROPEAN COMMISSION (2009) Directive 2009/29/EC.
- FfE (FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT E.V.) (2011) eFlott: Wissenschaftliche Analysen zur Elektromobilität (Langfassung).
- GERPOTT, T., MAHMUDOVA, I. (2009), Einflussfaktoren der Preistoleranz für Ökostrom – Eine empirische Untersuchung privater Stromkunden in Deutschland. Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht, 32: 33-65.
- GJØEN, H.; HÅRD, M. (2002) Cultural Politics in Action: Developing User Scripts in Relation to the Electric Vehicle. In: *Science, Technology & Human Values*. Jg. 27, Nr. 2, S. 262-281.
- HAUTZINGER, H., HEIDEMANN, D., KRÄMER, B. (1992), Fahrleistungserhebung 1990 – Ziele Datengrundlagen und erste Ergebnisse. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), H. 260.
- HAUTZINGER, H., STOCK, W., MAYER, K. u. a. (2005), Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung 2002. Bericht zum Forschungsprojekt 82.201/2001. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Reihe Verkehrstechnik, Heft V 120.
- HAUTZINGER, H.; TASSAUX, B.; HAMACHER, R. (1992) Elektroauto und Mobilität. Das Einsatzpotential von Elektroautos. Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (FE 70379/91).
- HERMANN, H; HARTHAN, R.; LORECK, Ch. (2011) Ökonomische Betrachtung der Speichermedien. Arbeitspaket 6 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen. Internetressource/ URL [Zugriff am 9.7.2013]: <http://www.oeko.de/oekodoc/1339/2011-452-de.pdf>
- IEA (International Energy Agency) (2010) World Energy Outlook 2010. Internetressource/ URL [Zugriff am 21.06.2013]: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf>
- infas, DLR (2010a) MiD – Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht: Struktur – Aufkommen - Emissionen – Trends. Internetressource/ URL [Zugriff am 05.02.2013]: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_1.pdf
- infas, DLR (2010b) MiD – Mobilität in Deutschland 2008. Tabellenband. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Tabellenband.pdf
- infas, DLR (2010c) MiD – Mobilität in Deutschland 2008. Basisdatensatz. Erhebung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). ge: <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>. Datenbezug über www.clearingstelle-verkehr.de.

- infas, DLR (2010d) MiT 2008 – Mobilität in Tabellen. Webanwendung zur Auswertung der Erhebung Mobilität in Deutschland 2008 (MiD 2008).
http://mobilitaet-in-deutschland.de/02_MiD2008/mit2008.htm
- INFRATEST (1991) Automotiv. Ergänzungserhebung zur Nutzung von Pkw und Krafträdern. Forschungsprojekt FP 8902/3 im Rahmen des Forschungsprojektes FP 8902 "Fahrleistungserhebung 1990" der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).
- IVS, IVT, WVI, KBA, P.U.T.V. (2003) Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland – KiD 2002. Public Use File. Erhebung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Projekt-Nr. 70.0682/2001. Datenbezug über www.clearingstelle-verkehr.de.
- KALHAMMER F.R.; KOPF, M.; SWAN, H.; ROAN, P. (2007) Status and Prospects for Zero Emission Vehicles, Wien.
- KBA (KRAFTFAHRT-BUNDESAMT) (2009) Statistik - Fahrzeugzulassungen: Neuzulassungen Jahr 2008.
- KBA (KRAFTFAHRT-BUNDESAMT) (2013a) Bestand an Personenkraftwagen nach ausgewählten Kraftstoffarten, [Zugriff am 08.07.2013]:
http://www.kba.de/clin_031/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/b_u_mwelt_z_teil_1.html
- KBA (KRAFTFAHRT-BUNDESAMT) (2013b) Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach ausgewählten Kraftstoffarten, [Zugriff am 08.07.2013]:
http://www.kba.de/clin_031/nn_191064/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_u_mwelt_z_teil_1.html
- KIHM, A.; TROMMER, S. und MEHLIN, M. (2013) Calculating potential emission Reductions through introduction of electric vehicles. Proceedings of the TRB Annual Meeting 2013, 13.-17. Jan 2013, Washington (DC), USA.
- KNIE, A.; HÄRD, M.; QUÉRÉ, M.; STREICHER, W.; TRUFFER, B. u. a. (1997) Consumer User Patterns of Electric Vehicles. Discussion Paper FS II 97-105 der Veröffentlichungsreihe der Abteilung "Organisation und Technikgenese" des Forschungsschwerpunkts Technik-Arbeit-Umwelt am WZB (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung).
- KNOERR, W. (2011) TREMOD - Fortschreibung Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (official database of the German Ministries for emission reporting). Internetressource/ URL [letztes Update: 11.04.2012; letzter Zugriff: 25.04.2013]:
http://www.ifeu.de/english/index.php?bereich=ver&seite=projekt_tremod
- KOSOW, H.; GAßNER, R. (2008) Methods of Future and Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria. Studies no 39, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Bonn.
- KREMS, J. F. (2011) MINIEVatt Berlin – Freude am umweltgerechten Fahren, Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen – MINI E 1.0 Berlin (Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0003). Chemnitz: Technische Universität Chemnitz.
- NPE (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT) (2011) Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Berlin.
- PEHNT, M.; HELMS, H.; LAMBRECHT, U.; DALLINGER, D.; HEINRICHS, H.; KOHRS, R.; LINK, J.; TROMMER, S.; POLLOK, T.; BEHRENS, P. (2011) Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft, 35 (3). DOI 10.1007/s12398-011-0056-y.
- PEREN, F. W.; SUNDERMANN, N.; WITTOP, B. (1997) Das Elektroauto und sein Markt.
- TROMMER, S. (2009) Flottenversuch Elektromobilität/ Arbeitspapier zu AP 1 – Auswahl der Versuchsteilnehmer im Personen- und Wirtschaftsverkehr. Unveröffentlichtes internes Arbeitspapier. DLR-Institut für Verkehrsforschung.

- TURRENTINE, T. S.; GARAS, D.; LENTZ, A.; WOODJACK, J. (2011) The UC Davis MINI E Consumer Study. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-11-05 (2011)
- UC DAVIS (2007) UC Davis Will Study Users of New Plug-in Hybrid Cars. News-Artikel vom 30.10.2007. Internet-Ressource/ URL:
<http://www.universityofcalifornia.edu/news/article/16734> [Zugriff am 26.03.2008]
- VW (Volkswagen AG) (2012) Flottenversuch Elektromobilität. CAN-Bus-Daten. Unveröffentlicht.
- WIETSCHEL, M.; BÜNGER, U. (2010) Vergleich von Strom und Wasserstoff als CO₂-Freie Endenergieträger. (Hrsg.) Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe 2010.
- WVI, IVT, DLR, KBA (2012) Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland. Scientific Use File. Erhebung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Projekt-Nr. 70.0829/2008. Datenbezug über www.clearingstelle-verkehr.de.