

Innovative Antriebe und Fahrzeuge - Elektro-Pkw und Nutzfahrzeuge



>> BEWERTUNG DER PRAXISTAUGLICHKEIT UND UMWELTWIRKUNGEN VON ELEKTROFAHRZEUGEN – ZWISCHENBERICHT

KORRIGIERTE VERSION

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



ERRATA

Februar 2015

Im Vergleich zur ursprünglichen Fassung wurden Korrekturen in folgenden Abbildungen, Tabellen und Textpassagen vorgenommen:

- Abb. 3.5, Seite 37
- Abb. 3.6, Seite 38
- Abb. 3.9, Seite 41
- Abb. 3.19, Seite 54
- Tab. 3.1, Seite 27
- Tab. 4.3, Seite 79
- Text, Seite 22: Fahrdistanz im zweiten Absatz von 632.990 km auf 628.990 km korrigiert.

>> INHALT

>> TABELLENVERZEICHNIS	4
>> ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
>> 1. EINLEITUNG	6
>> 2. ÜBERBLICK ÜBER DIE METHODIK UND DATENBASIS	13
2.1 METHODIK DER LANGZEITDATENERFASSUNG	13
2.2 METHODISCHE VORGEHENSWEISE DER ÖKOBILANZUNTERSUCHUNG	15
2.3 DATENBASIS	20
>> 3. ERGEBNISSE	26
3.1 ÖKOBILANZIELLER VERGLEICH KONVENTIONELLER UND ELEKTRISCHER REFERENZFAHRZEUGE	26
3.2 FAHRDATENAUSWERTUNG	34
3.2.1 NUTZUNGSINTENSITÄT	34
3.2.2 GESCHWINDIGKEITSPROFIL	39
3.2.3 FAHRDAUERN UND NUTZUNGSZEITEN	40
3.2.4 ENERGIEVERBRAUCH	43
3.2.5 START- UND END-STATE OF CHARGE (SOC)	47
3.3 LADEDATENAUSWERTUNG	49
3.3.1 LADEINTENSITÄT	50
3.3.2 LADEBEGINN NACH EINSATZKONTEXT	51
3.3.3 LADEENERGIE	53
3.3.4 START- UND END-STATE OF CHARGE (SOC) BEIM LADEN	55
3.4 ÖKOBILANZAUSWERTUNG DER REALDATEN	57
3.4.1 AUSWERTUNG REALDATEN: FAHRENERGIEVERBRAUCH	58
3.4.2 AUSWERTUNG REALDATEN: EINFLUSS DER FAHRLEISTUNG	63
>> 4. SCHLUSSFOLGERUNGEN	69
>> LITERATURVERZEICHNIS	74
>> ABKÜRZUNGEN	76
>> ANHANG	77
>> ANSPRECHPARTNER UND IMPRESSUM	82

>> TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1	Beschreibung der untersuchten Fahrzeugsegmente und Einsatzkontexte	13
Tabelle 2.2	Methodische Konzepte für die Fahrzeuganalyse	15
Tabelle 2.3	Betrachtete Umweltwirkungskategorien	17
Tabelle 2.4	Allgemeine Rahmenbedingungen für die Ökobilanzielle Betrachtung	18
Tabelle 2.5	Übersicht der Fahrdaten aus der Langzeitdatenerfassung (Segmente)	20
Tabelle 2.6	Übersicht Ladedaten aus der Langzeitdatenerfassung	23
Tabelle 3.1	Verbrauch und Fahrbetriebsemissionen der ermittelten Referenzfahrzeuge	27
Tabelle 3.2	Mittlere und maximale Fahrdistanzen der Segmente	36
Tabelle 3.3	Durchschnittlicher Energieverbrauch (Segmente)	44
Tabelle 3.4	Segment- und einsatzkontextspezifischer Fahrenergieverbrauch der Langzeitdatenerfassung	59
Tabelle 3.5	Segment- und einsatzkontextspezifische Fahrleistungen (Langzeitdatenerfassung)	64
Tabelle 4.1	Allgemeine Fahrdaten-Übersicht der Segmente Minis, Kompaktklasse und Utilities nach Einsatzkontext	77
Tabelle 4.2	Nutzungsübersicht der Segmente Minis, Kompaktklasse und Utilities nach Einsatzkontext	78
Tabelle 4.3	Durchschnittliche Tages- und Monatswerte von Kraftfahrzeugen in Deutschland	79
Tabelle 4.4	Durchschnittliche Monatswerte von Kraftfahrzeugen in Deutschland nach Segmenten	79
Tabelle 4.5	Übersicht Ladedaten des Segments Minis nach Einsatzkontext	80
Tabelle 4.6	Fahrzeugsegmentzuordnung	80

>> ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1	Regionale Demonstrationsvorhaben zur Elektromobilität in Deutschland	8
Abbildung 1.2	Fahrzeugverteilung nach Segmenten und Technologie	9
Abbildung 1.3	Forschungsfragen und Bewertungskriterien	11
Abbildung 2.1	Ökostrommix Deutschland 2010 nach [4]	19
Abbildung 2.2	Zeitliche Entwicklung der monatlichen Fahrleistung (2012 bis 2014, Segmente)	21
Abbildung 2.3	Zurückgelegte Fahrdistanz (Minis, Kompaktklasse und Kastenwagen nach Einsatzkontext)	22
Abbildung 2.4	Erfassten Ladeenergie (Minis nach Einsatzkontext)	24
Abbildung 3.1	Vergleich BEV MINI zu ICE Mini, Wirkungskategorie Treibhausgaspotential	29
Abbildung 3.2	Segment Minis - Wirkungskategorie GWP unter Einfluss der Fahrleistung	31
Abbildung 3.3	Vergleich Referenzfahrzeuge Mini-Segment, Versauerungspotential	33
Abbildung 3.4	Durchschnittliche und maximale monatliche Fahrleistung je Fahrzeug (Segmente nach Einsatzkontext)	35
Abbildung 3.5	Kumulierte Häufigkeit der Fahrdistanz je Fahrt (Segmente)	37
Abbildung 3.6	Kumulierte Häufigkeit der logarithmischen Fahrdistanz je Fahrt (Minis nach Einsatzkontext)	38
Abbildung 3.7	Verteilung der Geschwindigkeitsbereiche nach Fahrstrecke (Segmente)	39
Abbildung 3.8	Fahrbeginn je Fahrt (Segmente)	40
Abbildung 3.9	Fahrbeginn je Fahrt (Minis nach Einsatzkontext)	41
Abbildung 3.10	Wochengang der Fahrdistanz (Minis nach Einsatzkontext; Summe über KW 2 bis 39 2014)	42
Abbildung 3.11	Durchschnittlicher Energieverbrauch (Minis nach Einsatzkontext)	45
Abbildung 3.12	Einfluss der Außentemperatur auf den Verbrauch für ein ausgewähltes Fahrzeugmodell aus dem Minis-Segment	46
Abbildung 3.13	SOC bei Fahrtbeginn (Segmente)	47
Abbildung 3.14	SOC bei Fahrtbeginn (Minis nach Einsatzkontext)	48
Abbildung 3.15	Durchschnittliche monatliche Anzahl Ladungen je Fahrzeug (Minis nach Einsatzkontext)	50
Abbildung 3.16	Relative Häufigkeit Ladebeginn (Minis)	51
Abbildung 3.17	Kumulierte Häufigkeit Ladebeginn (Minis nach Einsatzkontext)	52
Abbildung 3.18	Durchschnittliche monatliche Ladeenergie je Fahrzeug (Minis nach Einsatzkontext)	53
Abbildung 3.19	Kumulierte Häufigkeit der Ladeenergie je Ladung (Minis nach Einsatzkontext)	54
Abbildung 3.20	Start- und End-SOC beim Laden (Minis nach Einsatzkontext)	56
Abbildung 3.21	Realdatenanalyse des Lebenszyklus des BEV-Mini	60
Abbildung 3.22	Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer (BEV-Minis)	62
Abbildung 3.23	Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer (BEV-Minis), Strommix Deutschland	65
Abbildung 3.24	Einsatzkontextspezifisches Treibhausgasreduktionspotential durch den Einsatz von Ökostrom (BEV-Minis)	67
Abbildung 3.25	Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer bei Verwendung des deutschen Ökostrommix (BEV-Minis)	68

>>1 EINLEITUNG

Ausgangspunkt-Elektromobilität und die Ziele der Bundesregierung

Klimaschutz und Energiewende zählen in Deutschland mit zu den wichtigsten gesamtpolitischen Aufgaben der kommenden Jahrzehnte. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 Prozent zu senken. Zu diesem Ziel muss auch der Verkehrssektor einen Beitrag leisten. Auf diesen entfallen etwa 20 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland, davon wiederum etwa 57 Prozent auf das Segment des motorisierten Individualverkehrs (Bezugsjahr 2010).

Elektrische Antriebe haben gegenüber konventionellen Antrieben deutliche Effizienzvorteile und können durch den Einsatz von Energie aus erneuerbaren Quellen einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehrssektor - insbesondere im motorisierten Individualverkehr - leisten. Die Förderung der Elektromobilität ist daher ein zentraler Bestandteil von Anstrengungen der Bundesregierung in Richtung einer nachhaltigen Energie- und Verkehrspolitik.

Vor diesem Hintergrund fördert das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die batterieelektrische Mobilität seit 2009 im Rahmen der „Modellregionen Elektromobilität“ und seit 2012 innerhalb des ressortübergreifenden Bundesprogramms „Schaufenster Elektromobilität“. Darüber hinaus besteht das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ seit 2007.

Das BMVI unterstützt mit diesen Maßnahmen einen technologieoffenen Ansatz (Batterie, Hybridtechnologie und Brennstoffzelle) in den Segmenten Straße, Schiene, Luftverkehr und Schifffahrt. Im Fokus der Förderung stehen Demonstrationsvorhaben zum Nachweis der technischen Realisierbarkeit und Praxistauglichkeit sowie regionale Modell- und Technologieprojekte.

Modellregionen Elektromobilität und wissenschaftliche Begleitforschung

In den Modellregionen des BMVI werden seit 2009 deutschlandweit in mehreren Städten und Regionen Fahrzeugflotten und Ladeinfrastrukturen aufgebaut, Geschäftsmodelle entwickelt und Akteure vor Ort für die erfolgreiche Entwicklung der Elektromobilität miteinander vernetzt.

Zudem kooperieren die Projektpartner bei den inhaltlichen Fragestellungen und werten die erhobenen Daten und Projektergebnisse im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung aus. In den sieben „Themenfeldern“ stehen insbesondere folgende Fragen im Mittelpunkt:

- Wie kann ein bedarfsgerechter Aufbau von Ladeinfrastruktur erfolgen?
- Wie verändert Elektromobilität die Praxis der Stadt- und Verkehrsplanung?
- Welche Praxiserfahrungen haben bisherige private und gewerbliche Nutzer gemacht?
- Wie kann ein Einsatz von Elektrofahrzeugen in kommunalen und gewerblichen Flotten, im Wirtschaftsverkehr und im ÖPNV erfolgen?
- Welche ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen sind erforderlich?

Ziel der wissenschaftlichen Begleitforschung ist es vor allem, Empfehlungen aus den Erfahrungen der Modellregionen abzuleiten und konkrete Handlungsleitfäden zu erstellen, die einem größeren Kreis von Akteuren zur Verfügung gestellt werden, um so den Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland zu unterstützen.

Der Schwerpunkt des vorliegenden Berichts liegt auf der Darstellung der technischen Bewertung der verfügbaren Fahrzeuge dieser Projekte mit Blick auf die Bewertungskategorien Praxistauglichkeit, Leistungsprofil und Umweltwirkungen und baut auf die Umweltbegleitforschung der Modellregionen aus den Jahren 2009 bis 2011 auf (1. Phase des Förderprogramms „Modellregionen Elektromobilität“ (MR 1.0); zweite Phase (MR 2.0) seit 2011). Die Arbeiten sind in die Arbeitsgruppe "Pkw und Nutzfahrzeuge" des Themenfeldes „Innovative Antriebe und Nutzfahrzeuge“ eingebettet. Neben diesem gibt es im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung weitere sechs Themenfelder zu zentralen Fragestellungen der Elektromobilität: Nutzerperspektive, Flottenmanagement, Sicherheit/ Batteriesicherheit, Infrastruktur, Stadt und Verkehr und Ordnungsrecht.

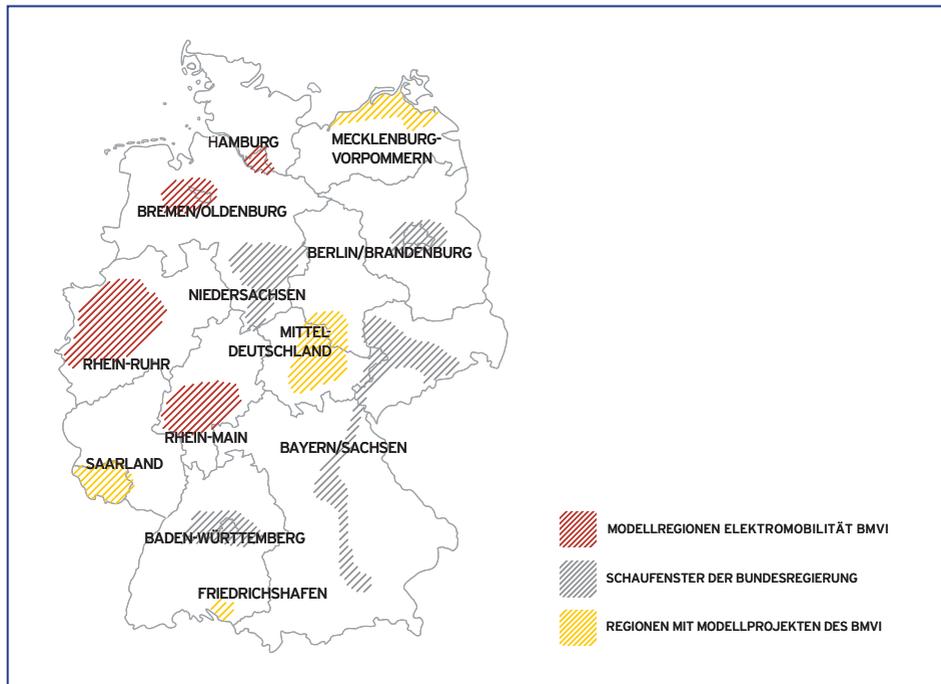


Abbildung 1.1: Regionale Demonstrationsvorhaben zur Elektromobilität in Deutschland

Fahrzeugeinsatz in den Modellregionen Elektromobilität

In den vergangenen Jahren konnten in den Projekten der Modellregionen nennenswerte Fahrzeugflotten und dazugehörige Infrastrukturen aufgebaut werden. Zum Ende der Phase I waren trotz anfänglicher Lieferschwierigkeiten der Hersteller 2.776 Fahrzeuge und 1.935 Ladepunkte in Betrieb (Stand: Ende 2011). Etwas mehr als 1.100 Fahrzeuge waren dem Bereich Pkw und Nutzfahrzeuge zuzuordnen. Für diesen Bereich existieren mittlerweile 17 Elektrofahrzeugmodelle deutscher Hersteller am Markt. Für die kommenden Jahre sind stetige Erweiterungen der Produktpalette angekündigt, so dass für 2015 weitere 12 Fahrzeugmodelle herstellereitig vorgesehen sind.

Aktuell sind in den Modellregionen ca. 2.000 neue Fahrzeugeinheiten und ca. 1.200 neue Ladepunkte geplant. Derzeitige Projekte tragen der Fahrzeugangebotsentwicklung bei Herstellern Rechnung und setzen ihre Schwerpunkte im Einsatz von Pkw und Nutzfahrzeugen. Etwa 1.600 Fahrzeuge sind diesen beiden Kategorien zuzuordnen (entspricht 81 Prozent). Technologisch fokussieren die Projekte zu 89 Prozent auf rein batterieelektrische Fahrzeuge (engl. battery electric vehicle, BEV). Daneben sind Hybridfahrzeuge (HEV), Plug-In Hybride (engl. plug-in hybrid electric vehicle, PHEV) und Fahrzeuge mit Range Extender (engl. range extended electric vehicle, REEV) im Einsatz. Zum Ende des dritten Quartals 2014 waren von den 1.600 Pkw und Nutzfahrzeuge etwa 75 Prozent im Betrieb. Dieses Gesamt-Fahrzeugportfolio bildet zusammen mit einem teilweise verfügbaren Fahrzeugportfolio der Phase I die Basis der technischen Begleitforschung des Berichts [6].

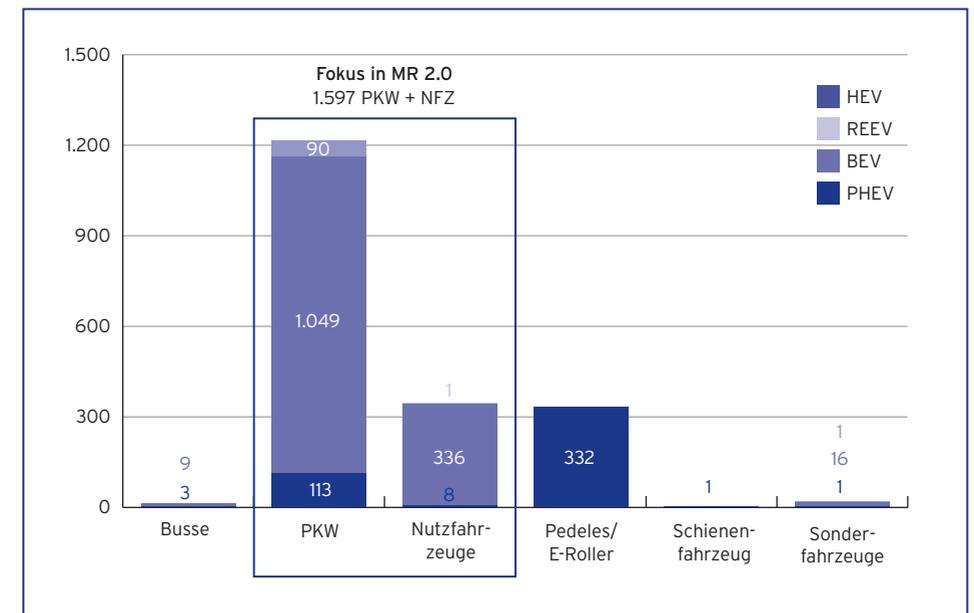


Abbildung 1.2: Fahrzeugverteilung nach Segmenten und Technologie

Schwerpunkt dieses Zwischenberichts

Die in dieser Veröffentlichung vorgestellten Forschungsergebnisse stellen einen Zwischenstand der Arbeiten der Arbeitsgruppe „Pkw und Nutzfahrzeuge“ im Themenfeld „Innovative Antriebe und Fahrzeuge“ dar. Sie basieren auf der Langzeitdatenerfassung sowie der ökobilanziellen Betrachtung, die im Projekt „PraxPerform E“ durch PE INTERNATIONAL und Fraunhofer IBP umgesetzt werden.

In dem Projekt werden Betriebsdaten von aktuell rund 500 Elektro- und Hybridfahrzeugen aus 18 Projekten der „Modellregionen Elektromobilität“ untersucht (Datenbasis s. Kapitel 2.3). Das Fahrzeug-Portfolio umfasst BEV, PHEV und REEV, wobei der Schwerpunkt der Untersuchungen aufgrund der hohen Verfügbarkeiten auf den BEV liegt. Beide Hybridfahrzeugtypen werden im weiteren Verlauf des Berichts gemeinschaftlich unter der Bezeichnung Plug-In Hybride bzw. PHEV geführt.

Mit Hilfe der aufgenommenen Betriebsdaten werden insbesondere die Praxistauglichkeit und die technische Leistung der Fahrzeuge bewertet. Sie dienen weiterhin als Grundlage für die ökobilanziellen Untersuchungen, mit denen die Umweltauswirkungen durch den Einsatz der Fahrzeuge evaluiert werden. Die zentralen Forschungsfragen, die sich u. a. aus den Forschungsaktivitäten der vorangegangenen Umweltbegleitforschung Modellregionen Elektromobilität Phase I [26] herauskristallisiert haben, sind:

- Praxistauglichkeit: Wie erfüllen die Elektro- und Hybridfahrzeuge die Nutzungsanforderungen in der Praxis?
- Leistungsfähigkeit: Welches sind die relevanten Parameter mit signifikantem Einfluss auf den Energieverbrauch der Fahrzeuge?
- Umweltauswirkungen: Welche Auswirkungen haben Elektro- und Hybridfahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen (ICE) auf die Umwelt?

Für die Analyse der Forschungsfragen werden die in Abbildung 1.3 dargestellten Bewertungskriterien herangezogen.

Forschungsfragen	Bewertungskriterien
Praxistauglichkeit	Fahrdaten
	Ladedaten
	Einsatzkontext
Leistungsfähigkeit	Energieverbrauch
	Einfluss Streckenprofil
	Einfluss Fahrverhalten
	Einfluss Außentemperatur
Umweltauswirkungen	Primärenergiebedarf
	Treibhauspotential, Versauerung
	Eutrophierung, Sommersmog

Abbildung 1.3: Forschungsfragen und Bewertungskriterien

Zur Bewertung der Praxistauglichkeit werden die Fahrdaten (Fahrdauer, Fahrdistanz und Geschwindigkeitsprofil etc.) als auch die Ladedaten (z. B. Ladezeitpunkt, -dauer und -energie) nach verschiedenen Kriterien analysiert. Von besonderem Interesse ist hierbei, ob und wie sich die Fahrzeugnutzung in verschiedenen Einsatzkontexten (siehe Tabelle 2.1) unterscheidet.

Die Leistungsfähigkeit von Elektro- und Hybridfahrzeugen wird maßgeblich durch den Energieverbrauch beeinflusst. Zur Identifizierung der relevanten Einflussfaktoren auf diesen werden Zusammenhänge mit Faktoren wie Streckenprofil, Fahrverhalten und Außentemperatur untersucht und dargelegt.

Wesentliche Kriterien bezüglich der Umweltauswirkungen sind u. a. der Primärenergiebedarf, die CO₂-Emissionen sowie der potenzielle Beitrag zum Sommersmog über den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge. Zur Bewertung werden die ermittelten Umweltbelastungen der Elektro- und Hybridfahrzeuge mit denen konventioneller Referenzfahrzeuge verglichen. Dabei dienen die in der Langzeiterfassung gewonnenen Daten als Grundlage für die Modellierung der Nutzungsphase in der Ökobilanz.

Neben der Darstellung der aktuellen Zwischenergebnisse wird ein erster Abgleich mit den Ergebnissen der Begleitforschung der frühen Modellregionen Phase I (2009 bis 2011) [26] hinsichtlich evtl. erkennbarer Veränderungen im Nutzungsverhalten, der Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge und deren Umweltauswirkungen vorgenommen.



>> 2 ÜBERBLICK ÜBER DIE METHODIK UND DATENBASIS

>> 2.1 METHODIK DER LANGZEITDATENERFASSUNG

Die Fahrzeuge werden entsprechend der Kategorisierung des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) den Fahrzeugsegmenten zugeordnet (s. Tabelle 4.6 im Anhang), wobei das KBA-Segment Utilities (< 3,5 t zul. Ggw.) zwecks detaillierterer ökobilanzieller Untersuchungen nochmals in Kastenwagen (< 1,7 t Leergewicht) und Lieferwagen (> 1,7 t Leergewicht) unterteilt wurde. Im Bereich Pkw werden aktuell Daten aus den Segmenten Minis (z. B. Mitsubishi i-MiEV), Kompaktklasse (z. B. Opel Ampera) und Mini-Vans (z. B. Ford C-Max Energi) erfasst. Des Weiteren sind Krafträder (z. B. Renault Twizy) und im Bereich Nutzfahrzeuge Kastenwagen (z. B. Renault Kangoo Z.E.), Lieferwagen (z. B. wie der Mercedes-Benz Vito E-CELL) und leichte Lkw (z. B. der EFA-S P80-E) im Einsatz. Die Fahrzeugsegmente und die zur Fahrzeugbewertung relevanten Einsatzkontexte sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

Icon	Bezeichnung	In Grafiken und Tabellen verwendete Bezeichner	Definition
Segment			
	Kraftrad	Kraftrad	Für die Zuordnung der Segmente werden neben dem optischen Erscheinungsbild u. a. folgende Merkmale als Abgrenzungskriterien mit herangezogen [19]: <ul style="list-style-type: none"> • Größe (Länge, Höhe) • Gewicht (zulässige Gesamtmasse) • Motorisierung (Hubraum) • Leistung (Höchstgeschwindigkeit) • Gepäckraum (Zuladung, Variabilität) • Sitzplätze (Anzahl) • Sitzhöhe (vorn) • Grundpreis
	Minis	Minis	
	Kompaktklasse	Kompakt	
	Mini-Vans	Mini-Vans	
	Utilities (Kastenwagen)	Util. (Kasten)	
	Utilities (Lieferwagen)	Util. (Liefer)	
	Leichte Lkw (zul. Ggw. 3,5 t-7,5 t)	Lkw	

Icon	Bezeichnung	In Grafiken und Tabellen verwendete Bezeichner	Definition
Einsatzkontext			
	Carsharing (Floating)	CS (Float)	Fahrzeugaufnahme und -rückgabe innerhalb eines abgeschlossenen, definierten Gebietes ortsungebunden im öffentlichen Parkraum.
	Carsharing (mehrere Parkplätze)	CS (mehrere P.)	Fahrzeugaufnahme und -rückgabe an mehreren festen Parkplätzen.
	Carsharing (ortsgebunden, ein fester Parkplatz)	CS (fester P.)	Fahrzeugaufnahme und -rückgabe am selben festgelegten Parkplatz.
	Dienstwagen	Dienst	Fahrzeug im gewerblichen Einsatz, das einem Mitarbeiter fest zugeordnet ist und diesem jederzeit und ausschließlich zur Verfügung steht.
	Flotte (Firmen)	Flotte (Firmen)	Fahrzeug eines gewerblichen Fahrzeugpools, das zu betrieblichen Zwecken von verschiedenen Mitarbeitern genutzt werden kann.
	Flotte (kommunal)	Flotte (Kommunal)	Fahrzeug eines kommunalen Fahrzeugpools, das zu betrieblichen Zwecken von verschiedenen Mitarbeitern genutzt werden kann.
	Privatwagen	Privat	Fahrzeug im Privatbesitz, das einer Privatperson fest zugeordnet ist und dieser jederzeit und ausschließlich zur Verfügung steht.

Tabelle 2.1: Beschreibung der untersuchten Fahrzeugsegmente und Einsatzkontexte

Zur Standardisierung der Datenerfassung wurde das in den Modellregionen Phase I [26] erstellte Minimaldatenset aufgegriffen und gemeinsam mit den beteiligten Partnern aus Forschung und Automobilindustrie unter Berücksichtigung aktueller datenschutzrechtlicher Anforderungen um zusätzliche Parameter (wie z.B. Geschwindigkeitsbereiche) sowie spezifische für die Datenerfassung von Hybrid-Fahrzeugen relevante Datenpunkte (z.B. Kraftstoffverbrauch) erweitert.

Die Datenerfassung erfolgt in der Regel für jede Einzelfahrt (Zündschlüssel an/aus) bzw. für jeden Ladevorgang (Beginn und Ende werden elektronisch erfasst). In einigen Fällen ergeben sich von der Einzelfahrt abweichende Werte, da komplette Buchungszeiträume (im Falle von Carsharing) oder Schichtzeiten (im gewerblichen Kontext) zusammenhängend übermittelt werden. Nach einer Qualitätskontrolle anhand definierter Plausibilitätskriterien (Fahrstrecke > 100 m, Fahr-/Ladedauer > 1 Min., etc.) erfolgt die Aufbereitung und Auswertung der Daten über flexible Betrachtungszeiträume.

>> 2.2 METHODISCHE VORGEHENSWEISE DER ÖKOBILANZUNTERSUCHUNG

Ziel der ökobilanziellen Analysen ist die Einschätzung der potentiellen Umweltwirkungen der eingesetzten Elektrofahrzeuge und die Identifikation der Schlüsselfaktoren der Elektromobilität aus Umweltperspektive. Dabei folgt die Untersuchung zwei grundsätzlichen Aufgabenstellungen:

- Vergleich elektrischer und konventioneller Fahrzeuge; und
- der Realdatenanalyse elektrischer Fahrzeuge.

Die dafür zur Anwendung kommenden methodischen Konzepte werden in Tabelle 2.2 erläutert.

Methodische Konzepte für die Fahrzeuganalyse		
	Referenzfahrzeuge	Virtuelle Fahrzeuge
Aufgabenstellung	Vergleich elektrischer und konventioneller Fahrzeuge	Realdatenanalyse elektrischer Fahrzeuge
Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung ICE, BEV und Hybrid • Darstellung des aktuellen deutschen Fahrzeugmarkts auf Basis von Zulassungszahlen des Kraftfahrt-Bundesamts [20] • Verwendung von NEFZ-Werten für die Nutzungsphase 	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung BEV und Hybrid • Darstellung der in der Langzeitdatenerfassung eingesetzten Fahrzeuge • Verwendung von Realdaten für die Nutzungsphase
Ergebnis	Bandbreiten der Umweltwirkungen im Vergleich	Umweltprofile konkreter Nutzungsprofile

Tabelle 2.2: Methodische Konzepte für die Fahrzeuganalyse

Der Vergleich der elektrischen und konventionellen Fahrzeuge dient der Einordnung der potentiellen Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen im Pkw-Bereich. Die Vorgehensweise und Ergebnisse sind in Kapitel 3.1 beschrieben.

Die Auswertung der Realdaten in Kapitel 3.2 umfasst den aktuellen Stand des Fahrenergieverbrauchs und die Fahrleistungen der Fahrzeugflotten aus den Modellregionen. Diese Erkenntnisse fließen in Kapitel 3.4 in die ökobilanzielle Untersuchung ein. Um eine Einschätzung der in der Herstellungsphase und während des Lebensendes verursachten Umweltbeiträge der Fahrzeuge treffen zu können, ohne einzelne Fahrzeugmodelle im Detail darzustellen, wird auf virtuelle Fahrzeuge zurückgegriffen. Die virtuellen Fahrzeuge stehen dabei jeweils stellvertretend für ein Segment, das anhand der in den Fahrzeugflotten der Modellregionen Elektromobilität eingesetzten Fahrzeuge ermittelt wurde und den Durchschnitt der eingesetzten Fahrzeuge darstellt. In Verbindung mit den Realdaten der Langzeitdatenerfassung lassen sich somit die potentiellen Umweltwirkungen über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus abschätzen. Das virtuelle Fahrzeug kann dabei in seinen technischen Kennwerten, wie Dimensionierung des Batteriespeichers etc., von den auf dem Markt erhältlichen Fahrzeugen abweichen.

Die Umweltanalyse wird für die in Tabelle 2.3 dargestellten Umweltwirkungen durchgeführt.



Kategorie	Beschreibung	Referenzeinheit	Potentielle Auswirkungen
Umweltwirkungskategorien			
Versauerungspotential (AP)	Maß für den Beitrag zur Versauerung (saurer Regen)	kg SO ₂ -Äquiv.	Verringerung des pH-Wertes des Niederschlagswassers kann zu Waldsterben, Übersäuerung der Böden und somit Freisetzung von Schwermetallen und Artenverarmung in Gewässern und Beschädigung von Bauwerken führen
Eutrophierungspotential (EP)	Maß für die Überdüngung von Böden und Gewässern	kg Phosphat-Äquiv.	Übermäßiger Nährstoffeintrag in Gewässer und auf Landgebieten kann zu überdüngten Gewässern, einer Artenverschiebung in den Gewässern, dem Verlust der Pufferfunktion für Nähr- und Giftstoffe sowie dem Verlust von Arbeitsplätzen im Bereich der Fischerei und im Tourismus führen
Treibhauspotential (GWP)	Maß für den Beitrag zum Treibhauseffekt (Reflexion von Wärmestrahlung von Gasen, die zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führen)	kg CO ₂ -Äquiv.	Bildung von anthropogenen Treibhausgasen kann zu zunehmender Erwärmung der Troposphäre, dem sogenannten Klimawandel, führen
Photochemisches Oxidantienbildungspotential (POCP)	Maß für die Bildung von bodennahem Ozon (Sommersmog)	kg Ethen-Äquiv.	Bildung von Sommersmog kann zu Husten, Augenreizungen, Kopfschmerzen und Lungenfunktionsstörungen führen
Andere Auswertungskategorien	Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Quellen (unterer Heizwert) Maß für den Verbrauch von nicht erneuerbaren (fossilen) Energieträgern	MJ	Verknappung fossiler energetischer Ressourcen

Tabelle 2.3: Betrachtete Umweltwirkungskategorien

Der hinterlegte Bewertungsschlüssel dieser Kategorien basiert auf der international akzeptierten Methode CML2001 vom Centrum voor Milieuwetenschappen (CML) in Leiden, Niederlande [8].

Die potentiellen Umweltwirkungen der untersuchten Fahrzeuge werden grundsätzlich über den gesamten Lebenszyklus analysiert und auf die wesentliche Funktion des Produktsystems bezogen, der Beförderung von Personen oder Gegenständen über eine bestimmte Fahrdistanz. Je nach Untersuchung entspricht diese Fahrdistanz der allgemeinen Gesamtfahrleistung über den Lebenszyklus eines Fahrzeugs (siehe Tabelle 2.4), der mittleren Real-fahrleistung der untersuchten Fahrzeuge eines Produktsystems über deren Lebenszyklus oder einem Fahrkilometer.

Die für die Ökobilanz festgelegten allgemeinen Rahmenbedingungen sind in Tabelle 2.4 zusammengefasst.

Allgemeine Rahmenbedingungen	
Technische Annahmen	
Lebensdauer Gesamtfahrzeug	150.000 km in 12 Jahren
Lebensdauer Batterie	Entspricht Lebensdauer Gesamtfahrzeug
Ladeeffizienz	80%
Ladestrom	<ul style="list-style-type: none"> • Deutscher Strommix 2010 • Deutscher Ökostrommix 2010
Modellierungsansätze	
Lebensende	Cut-off Ansatz
Darstellung Konventioneller Fahrzeugkonzepte	<ul style="list-style-type: none"> • Verbrauchsdaten NEFZ • Fahrbetrieb-Emissionen nach Euro-6 Grenzwert
Darstellung Nutzungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • NEFZ-Werte • Realdaten der Langzeitdatenerfassung (vgl. Kapitel 3.2)

Tabelle 2.4: Allgemeine Rahmenbedingungen für die Ökobilanzielle Betrachtung

Auf die analysespezifischen Rahmenbedingungen wird bei der Vorstellung der jeweiligen Ergebnisse getrennt eingegangen.

Die Modellierung der Fahrzeuge erfolgt mit der Ökobilanzsoftware GaBi und den zugehörigen Datenbanken. Der Fahrzeuglebenszyklus wird mittels eines generischen Ökobilanzmodells der Abteilung für Ganzheitliche Bilanzierung des Fraunhofer IBP durchgeführt, welches die Abbildung verschiedener Fahrzeug- und Antriebskonzepte ermöglicht. Es wird der gesamte Lebenszyklus von der Herstellung, der Nutzung bis hin zum Lebensende des Fahrzeugs abgebildet. Der modulare Modellaufbau und die Verwendung von Parametern ermöglichen es, spezifische Fahrzeugkonfigurationen auf Basis der relevanten technischen Parameter des Fahrzeugs und der verbauten Antriebskomponenten zu analysieren. Als Ladestrom wird standardmäßig der deutsche Strommix 2010 [13] (vgl. Tabelle 2.4) betrachtet. Aus Konsistenzgründen wird das Jahr 2010 als Referenzjahr gewählt, um eine ausreichende Datenbasis für alle relevanten Fragestellungen sicherzustellen. Die Treibhausgasemissionen des deutschen Netzstrommix 2010 liegen bei 593 g CO₂ Äquiv./kWh [18]. Zur Darstellung von Reduktionspotentialen wird der Ökostrommix Deutschland 2010 herangezogen. Dieser entspricht in seiner proportionalen Zusammenstellung dem regenerativen Anteil des deutschen Strommix im Jahr 2010 [4]. Die Anteile der Stromerzeugungstechnologien am Ökostrommix werden in Abbildung 2.1 aufgezeigt. Dominierend sind die Anteile aus Windstrom und Biomasse.

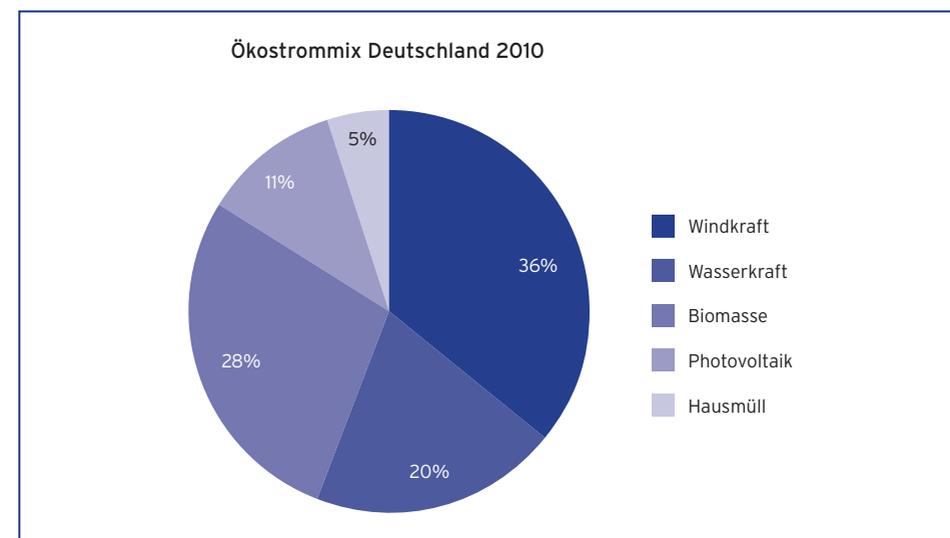


Abbildung 2.1: Ökostrommix Deutschland 2010 nach [4]

Auf dieser Basis ergibt sich für den Ökostrommix Deutschland 2010 ein Treibhausgaspotential von 136 g CO₂ Äquiv./kWh. In vielen Projekten der Modellregionen wird bereits explizit auf die Nutzung von Ökostrom geachtet. Sei es durch eine Eigenproduktion z.B. mittels Installation von PV-Paneelen oder durch den Bezug sogenannter Ökostrom-Tarife von Energieversorgern [2]. Mit der Analyse des deutschen Ökostrommix als Ladestrom wird daher der Einfluss des genutzten Strommix auf die Ökobilanz der Fahrzeuge untersucht.

>> 2.3 DATENBASIS

Von den im Förderprogramm geplanten ca. 2.000 Fahrzeugen befinden sich aktuell rund 75% im Betrieb. Zum Stand September 2014 sind etwa 35% der im Einsatz befindlichen Fahrzeuge in der Langzeitdatenerfassung. Für die rund 500 Fahrzeuge wurden bisher Nutzungsinformationen von mehr als 295.000 Fahrten mit einer Gesamtfahrstrecke von ca. 2,6 Mio. km in anonymisierter Form erfasst (Tabelle 2.5). Eine Aufschlüsselung der Daten nach Einsatzkontext befindet sich im Anhang in Tabelle 4.1). Im Vergleich zur Umweltbegleitforschung der Modellregionen Elektromobilität Phase I [26] konnte damit bereits jetzt die Zahl der erfassten Fahrzeuge um mehr als 150 erhöht und die erfassten Fahrten verdoppelt werden. Bis zum Ende der Programmlaufzeit soll die Datenerfassung einen Umfang von 800 Fahrzeugen erreichen.

Fahrzeugsegment		Anzahl Fahrzeuge	Anzahl Fahrten	Fahrtstanz [km]
	Kraftrad	5	1.328	7.661
	Minis	322	212.920	1.589.059
	Kompakt	111	44.543	628.990
	Mini-Vans	21	9.180	133.825
	Util. (Kasten)	30	25.927	102.479
	Util. (Liefer)	7	144	3.366
	Leichte Lkw	8	1.401	99.515
Total		504	295.443	2.583.224

Tabelle 2.5: Übersicht der Fahrdaten aus der Langzeitdatenerfassung (Segmente)

Die zeitliche Entwicklung der monatlichen Fahrleistung ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

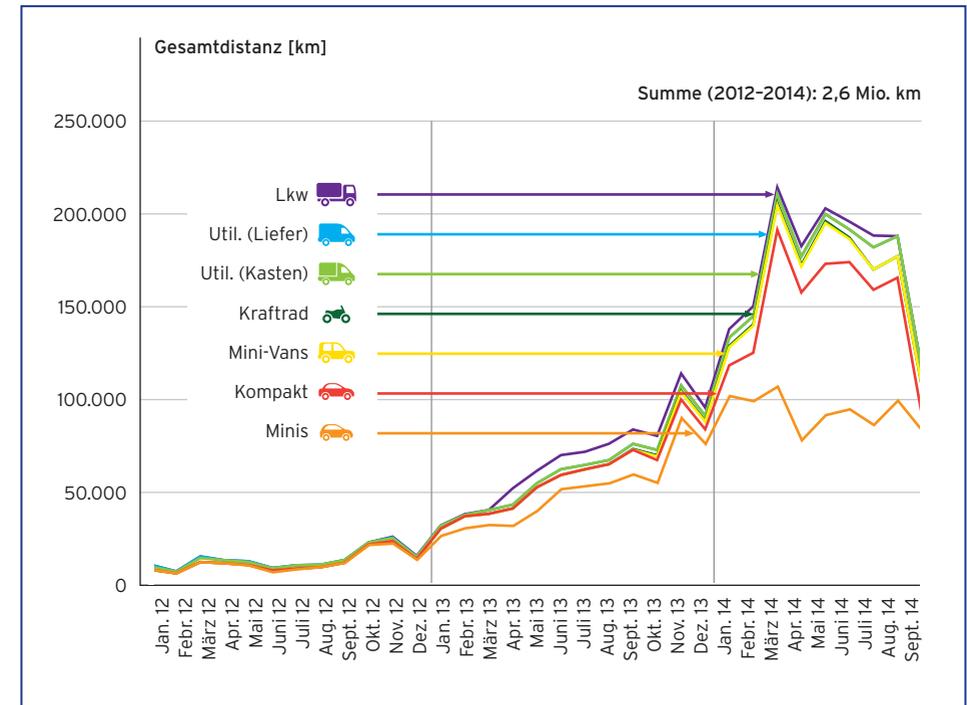


Abbildung 2.2: Zeitliche Entwicklung der monatlichen Fahrleistung (2012 bis 2014, Segmente)

Seit Anfang 2013 hat sich die berücksichtigte Fahrleistung, insbesondere auch durch die Erweiterung der Erfassung um weitere Segmente, stetig erhöht, wodurch kontinuierlich neue Erkenntnisse aus dem Praxiseinsatz von Elektrofahrzeugen in Deutschland gewonnen werden können.

Die Zuordnung zu den Einsatzkontexten stellt sich derzeit wie folgt dar (s. Tabelle 4.1). Im Mini-Segment liegt der Schwerpunkt mit ca. 37% aller Fahrzeuge in den drei Carsharing-Kontexten, etwa 30% der Fahrzeuge sind Teil einer Flotte, 20% sind Privatwagen und 14% sind

Dienstwagen. Innerhalb der Kompaktklasse ist fast die Hälfte der Fahrzeuge im Besitz einer Privatperson, ein Drittel fährt im Rahmen einer Firmenflotte, während die übrigen Fahrzeuge hauptsächlich Carsharing-Fahrzeuge sind. Utilities (Kastenwagen) fahren bislang ausschließlich im Kontext Firmenflotte.

In Abbildung 2.3 ist die entsprechende Verteilung der Fahrdistanz nach den jeweiligen Einsatzkontexten veranschaulicht. Bei den Minis dominieren die Firmenflotten- und Privatwagen (zusammen 66%), gefolgt von den Carsharing-Varianten (mit gebündelt 20%). Die Kompaktklasse-Fahrzeuge sind insgesamt 628.990 km gefahren, wovon ca. 14% auf BEV und 86% auf PHEV entfallen. Hier dominiert der private Bereich, gefolgt von der Firmenflotte. Die Kastenwagen in den Firmenflotten legten 102.479 km zurück.

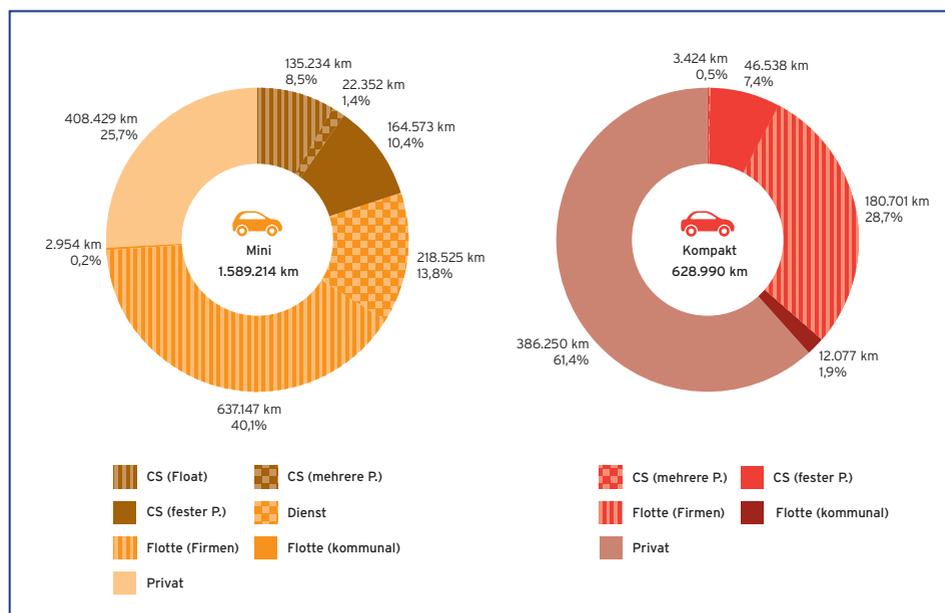


Abbildung 2.3: Zurückgelegte Fahrdistanz (Minis und Kompaktklasse nach Einsatzkontext)

Zur Gewährleistung der Repräsentativität werden für die Analyse in Kapitel 3 nur Einsatzkontexte berücksichtigt, zu denen mindestens Daten für fünf Fahrzeuge vorliegen. Damit werden im vorliegenden Bericht keine Detailergebnisse für Kommunalfloottenfahrzeuge sowie Carsharing (mehrere Parkplätze) in der Kompaktklasse dargestellt.

- Entsprechend der vorliegenden Datenbasis und der Gesamtfahrzeugverfügbarkeit in den Modellregionen werden im Rahmen dieser Veröffentlichung die Segmente Minis, Kompaktklasse und leichte Utilities (Kastenwagen) eingehender untersucht und hinsichtlich der Einsatzkontexte ausgewertet.
- Bis dato wurde im Vergleich zur Modellregionen Phase I die Zahl der erfassten Fahrten verdoppelt, womit die Repräsentativität der Ergebnisse deutlich höher ist.

Neben der Erfassung der Fahrdaten werden für die Fahrzeuge auch, soweit vorgesehen und technisch möglich, die entsprechenden Ladedaten erfasst. Es liegen bislang Ladedaten von gut 200 BEV aus den drei Segmenten vor, bei denen insgesamt rund 50.000 Ladevorgänge (mehr als Verdopplung im Vergleich zur ersten Studie) mit einer erfassten Ladeenergie von mehr als 290.000 kWh durchgeführt wurden. Damit sind für etwa 2/3 der Minis aus der Fahrdatenerfassung korrespondierende Ladedaten verfügbar (Tabelle 2.6). Für eine konsistente Darstellung mit den Fahrleistungen wird die Ladedatenauswertung in Kapitel 3.3 auf das Mini-Segment fokussiert.

Segment	Anzahl Fahrzeuge	Anzahl Ladungen	Ladeenergie [kWh]
Minis	194	48.750	207.396
Util. (Liefer)	3	10	69
Leichte Lkw	8	1.496	82.877
Total	205	50.256	290.342

Tabelle 2.6: Übersicht Ladedaten aus der Langzeitdatenerfassung

Ladedaten im Mini-Segment liegen bislang für fünf Einsatzkontexte vor. Für die Nutzungen Dienst- und Privatwagen liegen dabei für alle sowie bei Firmenflotte für 80% der Fahrzeuge aus der Fahrdatenerfassung auch Ladedaten vor. Hingegen ist der Einsatzkontext Carsharing mit Ladedaten von nur etwa 10% der Fahrzeuge im Verhältnis zur eingesetzten Fahrzeuganzahl deutlich unterrepräsentiert, was auf die häufig nicht vorgesehene Erfassung der Ladedaten zurückzuführen ist. Entsprechend gestaltet sich die Verteilung der Ladeenergie auf die Einsatzkontexte in Abbildung 2.4. Fast die Hälfte der Ladedaten stammen von Firmenflottenfahrzeugen, gefolgt von Privatwagen mit ca. einem Drittel der Daten. Während Dienstwagen mit 17% der Daten ebenfalls noch gut repräsentiert sind, trägt die Nutzung Carsharing mit insgesamt nur 3% nur marginal zu den Ladedaten bei.

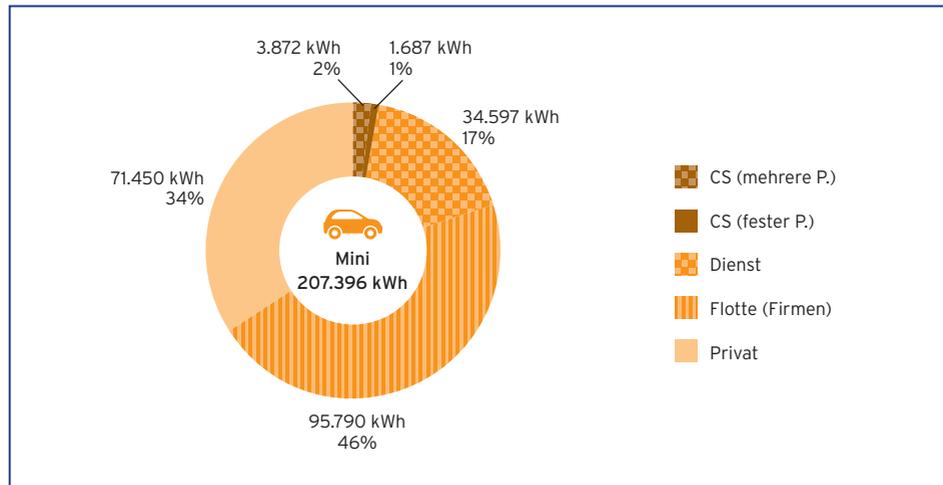


Abbildung 2.4: Erfasste Ladeenergie (Minis nach Einsatzkontext)

- Für eine konsistente Datenauswertung wird die Untersuchung der Ladedaten auf Minis fokussiert. Für das Segment sind Daten von knapp 200 Fahrzeugen aus fünf Einsatzkontexten verfügbar.
- Die erfasste Anzahl der Ladevorgänge konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt gegenüber dem ersten Erfassungszeitraum (Modellregionen Phase I) mehr als verdoppelt werden.



>> 3 ERGEBNISSE

Im folgenden Ergebnisteil erfolgt zunächst eine Einordnung der ökologischen Wirkungspotentiale Batterieelektrischer Fahrzeuge. Dabei wird auch, auf der Basis von NEFZ-Verbrauchsdaten, ein Ökobilanzieller Vergleich zwischen konventionellen und batterieelektrischen Fahrzeugen gezogen. Anhand der Realdaten (s. Tabelle 4.2) aus der Langzeitdatenerfassung wird anschließend die Nutzung der Elektro- und Hybridfahrzeuge aus dem Programm Modellregionen Elektromobilität beschrieben. Dabei liefern Detailauswertungen Erkenntnisse über die Fahrzeugnutzung in den verschiedenen Einsatzkontexten. Es wird in einem weiteren Schritt das Ladeverhalten dargestellt. Abschließend werden diese Realdatenauswertungen mittels einer Ökobilanziellen Betrachtung abgebildet und somit Aussagen zu den spezifischen potentiellen Umweltwirkungen des Einsatz der Elektrofahrzeuge in den Modellregionen gewonnen.

>> 3.1 ÖKOBILANZIELLER VERGLEICH KONVENTIONELLER UND BATTERIEELEKTRISCHER REFERENZFAHRZEUGE

Im Rahmen der Modellregionen-Projekte werden reale Nutzungsdaten von elektrischen Fahrzeugen erfasst. Zum derzeitigen Zeitpunkt stehen keine vergleichbaren Daten für konventionelle Fahrzeuge zur Verfügung, so dass kein direkter Ökobilanzvergleich der verschiedenen Antriebskonzepte auf Basis von Realdaten möglich ist. Um dennoch einen Vergleich auf einer konsistenten Datenbasis durchführen zu können, wird für die Nutzungsphase auf NEFZ-Werte der elektrischen und verbrennungstechnischen Fahrzeuge zurückgegriffen. Weitere Rahmenbedingungen für die folgenden Analysen finden sich in Kapitel 2.2.

Um den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge, von der Herstellung (HST) über die Nutzung bis hin zum Lebensende in der Ökobilanz berücksichtigen zu können, wird in den nachfolgenden Auswertungen auf die in Kapitel 2.2 vorgestellten Referenzfahrzeuge zurückgegriffen. Ein Referenzfahrzeug steht dabei jeweils stellvertretend für den Durchschnitt der zehn verkaufstärksten Modelle je Segment und Antriebskonzept. Weiterhin werden die Bandbreiten anhand der Fahrzeugmodelle mit dem jeweils höchsten bzw. niedrigsten Energieverbrauch der zehn meistverkauften Fahrzeugmodelle im untersuchten Segment abgebildet.

Derzeit wird nur in den Segmenten Minis und Kompaktklasse eine relevante Fahrzeugpalette an Elektrofahrzeugen angeboten [20]. Daher beschränken sich die folgenden Analysen auf diese beiden Segmente. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über Energieverbrauch

und Fahrbetriebsemissionen der in ermittelten Referenzfahrzeuge. Zusätzlich zu den Fahrbetriebsemissionen (Abgase) fließen die potentiellen Umweltwirkungen der Fahrzeugherstellung, Kraftstoffbereitstellung und des Fahrzeuglebensendes in die Ökobilanz ein.

Bei der Herstellung eines konventionellen Mini-Fahrzeugs werden beispielsweise ca. 4700 kg CO₂-Äquiv. verursacht. Diese Umweltwirkungen werden bei der Ökobilanzierung eines Fahrkilometers linear über die Gesamtfahrleistung verteilt. Bei einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km liegt der Anteil der Fahrzeugherstellung bei ca. 31 g CO₂-Äquiv./km, welche zusätzlich zu den Fahrbetriebsemissionen der Fahrzeugnutzung (vgl. Tabelle 3.1) zuzurechnen sind. Für einen plausiblen Vergleich der Antriebstechnologien ist daher eine Lebenszyklusbetrachtung notwendig.

Segment	Referenzfahrzeug	Verbrauch - Kombiniert (KBA) [20] Zugehörige Fahrbetriebsemissionen					
		Benzin		Diesel		BEV	
		l/100km	g CO ₂ /km	l/100km	g CO ₂ /km	kWh/100km	
	Minis	Verbrauchärmstes Modell	4,40	101,1	3,20	86,1	11,7
		Durchschnitt	4,73	109,9	3,72	101,2	13,9
		Verbrauchstärkstes Modell	5,10	119,4	4,3	112,7	15,1
	Kompaktklasse	Verbrauchärmstes Modell	5,40	124,8	3,90	102,4	12,7
		Durchschnitt	5,73	132,8	4,30	113,2	14,9
		Verbrauchstärkstes Modell	6,20	143,0	4,50	119,8	19,0

Tabelle 3.1: Verbrauch und Fahrbetriebsemissionen der ermittelten Referenzfahrzeuge

Der im Folgenden dargestellte ökologische Vergleich von konventionellen und elektrischen Fahrzeugen im Segment Mini strukturiert sich wie folgt: zunächst werden am Beispiel des Treibhausgaspotentials die grundsätzlichen Unterschiede zwischen konventionellen und elektrischen Fahrzeugen aufgezeigt. Anschließend werden zusätzlich die Auswertung des Versauerungspotentials vorgestellt und Unterschiede zwischen den analysierten Umweltwirkungen aufgezeigt. Zur erweiterten Betrachtung werden die Ergebnisse für das Segment Kompakt entsprechend andiskutiert.

Abbildung 3.1 zeigt die Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus der Referenzfahrzeuge (Elektrofahrzeug, Dieselfahrzeug, Benzinfahrzeug) im Segment Minis bei einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km. Die zugrundeliegenden Verbrauchswerte können Tabelle 3.1 entnommen werden. Die Bandbreiten ergeben sich jeweils aus der Untersuchung des verbrauchärmsten und verbrauchstärksten Modells der im Segment Minis untersuchten Fahrzeuge. Die Darstellung zeigt die Verteilung der Treibhausgasemission nach Lebenszyklusphase. Die Nutzungsphase der konventionellen Fahrzeuge untergliedert sich dabei in die Fahrbetriebsemissionen und die Umweltwirkungen der Kraftstoffbereitstellung. Rein elektrische Fahrzeuge verursachen während der Nutzung keine direkten Emissionen. Die Umweltwirkungen der Nutzungsphase entstehen bei der Erzeugung und Bereitstellung des Ladestroms, wofür in diesem Beispiel der deutsche Strommix 2010 zugrunde gelegt wird.

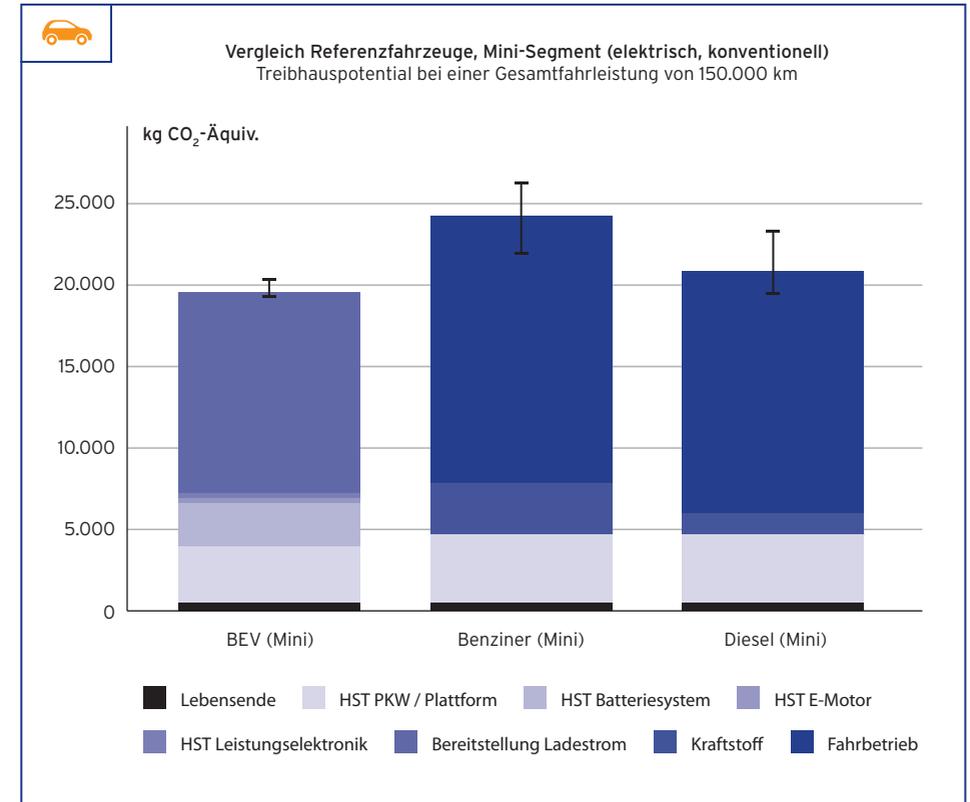


Abbildung 3.1: Vergleich BEV MINI zu ICE Mini, Wirkungskategorie Treibhausgaspotential

Die in Abbildung 3.1 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die BEVs im Mini-Segment unter den untersuchten Rahmenbedingungen im Treibhausgaspotential in einer vergleichbaren Größenordnung mit den Dieselfahrzeugen des Segments liegen. Unter den hier berücksichtigten Rahmenbedingungen lassen sich leichte Verbesserungen gegenüber den Benzinfahrzeugen erreichen. Im Durchschnitt liegen die Treibhausgasemissionen der elektrischen Mini-Fahrzeuge somit bereits bei Nutzung des Deutschen Strommixes im gesamten Lebenszyklus unter den Treibhausgasemissionen der verbrennungsmotori-

schen Fahrzeuge (etwa 7% niedriger als für Mini-Dieselfahrzeuge und 23% niedriger als für Mini-Benzinfahrzeuge). Durch die Verwendung von Ökostrom lässt sich dieses Potential noch weiter ausbauen.

Jedoch lässt sich hieraus keine allgemeine gültige Aussage ableiten. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird durch die Überschneidungen der untersuchten Bandbreiten der Referenzfahrzeuge eingeschränkt. Die in Abbildung 3.1 dargestellten Ergebnisse spiegeln ein konkretes Nutzungsszenario von Mini-Fahrzeugen wider, wofür eine Gesamtfahrleistung von 150.000 km angenommen wurde.

Die Annahme der Gesamtfahrleistung hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Das Treibhausgaspotential der Herstellungsphase liegt beim BEV aufgrund der hohen Beiträge der Batterieherstellung deutlich höher (in diesem Beispiel ca. 60%) als bei den konventionellen Varianten mit verbrennungsmotorischem Antrieb. Die hohen Umweltwirkungen des Batteriesystems sind vor allem auf den Abbau, die Aufbereitung und Produktion der in den Batteriezellen eingesetzten High-Tech Werkstoffe (z.B. Aktivmaterialien der Kathode und Anode) zurückzuführen. Die höheren Umweltwirkungen der Herstellungsphase des BEV lassen sich durch die geringeren Umweltwirkungen während der Nutzungsphase unter Voraussetzung einer entsprechend hohen Fahrleistung gegenüber den konventionellen Fahrzeugen kompensieren.

➤ Die Herstellungsphase der BEV Fahrzeuge ist aufgrund der in der Batterie eingesetzten High-Tech Materialien besonders relevant für das Treibhauspotential. Vorteile gegenüber den konventionellen Fahrzeugen lassen sich unter Voraussetzung einer entsprechenden Fahrleistung durch die geringeren Umweltwirkungen in der Nutzungsphase erreichen.

Es ergeben sich für die Bereitstellung des Ladestroms aus dem deutschen Strommix 2010 höhere Treibhausgasemissionen als für die Bereitstellung von Diesel oder Benzin. Durch die Vermeidung von direkten Emissionen bei der Nutzung, die in den Abbildungen als Fahrbetrieb ausgewiesen werden, entstehen jedoch im Vergleich zu konventionellen Mini-Fahrzeugen insgesamt niedrigere Treibhausgasemissionen durch den Betrieb von elektrischen Mini-Fahrzeugen. Somit lassen sich die höheren Treibhauspotentiale der Herstellungsphase des BEV gegenüber der konventionellen Fahrzeuge kompensieren. Zusätzliche Vorteile der vermiedenen Fahrbetriebs-Emissionen bei Nutzung von BEV bestehen in fehlenden lokalen Emissionen. Dies kann zur Verbesserung der Luftqualität z.B. in Innenstädten beitragen.

Abbildung 3.2 zeigt den Verlauf der Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus der Referenzfahrzeuge des Mini-Segments. Für das elektrische Referenzfahrzeug sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung des deutschen Strommix und des deutschen Ökostrommix als Ladestrom dargestellt.

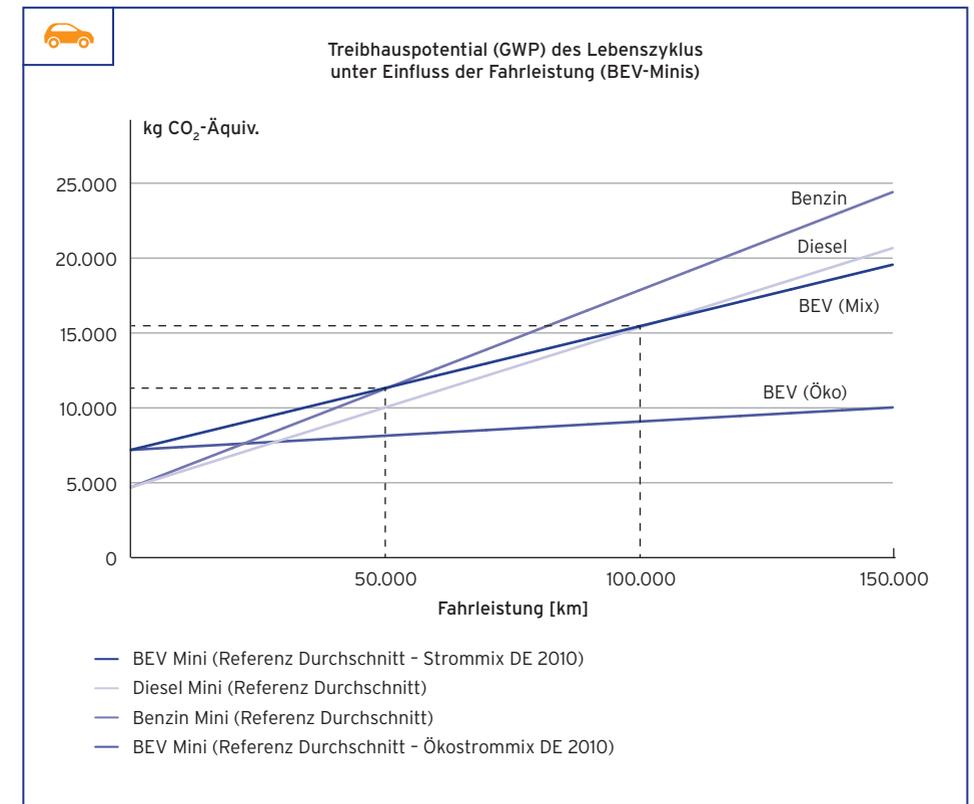


Abbildung 3.2: Segment Minis – Wirkungskategorie GWP unter Einfluss der Fahrleistung

Bei Verwendung eines Ladestroms aus dem deutschen Strommix 2010 ergeben sich Break-Even Punkte für das Treibhausgaspotential bei ca. 50.000 km im Vergleich zu Mini-Benzinfahrzeugen und bei knapp über 100.000 km im Vergleich zu Mini-Dieselfahrzeugen. Das heißt ab dieser Laufleistung liegen die Treibhausgas-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus für BEV unterhalb deren von konventionellen Fahrzeugen. Wird das Fahrzeug mit einem Ladestrom aus erneuerbaren Energien (in dem Fall Ökostrommix 2010) versorgt, lassen sich die Break-Even Punkte zu niedrigeren Fahrleistungen, ca. 20.000 km im Vergleich zu Mini-Benzinfahrzeugen und ca. 25.000 km im Vergleich zu Mini-Dieselfahrzeugen, verschieben.

➤ Wichtige Einflussfaktoren für den optimalen ökologischen Nutzen des BEV sind der Einsatz eines Ladestroms mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien sowie hohe Fahrleistungen, um die höheren Beiträge zum Treibhausgaspotential in der Fahrzeugherstellung gegenüber den konventionellen Fahrzeugen zu kompensieren.

Die Ergebnisse des zuvor am Beispiel des Treibhausgaspotentials ausgeführten Vergleichs von konventionellen und elektrischen Fahrzeugen, lassen sich nicht auf andere Wirkungskategorien übertragen. Dies ist in Abbildung 3.3 am Beispiel des Versauerungspotentials für die Referenzfahrzeuge im Segment Minis dargestellt.

Wie beim Treibhausgaspotential liegt auch das Versauerungspotential der Herstellung von elektrischen Mini-Fahrzeugen deutlich höher als bei konventionellen Mini-Fahrzeugen, was im Wesentlichen auf die Herstellung des Batteriesystems zurückzuführen ist. Dies kann über die Lebenszyklusfahrleistung von 150.000 km im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen nicht kompensiert werden.

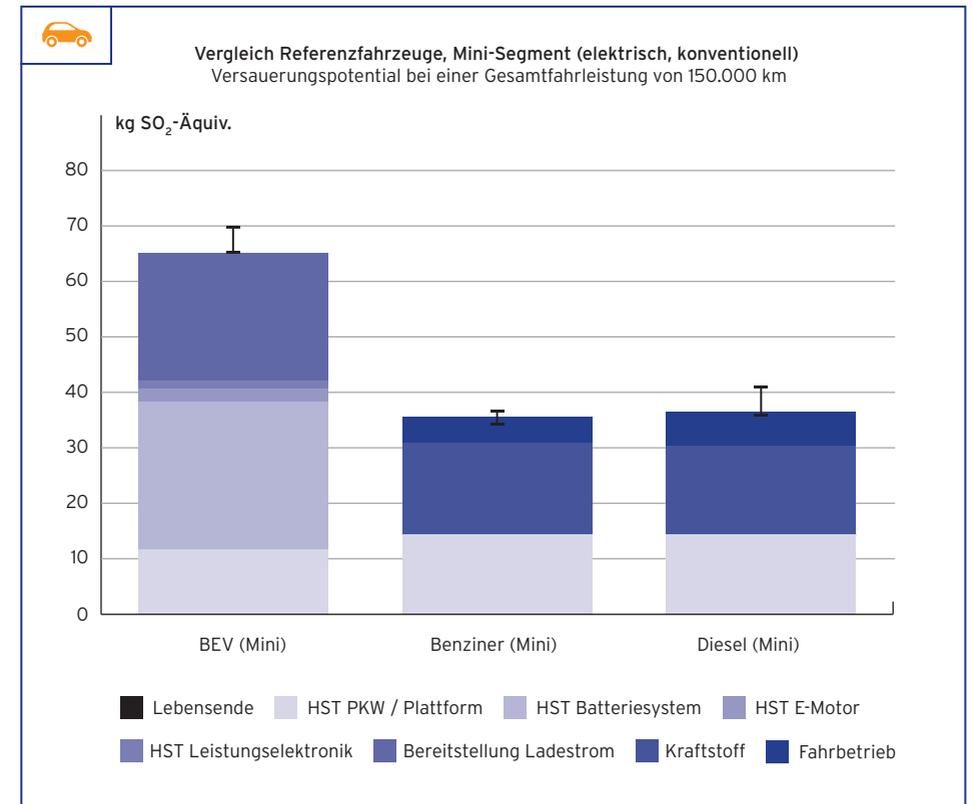


Abbildung 3.3: Vergleich Referenzfahrzeuge Mini-Segment, Versauerungspotential

Die Analyse der Fahrzeuge aus dem Segment der Kompaktklasse zeigt, dass sich unter Verwendung der gleichen Rahmenbedingungen ähnliche Tendenzen wie bei den BEV-Minis ergeben. Im Vergleich zum Mini-Segment werden im Kompaktklasse-Segment höhere Umweltwirkungen bei der Herstellung und während des Betriebs verursacht. Dies ist auf die höheren Fahrzeuggewichte und den damit verbunden höheren Fahrenergieverbrauch sowie die größere Dimensionierung des Batteriesystems (BEV) zurückzuführen.

➤ In der Wirkungskategorie Versauerungspotential sind die elektrischen Fahrzeuge nicht vorteilhaft gegenüber den konventionellen Fahrzeugen

>> 3.2 FAHRDATENAUSWERTUNG

Vor der ökobilanziellen Analyse der Fahrzeuge unter Verwendung der erhobenen Realdaten erfolgt im folgenden Kapitel die Ergebniszusammenfassung der Realdatenauswertung. Die Auswertung der Fahrdaten liefert Erkenntnisse über die Fahrzeugnutzung in den verschiedenen Einsatzkontexten. Eine tabellarische Übersicht der grundlegenden Parameter Anzahl Fahrten, Fahrdistanz und Fahrdauer je Fahrt, Tag und Monat findet sich im Anhang (siehe Tabelle 4.1). Die Ergebnisse der Auswertung der Ladedaten werden in Kapitel 3.3 dargestellt.

>> 3.2.1 NUTZUNGSINTENSITÄT

Die Fahrzeuge werden je nach Einsatzkontext sehr unterschiedlich genutzt. Dabei reicht die Spanne von acht Nutzungstagen pro Monat (Nutzungsdauer insg. gut 35 Std.) für Kompaktklassewagen (PHEV) im ortsgebundenen Carsharing bis zu 23 Tagen (120 Std.) für Minis im selben Einsatzkontext. Dienst- und Privatwagen (Minis, Kompaktklasse) werden an 19 bzw. 20 Tagen monatlich gefahren. Minis im gewerblichen Flottenkontext verbuchen an 15 Tagen eine Nutzung, alle anderen Flottenfahrzeuge an acht bis 12 Tagen im Monat.

Aus Abbildung 3.4 wird ersichtlich, dass die monatliche Fahrleistung in den jeweiligen Einsatzkontexten ebenfalls sehr unterschiedlich ist. Von Minis werden monatlich durchschnittlich 165 km (Carsharing, Floating) bis 745 km (Carsharing mit mehreren Parkplätzen) zurückgelegt. Maximal ist ein Mini im privaten Nutzungskontext über 3.000 km in einem Monat

gefahren. Für Kompaktklasse-Wagen liegt die durchschnittliche monatliche Fahrleistung zwischen 336 km für BEV-Fahrzeuge in Firmenflotten und 1.126 km pro Monat für private PHEV, die mit ca. 1.690 km auch die maximale monatliche Distanz innerhalb der Kompaktklasse aufweisen. Utilities (Kastenwagen) liegen mit 311 km im Mittelfeld, maximal wurden mit ihnen rund 1.500 km in einem Monat zurückgelegt.

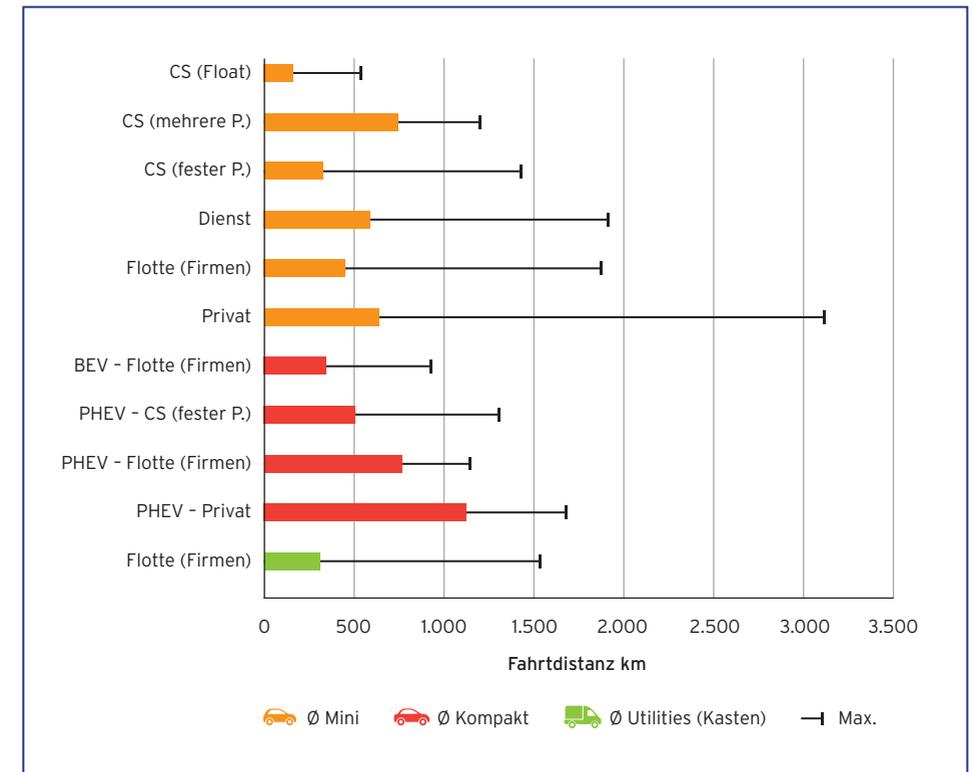


Abbildung 3.4: Durchschnittliche und maximale monatliche Fahrleistung je Fahrzeug (Segmente nach Einsatzkontext)

- Minis im Carsharing mit mehreren Parkplätzen werden gemäß der aktuellen Auswertungen mit 23 Tagen im Monat am häufigsten genutzt; Flottenfahrzeuge fallen durch ihre geringe Anzahl von acht bis zwölf Nutzungstagen auf (Minis: 15 Tage).
- Minis im Carsharing mit festem Parkplatz sowie Kompaktklassewagen und Utilities in Firmenflotten weisen mit acht bis zwölf reduzierte Nutzungsintensitäten auf.
- Die monatlichen Fahrdistanzen innerhalb eines Segments unterscheiden sich je nach Nutzungskontext ebenfalls erheblich, ebenso auch die monatlichen Fahrdistanzen für einen Nutzungskontext je nach Segment.
- Die zurückgelegte Strecke mancher PHEV-Kompaktwagen wird von gut genutzten BEV-Minis zum Teil übertroffen

Die durchschnittliche Fahrdistanz für eine einzelne Fahrt liegt für die BEV aus den Segmenten Minis und Kompaktklasse bei 7,5 bzw. 9,2 km (Tabelle 3.2), wobei 80 % aller Fahrten kürzer als 11 bzw. 16 km sind. Rund ein Drittel der Strecken ist kürzer als 2 km und lediglich ca. 5% aller Fahrten sind länger als 30 km (Abbildung 3.5). Abgesehen von den Carsharing-Nutzungen mit Buchungsdaten weisen die Minis dabei in allen Einsatzkontexten sehr ähnliche Fahrdistanzprofile auf (Abbildung 3.6). Ihre mittlere Fahrstrecke variiert zwischen sechs (Carsharing, Floating) und fast 25 km im Carsharing mit festem Parkplatz (siehe auch Tabelle 4.2 im Anhang). Die längste bisher erfasste Einzelfahrt eines Minis ging über bemerkenswerte 209 km (da es sich hierbei um die summierte Fahrstrecke einer Carsharing-Buchung handelt, ist eine Zwischenladung innerhalb der Buchungszeit anzunehmen), die eines Kompakt-BEV über 182 km (Tabelle 3.2).

Fahrdistanz [km]	Minis	Kompakt		Util. (Kasten)
				
Durchschnittlich	7,5	14,1		4
		9,2 (BEV)	15,4 (PHEV)	
Maximal	209	687		78

Tabelle 3.2: Übersicht über mittlere und maximale Fahrdistanzen der Segmente

Die leichten Utilities (Kastenwagen) weisen die kürzesten Einzelfahrstrecken auf. Bei nur 4,0 km durchschnittlicher Fahrdistanz sind 80% aller Fahrten kürzer als 5 km und nur 5% länger als 15 km.

Die höchste mittlere Fahrdistanz weisen die Kompaktklasse-PHEV mit 15,4 km auf, wobei der Unterschied in der Verteilung der Fahrdistanz von PHEV- und BEV-Kompaktwagen überraschend gering ausfällt. Mit 80% aller Fahrten < 20 km werden die PHEV zum großen Teil nicht für wesentlich längere Fahrten eingesetzt als die BEV-Kompaktklassefahrzeuge und die Verteilung der Wegstrecken ist sehr ähnlich. Erst ab 30 km verschiebt sich die Fahrdistanz je Fahrt für die PHEV systembedingt hin zu längeren Distanzen. Während für die BEV weniger als 1% der Strecken > 60 km sind, sind es für die PHEV 4% mit z. T. extrem langen Fahrstrecken bis maximal 687 km. Im Gesamtdurchschnitt ist die Fahrstrecke der Kompaktwagen (BEV und PHEV) mit 14,1 km je Fahrt fast doppelt so hoch wie im Mini-Segment.

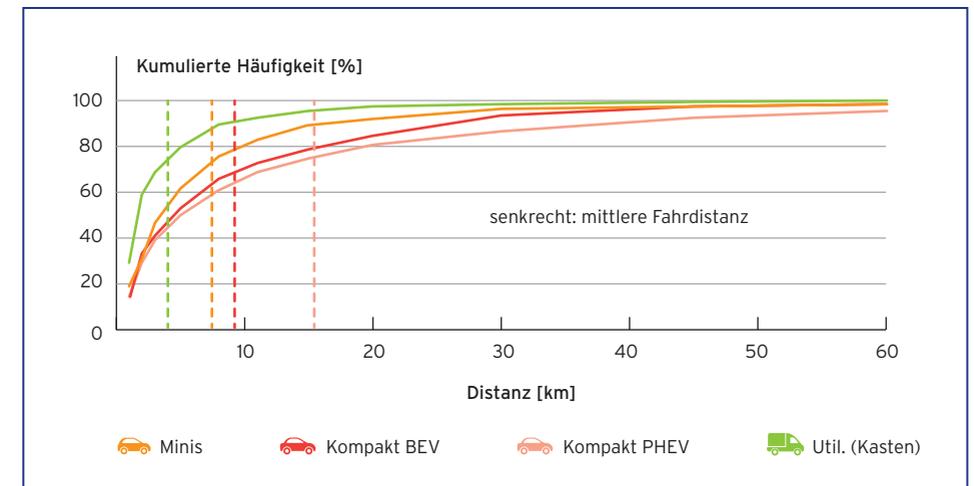


Abbildung 3.5: Kumulierte Häufigkeit der Fahrdistanz je Fahrt (Segmente)

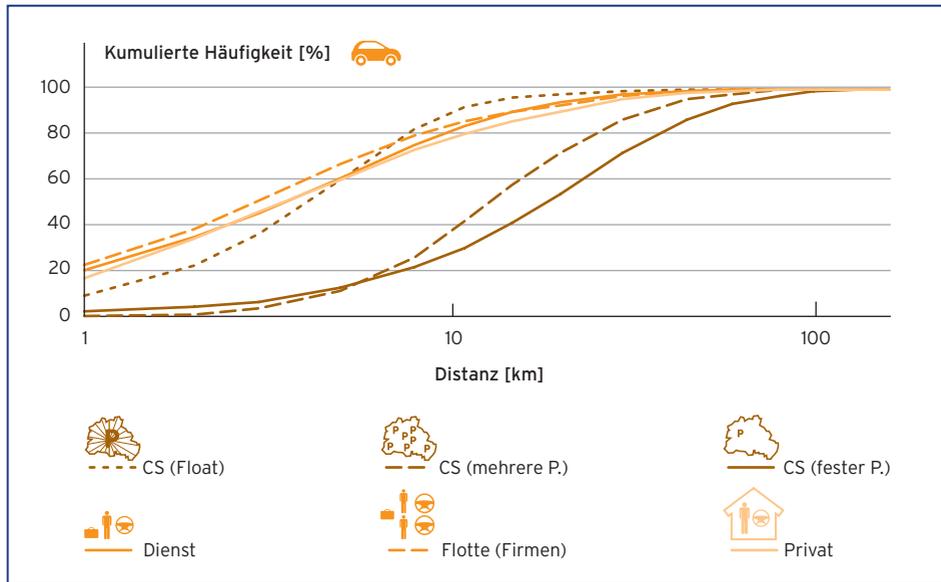


Abbildung 3.6: Kumulierte Häufigkeit der logarithmischen Fahrdistanz je Fahrt (Minis nach Einsatzkontext)

- Kompaktklassewagen (BEV) fahren im Schnitt weiter pro Fahrt als Minis, Kastenwagen (Einsatz in gewerblichen Flotten) weisen die kürzesten Fahrstrecken auf. Insgesamt sind mehr als 80% aller zurückgelegten Fahrten kürzer als 20 km und weit über die Hälfte kürzer als 5 km.
- Unterschiede zwischen den BEV- und PHEV-Kompaktwagen in den Verteilungen der Fahrdistanzen machen sich erst bei Distanzen über 30 km signifikant bemerkbar. Die maximale Fahrdistanz eines PHEV-Kompaktwagens liegt bei 687 km.
- Die ermittelten Fahrstrecken (durchschnittliche und maximale Fahrdistanz) sind sehr gut vergleichbar mit den Ergebnissen aus der Modellregionen Phase I [26].
- Mit Hybridfahrzeugen wird je Fahrt dieselbe durchschnittliche Strecke wie im bundesdeutschen Durchschnitt [17] zurückgelegt. Die mittlere Fahrstrecke der batterieelektrischen Fahrzeuge liegt naturgemäß deutlich darunter.

>> 3.2.2 GESCHWINDIGKEITSPROFIL

Bei der Geschwindigkeit zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Segmenten (Abbildung 3.7). Für Kastenwagen liegt das Maximum zwischen 30 und 60 km/h und Geschwindigkeiten darüber kommen nur auf 1/4 der Strecken vor, was auf eine überwiegend innerstädtische Nutzung schließen lässt. Minis werden auf 40% ihrer Strecken auch schneller als 60 km/h gefahren und sind damit öfter auf Schnellstraßen bzw. außerorts unterwegs als Kastenwagen. Geschwindigkeiten über 120 km/h sind in dieser Klasse technisch bedingt kaum möglich. Kompaktwagen weisen einen noch größeren Anteil an schnelleren Fahrabschnitten auf, wobei systembedingt die PHEV nochmals mit deutlich höheren Geschwindigkeiten unterwegs sind als die BEV.

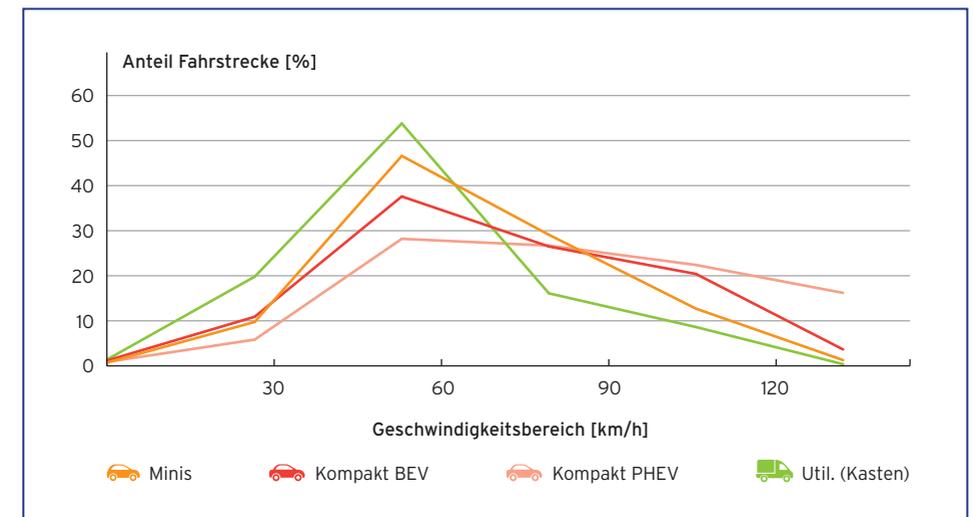


Abbildung 3.7: Verteilung der Geschwindigkeitsbereiche nach Fahrstrecke (Segmente)

- Utilities (Kastenwagen) und Minis werden überwiegend innerorts bewegt.
- Kompaktklasse-Wagen fahren einen großen Teil ihrer Strecken auch auf Schnellstraßen und Autobahnen. Dabei sind PHEV-Fahrzeuge häufiger mit höheren Geschwindigkeiten unterwegs als BEV-Fahrzeuge: BEV legen die Hälfte ihrer Strecken mit mehr als 60 km/h zurück, PHEV liegen 15%-Punkte darüber (mit einem signifikanten Anteil > 120 km/h)

>> 3.2.3 FAHRDAUERN UND NUTZUNGSZEITEN

Die mittlere Fahrdauer in den drei untersuchten Segmenten beträgt für Minis 25 min., für die Kompaktklassewagen 16 min. (BEV) und für die Kastenwagen 17 min. Im Vergleich zur ersten Phase der Modellregionen [26] hat sich für die beiden letzteren Segmente die Fahrdauer damit leicht erhöht, für die Minis sogar mehr als verdoppelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass viele Minis im Carsharing eingesetzt werden, wobei häufig die Buchungsdauer mit der Fahrdauer gleich gesetzt wird.

Die Analyse des Fahrbeginns in Abbildung 3.8 zeigt für die drei Segmente unterschiedliche Ausprägungen in der Tagesganglinie. Leichte Utilities (Kastenwagen) werden erwartungsgemäß hauptsächlich zwischen 7 und 18 Uhr (ca. 85% aller Fahrten) eingesetzt, mit besonders häufigen Fahrstarts von 8-9 sowie 14-15 Uhr. Alle anderen Fahrzeuge werden im Tagesverlauf deutlich gleichmäßiger und bis in die Nacht hinein eingesetzt, wobei die Hauptnutzungszeiten morgens von 8-10 und nachmittags von 16-18 Uhr liegen. Jeweils ca. 20% aller Fahrten finden vor 8 Uhr und nach 18 Uhr statt, aber lediglich bei den Minis erfolgt ein nennenswerter Anteil der Fahrten auch zwischen 22 und 5 Uhr.

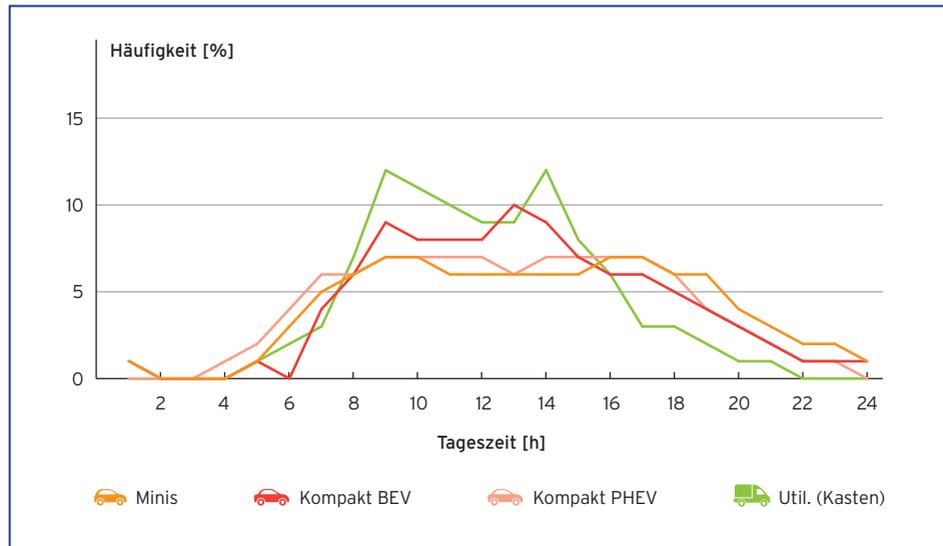


Abbildung 3.8: Fahrbeginn je Fahrt (Segmente)

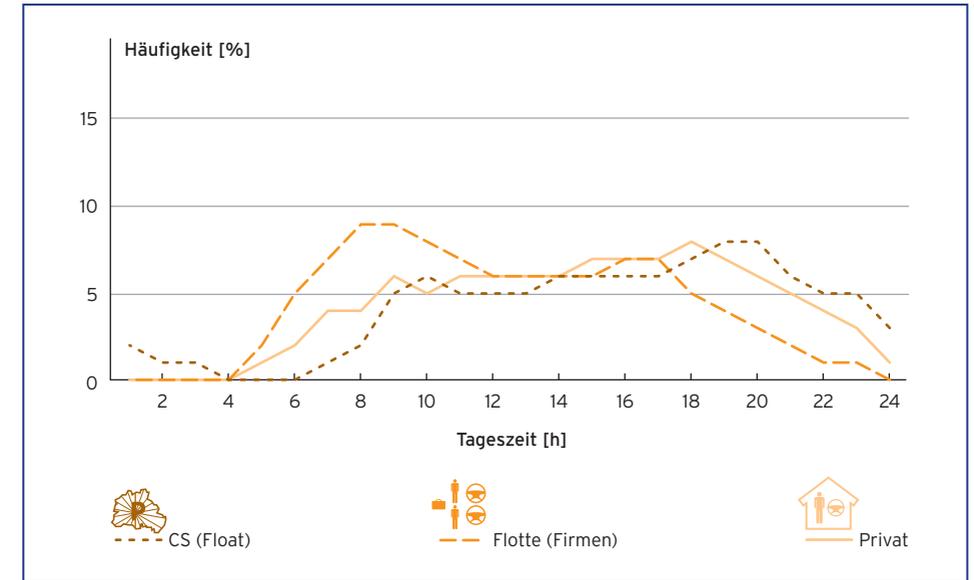


Abbildung 3.9: Fahrbeginn je Fahrt (Minis nach Einsatzkontext)

Betrachtet man das Segment Minis im Detail (siehe Abbildung 3.9), zeigen sich folgende Bilder: Beim Floating nimmt die Nutzung über den Nachmittag zu und erreicht am Abend ihr Maximum. Die Fahrzeuge werden darüber hinaus auch spät abends/nachts und sogar bis in den frühen Morgen hinein vergleichsweise häufig genutzt (23% der Fahrstarts zwischen 21 und 3 Uhr). Bei den Firmenflottenfahrzeugen hingegen beginnt bereits ein Viertel aller Fahrten vor 8 h morgens, bis mittags sind bereits über 50% der Fahrten erfolgt und nach 18 h finden nur noch ca. 10% der Fahrten statt. Fahrzeuge im privaten Einsatz weisen einen ähnlichen Verlauf wie Floating-Fahrzeuge auf, wobei die Nutzungszeiten um ca. zwei Stunden nach vorne verschoben sind. Der Peak am Abend fällt etwas geringer aus als beim Carsharing und insbesondere die häufigen Fahrten spät nachts sind bei den Privatwagen nicht zu verzeichnen.

- Tendenziell sind längere mittlere Fahrdauern als in der ersten Modellregionen Phase zu beobachten.
- In allen Segmenten sind Nutzungs-Peaks am Morgen und nachmittags/abends erkennbar, die unterschiedlich stark ausgeprägt sind und zeitlich variieren.
- Je nach Einsatzkontext ergeben sich deutliche Unterschiede in der Startzeit, wobei die meisten Fahrten zwischen 7 Uhr morgens (Firmenflotte) und 20 h (Carsharing-Floating) erfolgen.

Auch im Wochenverlauf werden die Fahrzeuge sehr unterschiedlich genutzt. Abbildung 3.10 zeigt die verschiedenen Ausprägungen für die wöchentliche Nutzung. Für eine möglichst repräsentative Darstellung wurden die täglichen Fahrleistungen aus KW 2 - 39/2014 für jeden Wochentag überlagert.

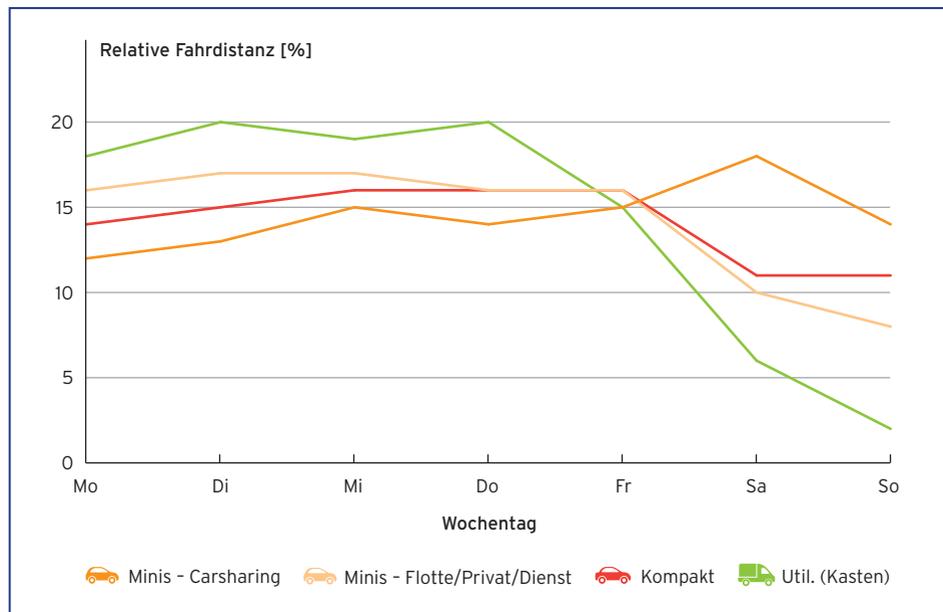


Abbildung 3.10: Wochengang der Fahrdistanz (Minis nach Einsatzkontext; Summe über KW 2 bis 39 2014)

Beim Wochenrhythmus kann prinzipiell zwischen überwiegend werktäglicher Nutzung und überwiegend Wochenendnutzung unterschieden werden. Letztere findet sich insbesondere bei den im Carsharing eingesetzten Minis, mit denen an Samstagen fast 30% mehr Strecke zurückgelegt wird als im Wochendurchschnitt und die auch sonntags wie an Werktagen eingesetzt werden. Alle anderen Einsatzkontexte im Mini-Segment weisen ebenso wie die Kompaktklasse-Fahrzeuge eine überwiegend werktägliche Nutzung auf, bei der die Fahrdistanz am Wochenende nur etwa 2/3 der werktäglichen Fahrleistung beträgt. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei Kastenwagen, die fast ausschließlich an Werktagen zum Einsatz kommen. Bereits zum Freitag hin nimmt deren Nutzung deutlich ab und an Wochenendtagen werden nur 10-30% der werktäglichen Fahrstrecke erbracht.

- In den meisten Fällen werden die Fahrzeuge vorwiegend unter der Woche gefahren, wobei die tägliche Fahrstrecke am Wochenende um 30-60% zurückgeht.
- Bei Carsharing-Fahrzeugen im Mini-Segment steigt die Fahrleistung zum Wochenende hin deutlich und erreicht ihr Maximum an Samstagen mit einer Zunahme der gefahrenen Strecke um ca. 30%.

>> 3.2.4 ENERGIEVERBRAUCH

Der Energieverbrauch spielt vor dem ökologisch-ökonomischen Hintergrund eine entscheidende Rolle. Auf Basis der bisher erhobenen Daten ergeben sich für die Segmente Minis, Kompaktwagen und Utilities (Kastenwagen) die in Tabelle 3.3 dargestellten Verbrauchswerte.



Umweltbegleitforschung Modellregionen Elektromobilität Phase II (2012ff.)			Umweltbegleitforschung Modellregionen Elektromobilität Phase I (KoPa II) [27]		Mittl. Verbrauch nach NEFZ (Tabelle 3.1)
Segment		Energieverbrauch [kWh/100 km]	Segment	Energieverbrauch [kWh/100 km]	Energieverbrauch [kWh/100 km]
	Minis	14,4	Minis und Kleinwagen	17,2	13,9
	Kompakt BEV	23,3	Kompakt- und Mittelklasse	16,9	14,9
	Util. (Kasten)	31,1	Utilities (Kasten- und Lieferwagen)	30,4	-

Tabelle 3.3: Durchschnittlicher Energieverbrauch (Segmente)

Dem gegenüber gestellt sind die mittleren Verbrauchswerte, die im Rahmen der Umweltbegleitforschung 2009-2011 [27] ermittelt wurden. Aufgrund der unterschiedlichen Segmentzusammensetzung ist ein direkter Vergleich der Daten nur bedingt aussagekräftig. Zudem beinhaltet z. B. der Erfassungszeitraum für das kombinierte Kompakt- und Mittelklassesegment aus der ersten Phase keinen Wintereinsatz. Aufgrund des längeren Betrachtungszeitraumes erscheinen die in der aktuellen Begleitforschung ermittelten Verbrauchswerte für die Kompaktklasse BEV plausibler und stimmen gut mit Verbrauchswerten für den praxisgerechteren Artemis-Fahrzyklus unter Hinzuschaltung von Nebenverbrauchern überein [21]. In Tabelle 3.2 sind weiterhin die nach Zulassungszahlen gewichteten Segmentdurchschnittswerte basierend auf NEFZ-Daten wiedergegeben. Im Vergleich dazu ist der Unterschied im real ermittelten Verbrauch zwischen den Minis und der Kompaktklasse zum aktuellen Stand deutlich ausgeprägter. Mit einer Erweiterung des Betrachtungszeitraums und einer weiteren Erhöhung der Fahrzeugzahlen wird sich zeigen, ob sich diese Tendenz verfestigt.

Für Minis (s. Abbildung 3.11) liegt im Einsatzkontext Carsharing (mehrere Fahrzeuge) der durchschnittliche Energieverbrauch mit 18,2 kWh/km am höchsten, am niedrigsten bei Dienstwagen mit 13,0 kWh/100 km. Firmenflottenfahrzeuge und Privatwagen liegen mit 15,3 bzw. 14,1 kWh/100 km dazwischen.

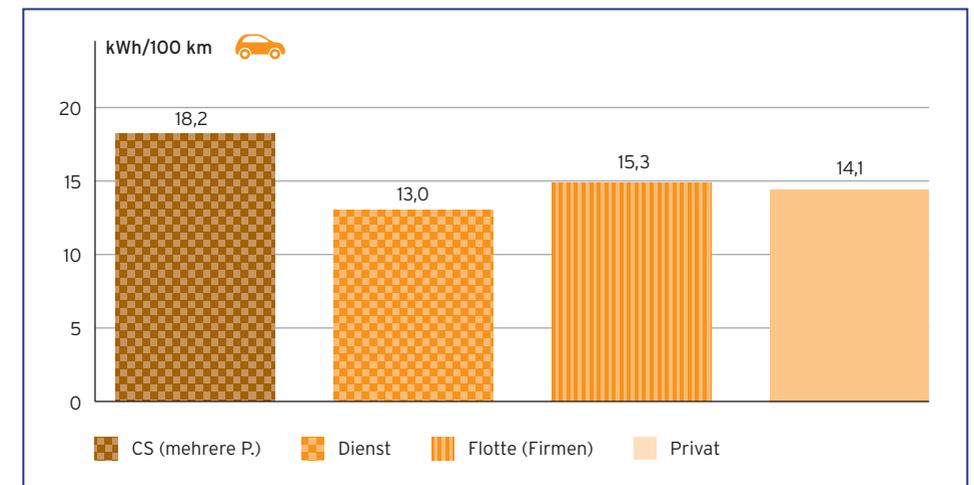


Abbildung 3.11: Durchschnittlicher Energieverbrauch (Minis nach Einsatzkontext)

Im Zusammenhang mit ihrem Energieverbrauch wird häufig die eingeschränkte Reichweite von Elektrofahrzeugen im Winter diskutiert. Diese resultiert einerseits aus der verringerten Leistungsfähigkeit der Batterie bei tieferen Temperaturen. So reduziert sich deren nutzbarer Energieinhalt zwischen 25 °C und 0 °C um ca. 17%. Dazu kommt ein erhöhter Stromverbrauch für die im Winter vermehrt erforderlichen Nebenaggregate wie Licht (100-120 W), Scheibenwischer (80-150 W) oder Heckscheibenheizung (200 W; alle Angaben nach [7]). Für eine elektrische Innenraumheizung bzw. Klimaanlage müssen sogar 3-5 kW veranschlagt werden [11][18]. Die verfügbare Reichweite im Winter reduziert sich bei Verwendung einer elektrischen Heizung insgesamt auf 40-70% der Reichweite im Sommer [1][3][9][15][22][24].

Abbildung 3.12 zeigt über zwei Jahre die saisonale Abhängigkeit des Verbrauchs von der Außentemperatur für eines der Mini-Modelle. Dazu wurden die durchschnittlichen Verbräuche aller Fahrzeuge des Modelltyps in einer Region und die zugehörige regionale Tagesmitteltemperatur über die Zeit aufgetragen.

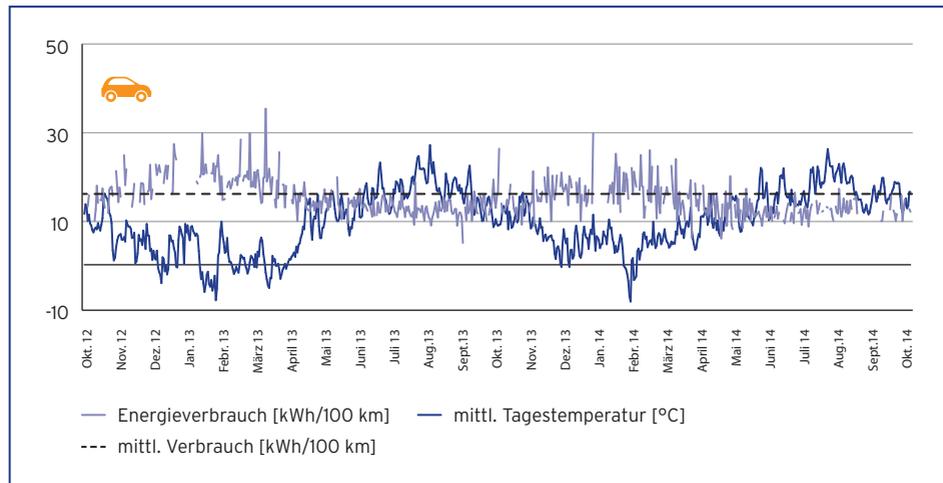


Abbildung 3.12: Einfluss der Außentemperatur auf den Verbrauch für ein ausgewähltes Fahrzeugmodell aus dem Minis-Segment

- Der durchschnittliche Energieverbrauch der Minis liegt zwischen ca. 13 und 18 kWh/100 km. BEV-Kompaktklassewagen verbrauchen im Schnitt rund 23 kWh auf 100 km.
- Der mittlere Energieverbrauch im Winterhalbjahr liegt bis zu 50% über dem des Sommerhalbjahres. Dies stimmt mit anderen Angaben zur Reichweitenreduzierung von Elektroautos im Winter überein.

>> 3.2.5 START- UND END-STATE OF CHARGE (SOC)

Der State of Charge (SOC) kennzeichnet die noch verfügbare Kapazität der Traktionsbatterie im Verhältnis zur Gesamtkapazität. Die Untersuchung der Start- und End-SOC batterieelektrischer Fahrzeuge gibt einen Anhaltspunkt, in wie weit die Fahrzeuge auch mit nur teilweise geladener Batterie eingesetzt werden und bis zu welchem Grad die verfügbare Batteriekapazität bei den Fahrten ausgenutzt wird. Dabei zeigt sich in Abbildung 3.13, dass bei BEV-Kompaktklassewagen im Vergleich zu Minis und Utilities (Kastenwagen) die Bandbreite der Batteriekapazität insgesamt besser genutzt wird, indem auch bei teilentladenen Batterien häufiger noch Fahrten begonnen werden und der SOC nach der Fahrt im Mittel entsprechend geringer ist. So enden ca. 30% der Fahrten mit einem SOC unter 50%, während dieser Anteil bei Minis und Utilities nur 20% beträgt.

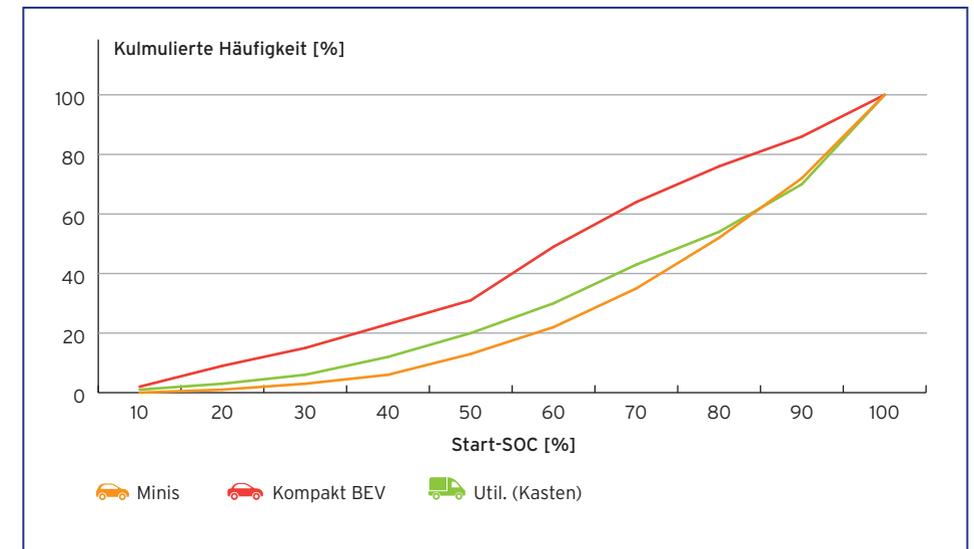


Abbildung 3.13: SOC bei Fahrtbeginn (Segmente)

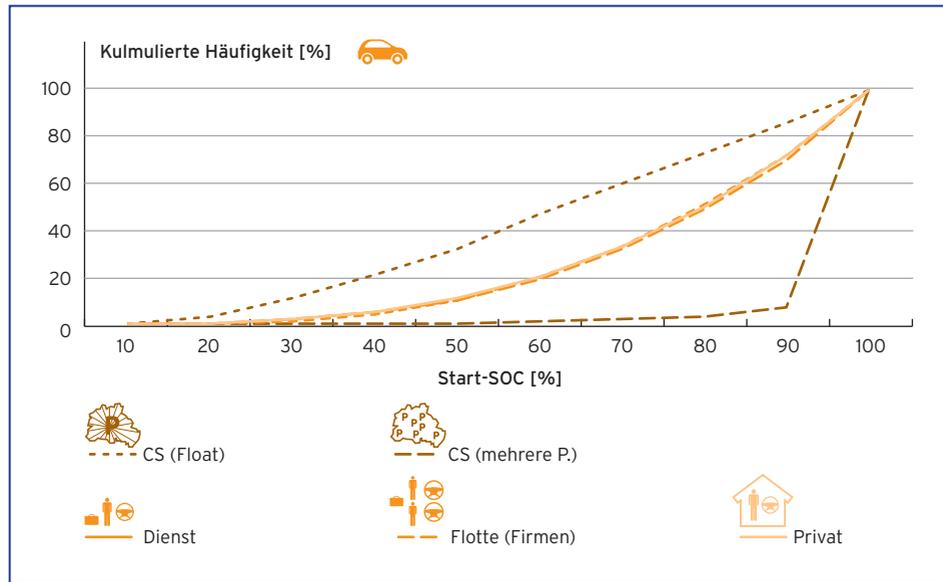


Abbildung 3.14: SOC bei Fahrtbeginn (Minis nach Einsatzkontext)

Innerhalb des Mini-Segments ergeben sich dabei deutliche Unterschiede zwischen den Nutzungen (Abbildung 3.14). Auffallend sind hier Carsharing (mehrere Parkplätze)-Fahrzeuge, die fast immer „voll“ (SOC > 90%) gestartet werden. Es werden nur vereinzelt Fahrten mit einem SOC < 50% begonnen. Hingegen werden Floating-Fahrzeuge relativ gleichmäßig über nahezu den gesamten SOC-Bereich genutzt. Viele Fahrten erfolgen bei bereits teilentladener Batterie: Bei etwa der Hälfte aller Fahrten liegt der Start-SOC unter 60% und bei 10% der Fahrten sogar unter 30%. Es spiegelt sich wider, dass die Fahrzeuge an einer beliebigen Stelle (mehrheitlich ohne Lademöglichkeit) im Verkehrsraum zurückgegeben werden können. Nur bei bereits stark reduziertem Ladestand (z. B. SOC < 30 %) wird den Nutzern das Abstellen an einer Ladesäule vergütet. Beim Carsharing (mehrere Parkplätze) hingegen wird das Fahrzeug praktisch nach jeder Nutzung - gemäß Nutzungsbedingungen - wieder zu einer Ladesäule zurückgebracht und geladen. Bei den anderen Nutzungen wird etwa die Hälfte aller Fahrten bei einem Start-SOC > 80% durchgeführt und lediglich ca. 20% bei einem SOC unter 60%.

Beim Fahrtende ist ein entsprechend heterogenes Bild des End-SOC zu beobachten. So enden bei den Minis im Carsharing (mehrere Parkplätze) weniger als 3% aller Fahrten bei einem SOC unter 40%. Im Free-Floating-Carsharing ist die Ausnutzung der verfügbaren Batteriekapazität am höchsten: hier liegt der End-SOC bei einem Drittel der Fahrten unter 40%. In allen anderen Einsatzkontexten ist dies bei etwa 10% der Fahrten der Fall. Die Nicht-Carsharing-Einsatzkontexte bergen dabei durch die bessere Vorhersehbarkeit anschließender Nutzungen sowie die i. d. R. kurzen Fahrstrecken von maximal 30 km das Potenzial einer deutlich höheren Kapazitätsausnutzung, was jedoch offensichtlich in der Praxis (noch) selten genutzt wird.

- Hohe Ausnutzung der Batteriekapazität im Floating-Carsharing (~1/3 aller Fahrten enden mit einem SOC < 40%), sehr geringe bei Carsharing mit mehreren Parkplätzen (weniger als 10% aller Fahrten enden mit einem SOC unter 90%).
- Insgesamt besteht häufig das Potenzial, die Batteriekapazität noch weiter auszuschöpfen, d. h. die Reichweite der Fahrzeuge wird aktuell noch nicht ausgeschöpft und es könnten noch weitere Fahrten durchgeführt werden, bevor die Fahrzeuge wieder geladen werden. Die Reichweite der Fahrzeuge stellt damit in den meisten Nutzungskontexten angesichts der überwiegenden Kurzstreckeneinsätze (s. Kapitel 3.2.1) keine Beschränkung dar.

>> 3.3 LADEDATENAUSWERTUNG

Die Auswertung der vorliegenden Ladedaten der Minis erfolgt analog zur Fahrdatenauswertung. Die Ladungen der Fahrzeuge können mit Hilfe der Parameter Anzahl der Ladungen, Ladeenergie und Ladedauer charakterisiert werden. Eine ausführliche Aufstellung aller Parameter je Ladung, täglich und monatlich findet sich in Tabelle 4.5 im Anhang.

>> 3.3.1 LADEINTENSITÄT

Bei der durchschnittlichen Ladehäufigkeit in Abbildung 3.15 zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Einsatzkontexten. Die Anzahl der monatlichen Ladungen je Fahrzeug bewegt sich zwischen sieben für ortsgebundenes Carsharing (durchschnittlich sechs Ladetage pro Monat) und 41 Ladevorgängen für Carsharing mit mehreren Parkplätzen (22 Ladetage). Privatwagen werden im Monat im Schnitt 27-mal (14 Ladetage), Dienst- und Firmenwagen 17- bzw. 18-mal geladen (an 12 bzw. 11 Ladetagen).

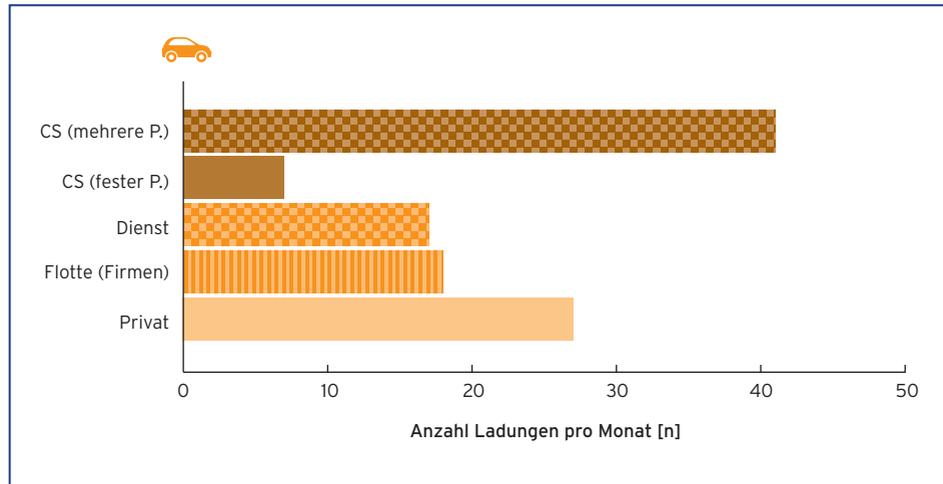


Abbildung 3.15: Durchschnittliche monatliche Anzahl Ladungen je Fahrzeug (Minis nach Einsatzkontext)

>> 3.3.2 LADEBEGINN NACH EINSATZKONTEXT

In Abbildung 3.16 ist die Häufigkeitsverteilung des Ladebeginns für die Minis wiedergegeben. Die Mehrheit der Ladungen findet wie die Fahrten tagsüber von ca. sieben bis 20 Uhr statt. Bereits ab vier Uhr morgens steigt die Ladeintensität steil an und erreicht zwischen neun und zehn Uhr ihr Maximum. Bis 16 Uhr geht die Zahl der Ladevorgänge dann zurück, um sich zwischen 17 und 20 Uhr nochmal zu stabilisieren, bevor sie zur Nacht hin stark abfällt.

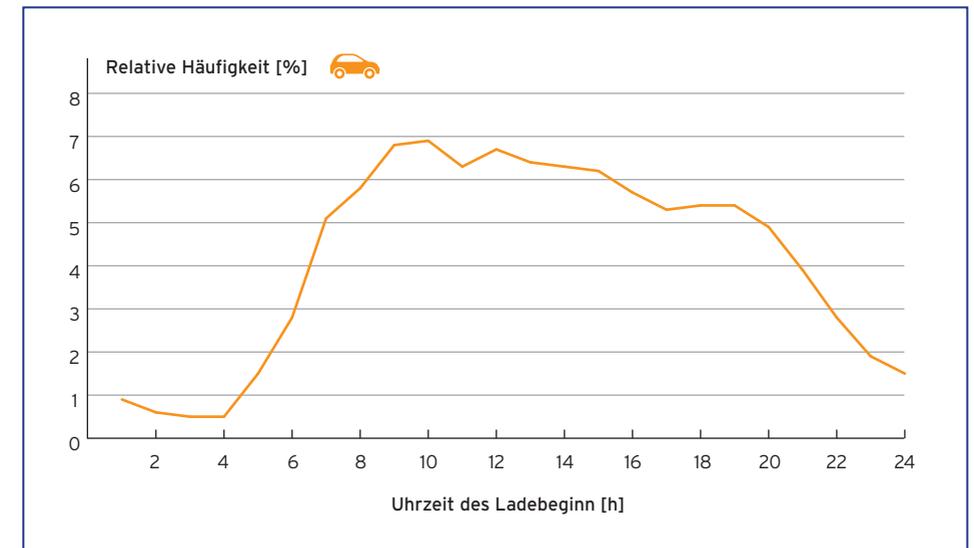


Abbildung 3.16: Relative Häufigkeit Ladebeginn (Minis)

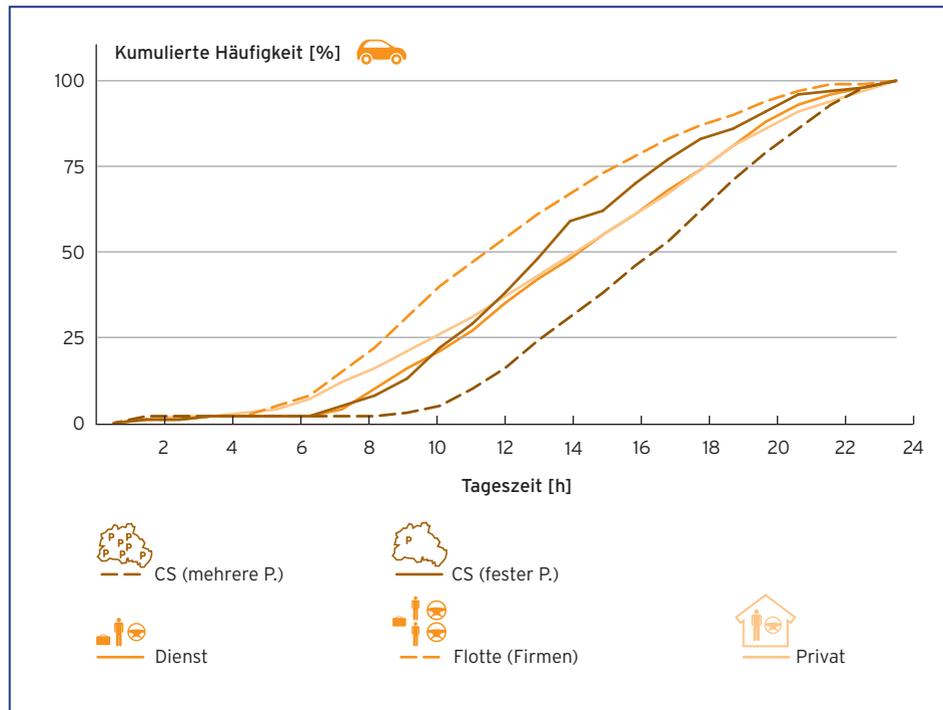


Abbildung 3.17: Kumulierte Häufigkeit Ladebeginn (Minis nach Einsatzkontext)

Auf die Einsatzkontexte übertragen ergibt sich die kumulierte Häufigkeitsverteilung in Abbildung 3.17. Bei Firmenflottenfahrzeugen beginnen mehr als 10% der Ladungen bereits vor 7 Uhr und die höchste Ladeintensität (65% aller Ladungen) liegt zwischen 7 und 15 Uhr. Auch bei Privatwagen beginnen mehr als 10% der Ladungen bereits vor 7 Uhr. Hier ist die größte Intensität zwischen 12 und 19 Uhr (50% aller Ladungen) zu verzeichnen, wobei die Ladungen relativ gleichmäßig über den Tag verteilt sind und auch noch bis 24 Uhr gestartet werden. Bei den Carsharing-Fahrzeugen mit mehreren Parkplätzen fällt auf, dass die Ladungen deutlich später (ab 9 Uhr) beginnen, dafür aber die höchste nächtliche Ladeaktivität (bis 23 Uhr) aufweisen. Dabei wird zwischen 12 und 22 h eine gleichbleibend hohe Intensität mit mehr als 80% aller Ladungen verzeichnet. Beim Carsharing (ein fester Park-

platz) ist eine hohe Ladeaktivität von 10-18 Uhr (70% aller Ladungen) mit einem Maximum von 13-14 Uhr beobachtbar, die dann bis 21 Uhr zurückgeht. Im Vergleich zu Firmenflottenwagen beginnen für Dienstwagen die Ladungen deutlich später, dafür erfolgen von acht bis 20 Uhr gleichbleibend viele Ladestarts (insgesamt über 80%).

- Überraschend viele Ladungen werden bereits früh morgens gestartet. Die hohe Ladeintensität bei Firmenflotten- und Privatwagen korreliert mit den frühmorgendlichen Fahrten in diesen Einsatzkontexten und die Fahrzeuge werden wahrscheinlich nach der Fahrt zum Arbeitsstätte dort geladen.
- Auch für die anderen Nutzungsarten korreliert der morgendliche Ladebeginn mit der Startzeit der Fahrten, lediglich um ca. eine Stunde nach hinten versetzt.

>> 3.3.3 LADEENERGIE

Monatlich werden je nach Einsatzkontext zwischen 26 und 129 kWh je Fahrzeug aufgenommen. Die erfasste Ladeenergie korreliert damit gut mit der monatlichen Laufleistung in den verschiedenen Nutzungskontexten (s. Abbildung 3.18).

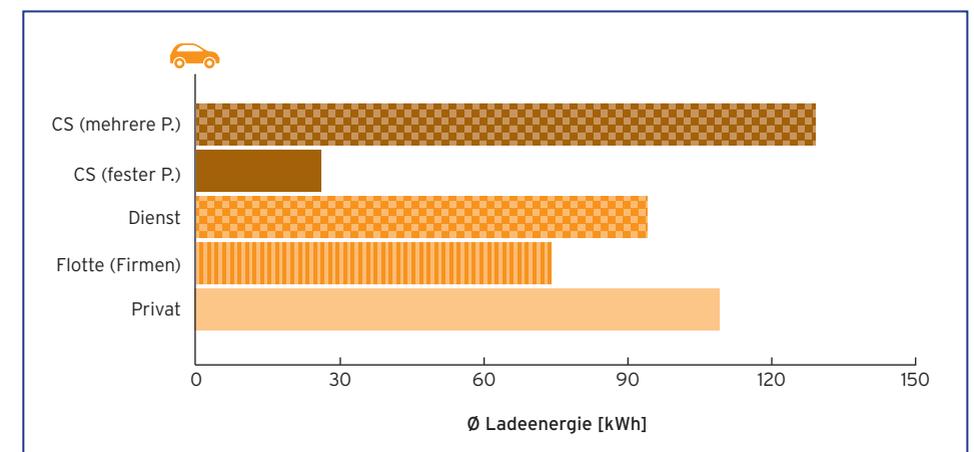


Abbildung 3.18: Durchschnittliche monatliche Ladeenergie je Fahrzeug (Minis nach Einsatzkontext)

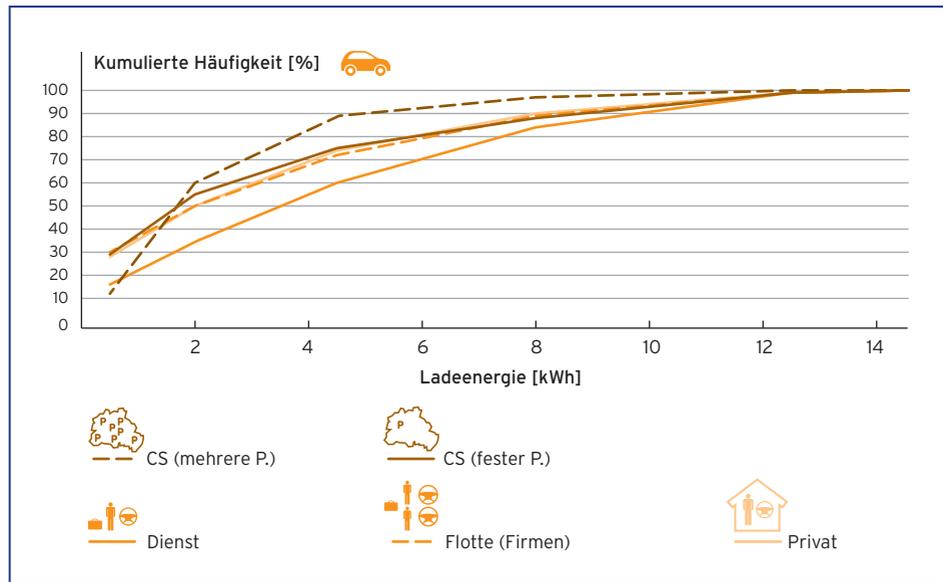


Abbildung 3.19: Kumulierte Häufigkeit der Ladeenergie je Ladung (Minis nach Einsatzkontext)

Betrachtet man die durchschnittliche Ladeenergie je Ladung, ergibt sich mit einer Spanne von 3,2 kWh für Carsharing mit mehreren Parkplätzen bis 5,4 kWh für Dienstwagen ein relativ homogenes Bild (mit durchschnittlich 4,5 kWh wurden in der ersten Modellregionen-Phase vergleichbare Energiemengen je Ladung für Minis und Kleinwagen aufgenommen [26]). Unterschiede zwischen den Einsatzkontexten werden jedoch beim Vergleich der Häufigkeiten der pro Ladung aufgenommenen Ladeenergie sichtbar (siehe Abbildung 3.19). So werden im Carsharing mit mehreren Parkplätzen bei 60% der Ladungen weniger als 3 kWh geladen, bei 90% weniger als 6 kWh und nur in drei Prozent der Fälle erreicht die Ladeenergie mehr als 10 kWh. Damit werden die Fahrzeuge zwar sehr häufig, aber jeweils nur mit einer vergleichsweise geringen Energiemenge geladen. Bei Dienstwagen hingegen werden zwar auch bei 60% der Ladungen weniger als 6 kWh zugeführt, bei 15% aller Ladevorgänge jedoch mehr als 10 kWh. Dabei darf nicht vergessen werden, dass eine Energiemenge von 13-17 kWh im Mini-Segment häufig bereits die volle Ausnutzung der Batteriekapazität bedeutet (modellabhängig).

Bei allen weiteren Nutzungen ergibt sich jeweils ein sehr hoher Anteil von ca. 30% an Mini-malladungen (< 1 kWh) bei einer ansonsten mittleren Ladeenergieaufnahme (70-75% der Ladungen < 6 kWh, gut 10% > 10 kWh).

➤ Die durchschnittliche Ladeenergie für Minis beträgt je nach Einsatzkontext 3,2 bis 5,4 kWh je Ladung. Unterschiede ergeben sich v.a. bei der Ladehäufigkeit und der Bandbreite der pro Ladung aufgenommenen Energiemenge.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen wird auch das Thema Ladeverluste noch näher untersucht. Relevante Einflussparameter sind neben der verwendeten Ladeleistung die Temperatur sowie eine mögliche Vorkonditionierung der Fahrzeuge (z. B. Vorheizung im Winter). Die Ladeverluste gehen als Aufschlagfaktor für den Energieverbrauch während der Nutzungsphase der Fahrzeuge in die ökonomischen Betrachtungen ein und wurden für die vorliegenden Untersuchungen pauschal mit 20% angesetzt (s. Kapitel 3.4.1).

>> 3.3.4 START- UND END-STATE OF CHARGE (SOC) BEIM LADEN

Die häufig geringen Ladeenergiemengen deuten wie die Untersuchungen zu Start- und End-SOC beim Fahren (s. Kapitel 3.2.5) darauf hin, dass in den meisten Fällen die Batteriekapazität bei weitem nicht erschöpft ist, wenn die Fahrzeuge erneut geladen werden. Dies spiegelt sich auch in der Häufigkeitsverteilung des SOC zu Ladebeginn im oberen Teil der Abbildung 3.20 wieder.

Für die drei Einsatzkontexte Flotte (Firmen), Dienst- und Privatwagen nimmt die Häufigkeit der Ladungen mit zunehmendem SOC bis zu einem Maximum im SOC-Bereich 70 - 80% zu, wobei die Ladungen in ca. 1/4 der Fälle bereits bei einem SOC von noch über 80% erfolgen. Im Carsharing mit mehreren Parkplätzen werden die Fahrzeuge sogar zu 70% bei einem SOC über 80% geladen, was in diesem Fall auch den durchschnittlichen SOC zu Ladebeginn darstellt. Es ist davon auszugehen, dass ein Fahrzeug unabhängig von der Fahrstrecke bei jeder Rückgabe wieder aufgeladen wird. Über alle Einsatzkontexte hinweg liegt der Rest-SOC zu Beginn der Ladung lediglich in weniger als 5% der Fälle unter 20 %, und nur sehr vereinzelt wird die Kapazität der Batterie auch bis weniger als 10% Rest-SOC ausgenutzt.

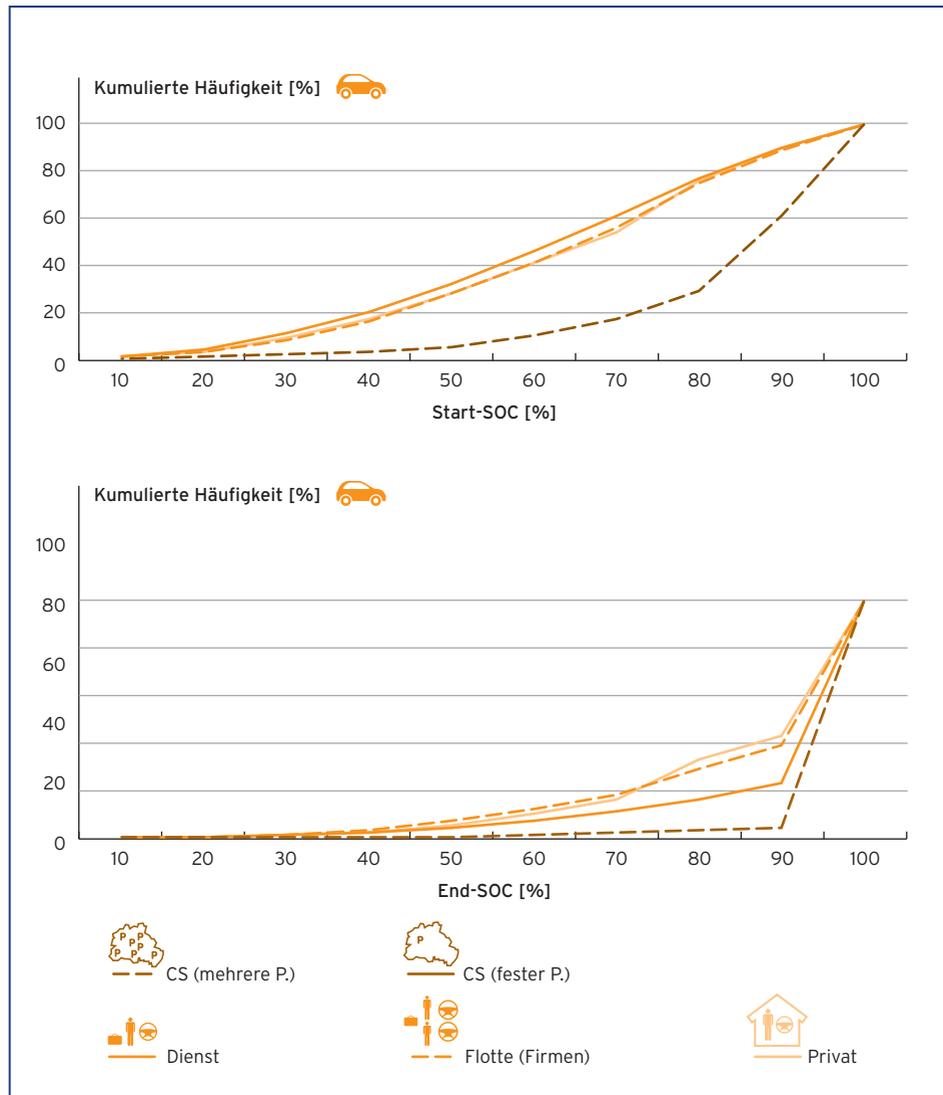


Abbildung 3.20: Start- und End-SOC beim Laden (Minis nach Einsatzkontext)

Abbildung 3.20 verdeutlicht, dass die Fahrzeuge mehrheitlich vollständig geladen werden (SOC am Ladungsende > 90%), allerdings variiert der Anteil der tatsächlich vollständig geladenen Fahrzeuge recht deutlich zwischen den Einsatzkontexten. Während er für Flotten- und Privatwagen bei rund 60% liegt, beträgt er für Dienstwagen fast 80% und für die im Carsharing mit mehreren Parkplätzen eingesetzten Fahrzeuge über 90%. Damit werden (abgesehen vom Einsatzkontext Carsharing) Ladevorgänge häufig auch beendet, bevor die Batterie voll ist. So wird bei den Privatwagen jede dritte Ladung bei einem Ladezustand zwischen 60 und 90% beendet. In seltenen Fällen (ca. 1%) wird der Ladevorgang auch bei weit darunter liegendem SOC (unter 30%) wieder beendet.

- Durchweg erfolgen ca. 1/4 der Ladungen bei einem SOC > 80%, beim Carsharing mit mehreren Parkplätzen sogar 70% aller Ladungen.
- In weniger als 5% der Fälle werden Ladungen bei einem Rest-SOC unter 20% vorgenommen.
- Abgesehen vom Carsharing mit mehreren Parkplätzen erfolgt bei bis zu jeder dritten Ladung nur eine Teil-Ladung mit einem End-SOC zwischen 60 und 90%.

>> 3.4 ÖKOBILANZAUSWERTUNG DER REALDATEN

Im Folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse für die Fahrzeugsegmente Minis, Kompaktwagen und Utilities (Kastenwagen) auf Basis der in Kapitel 3.2 und 3.3 erläuterten Realdaten der Langzeitdatenerfassung vorgestellt. Diese Daten repräsentieren den aktuellen Stand (Sept. 2014) der spezifischen Energieverbräuche und Fahrleistungen der in den Modellregionen eingesetzten Elektrofahrzeuge (BEVs).

Zur Abbildung der Umweltwirkungen der Fahrzeugherstellung und des Lebensendes werden die in Kapitel 2.2 vorgestellten virtuellen Fahrzeuge herangezogen, welche den gewichteten Durchschnitt der in den Modellregionen eingesetzten Elektrofahrzeuge darstellen. Für das BEV im Mini-Segment wird ein Fahrzeug mit einer Gesamtmasse von 1.020 kg und einer Lithium-Ionen-Batterie von 15,5 kWh herangezogen. Das virtuelle Fahrzeug der Kompaktklasse hat ein Gesamtgewicht von 1.520 kg und eine 22,6 kWh Batterie und für das Utilities (Kastenwagen)-Segment wird ein Gesamtgewicht von 1.500kg und einer 22,3 kWh Batterie angenommen.

Die ökobilanzielle Auswertung der erhobenen Realdaten erfolgt in drei Schritten. Zunächst werden lediglich die erfassten Realdaten des Fahrenergieverbrauchs in der Berechnung berücksichtigt. Die Gesamtfahrleistung der Fahrzeuge wird gemäß der allgemeinen Rahmenbedingungen (Kapitel 2.2) mit 150.000 km in 12 Jahren Fahrzeugnutzung angenommen. Anschließend werden zusätzlich die spezifischen Fahrleistungen der Fahrzeuge in den untersuchten Einsatzkontexten zu Grunde gelegt. In beiden Auswertungen wird davon ausgegangen, dass der benötigte Ladestrom über den deutschen Netzstrommix bereitgestellt wird. Darauf aufbauen folgt die Analyse der potentiellen Einsparpotentiale durch die Verwendung eines Ladestroms aus erneuerbaren Energien.

>> 3.4.1 AUSWERTUNG REALDATEN: FAHRENERGIEVERBRAUCH

Die erhobenen Fahrenergieverbrauchsdaten der Langzeitdatenerfassung stellen den reinen Energieverbrauch am Antrieb dar. Ladeverluste sind nicht enthalten. Um den gesamten Energieverbrauch der Fahrzeuge am Stromnetz abzubilden wird dem Energieverbrauchswert ein zusätzlicher Ladeverlust von 20% zugerechnet (vgl. Kapitel 3.3.3, [5][11][12][16]). Der Anteil der Ladeverluste ist in den folgenden Abbildungen separat ausgewiesen.



Tabelle 3.4 fasst die hinterlegten Verbrauchsdaten für die betrachteten Segmente und ausgewählten Einsatzkontexten zusammen.

Durchschnittlicher Stromverbrauch nach Fahrzeugsegment		Stromverbrauch im Fahrzeug (Langzeitdatenerfassung) [kWh / 100 km]	Annahme Ladeverluste [%]	Stromverbrauch am Stromnetz [kWh / 100 km]
Mini-Segment				
	Segmentdurchschnitt	14,4	20,0	17,3
	Carsharing (mehrere P.)	18,2	20,0	21,9
	Dienstwagen	13,0	20,0	15,6
	Flotte (Firmen)	15,3	20,0	18,3
	Privatwagen	14,1	20,0	16,9
Kompaktklasse-Segment				
	Segmentdurchschnitt	23,3	20,0	27,9
	Flotte (Firmen)	22,9	20,0	27,5
Utilities (Kastenwagen)				
	Segmentdurchschnitt	31,1	20,0	37,3
	Flotte (Firmen)	31,1	20,0	37,3

Tabelle 3.4: Segment- und einsetzungsspezifischer Fahrenergieverbrauch der Langzeitdatenerfassung

Für das Mini-Segment wurde in der Langzeitdatenerfassung ein durchschnittlicher segment-spezifischer Fahrenergieverbrauch von 14,4 kWh/100 km ermittelt (vgl. Kapitel 3.2.4.). Unter Berücksichtigung zusätzlicher Ladeverluste von 20% ergibt sich ein Verbrauch am Stromnetz von 17,3 kWh/100 km. Der ermittelte Realverbrauch liegt somit ca. 24% höher als die ermittelten NEFZ-Verbrauchswerte des Marktdurchschnitts von 13,9 kWh/100 km (vgl. Kapitel 3.1). Ähnlich verhält es sich bei den Fahrzeugen aus dem Segment Kompaktklasse, wobei hier die ermittelten Verbrauchswerte stärker von den NEFZ-Werten der auf dem Markt erhältlichen Fahrzeuge abweichen.

Auswertung des Fahrzeuglebenszyklus

In Abbildung 3.21 sind die Umweltwirkungen des Fahrzeuglebenszyklus am Beispiel des Mini-Segments dargestellt. Die Ergebnisse sind dazu anhand der relativen Anteile der Lebenszyklusphasen dargestellt. Für die Herstellungsphase (HST) werden die Beiträge der wichtigsten Antriebskomponenten und des restlichen Fahrzeugs separat ausgewiesen. Die Berechnung der Umweltwirkungen der Nutzungsphase basiert auf dem Fahrenergieverbrauch des Segmentdurchschnitts sowie der Annahme einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km. Als Ladestrom wird der deutsche Netzstrommix herangezogen (siehe auch Kapitel 2.2).

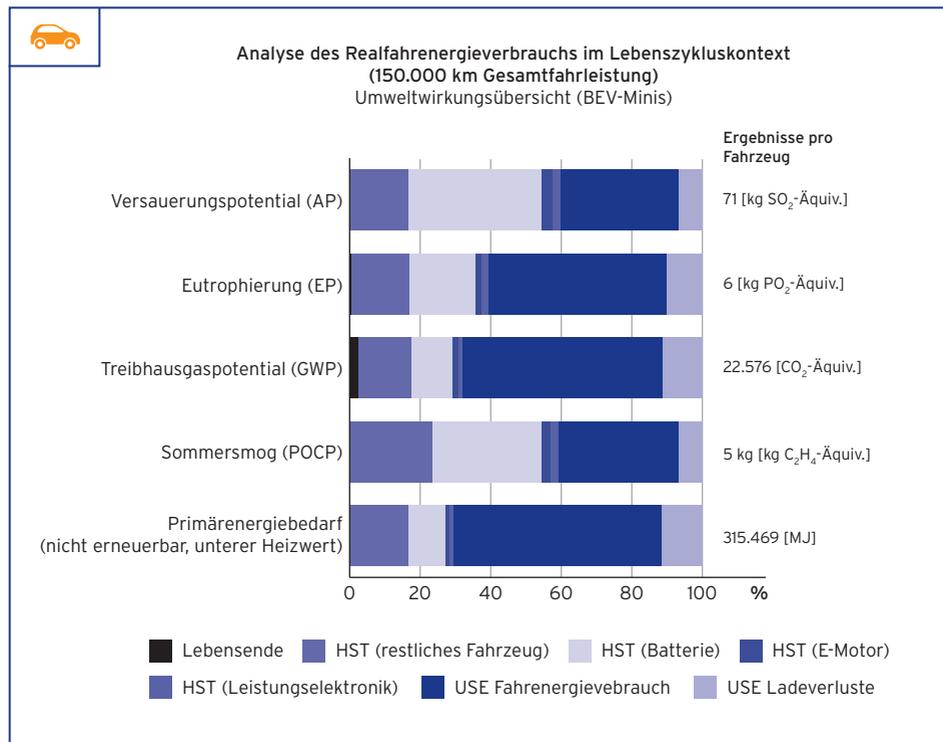


Abbildung 3.21: Realdatenanalyse des Lebenszyklus des BEV-Mini

Abbildung 3.21 zeigt, dass die Nutzungsphase einen wesentlichen Anteil an den untersuchten Umweltwirkungen des Fahrzeuglebenszyklus einnimmt. Die Nutzungsphase ist dabei stark von den individuellen Rahmenbedingungen der Fahrzeugnutzung abhängig. Der Ladestrommix am Nutzungsstandort, die Fahrleistung und der spezifische Fahrenergieverbrauch sind wichtige Einflussfaktoren der Ökobilanz der Elektrofahrzeuge.

Auffällig in allen betrachteten Umweltwirkungskategorien ist zudem der hohe Anteil der Herstellungsphase an den Umweltwirkungen, welche zwischen 30% (GWP) und 60% (AP) des gesamten Lebenszyklus eines BEV im Mini-Segment ausmachen. Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, wird die hohe Relevanz des Batteriesystems an der Herstellungsphase sichtbar. Das Batteriesystem nimmt somit einen wichtigen Stellenwert bei der Ökobilanz der Elektrofahrzeuge ein und stellt eine wichtige Schlüsselkomponente dar. Die vergleichsweise hohen Umweltwirkungen der Batterieherstellung sind auf den hohen Einsatz der im Batteriesystem eingesetzten High-Tech Werkstoffe (vor allem die in der Zellchemie verwendeten Aktivmaterialien der Kathode und Anode) zurückzuführen, welche im Vergleich zu den Werkstoffen des restlichen Fahrzeugs (überwiegend Stahl-Eisenwerkstoffe, Kunststoffe, Leicht- und Buntmetalle) deutlich höhere Umweltwirkungen im Rohstoffabbau und in der Aufbereitung aufweisen. Die Auslegung der Reichweite eines Elektrofahrzeuges hat somit einen hohen Einfluss auf die Ökobilanz, da diese die Dimensionierung des Batteriesystems mitbestimmt.

Vergleichbare Tendenzen lassen sich auch bei den Auswertungen der BEVs des Kompaktwagen-Segments und der Utilities (Kastenwagen) feststellen.

- Die Reichweiten-spezifische Auslegung eines Elektrofahrzeuges hat einen hohen Einfluss auf die Ökobilanz, da diese die Dimensionierung des Batteriesystems mitbestimmt.
- Durch Einsatzkontext gerechte Fahrzeugwahl und -dimensionierung kann das Umweltprofil weiter verbessert werden

Bandbreiten durch einsatzkontextspezifische Fahrenergieverbrauchswerte

Die erhobenen Fahrenergieverbräuche und Fahrleistungen aus der Langzeitdatenerfassung lassen sich den spezifischen Einsatzkontexten der Fahrzeuge in den Modellregionen zuordnen. Dadurch soll ein besseres Verständnis über die Einsatzprofile der Fahrzeuge in verschiedenen Nutzungskonzepten geschaffen werden. Wie aus Tabelle 3.4 ersichtlich ist, variieren die Realverbrauchsdaten in den verschiedenen Einsatzkontexten. Bei den Fahrzeugen

im Mini-Segment reichen die Verbrauchswerte je nach Einsatzkontext von 13,0 kWh/100 km bis 18,2 kWh/100 km. Inklusive der veranschlagten Ladeverluste von 20% ergibt sich ein Strombedarf am Stromnetz von 15,6 kWh/100 km bis 21,9 kWh/100 km.

In Abbildung 3.22 sind die einsatzkontextspezifischen Treibhausgasemissionen pro Fahrkilometer am Beispiel der Fahrzeuge aus dem Minis-Segment dargestellt. Es wird von einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km und dem deutschen Strommix 2010 als Ladestrom ausgegangen.

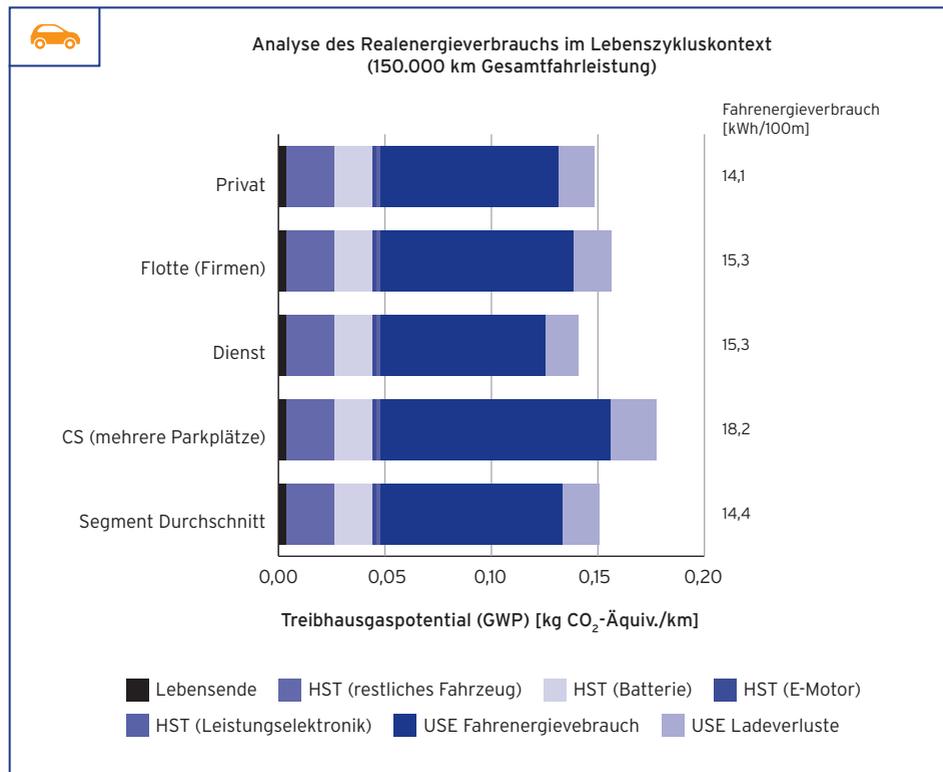


Abbildung 3.22: Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer (BEV-Minis)

Durch die Bandbreiten des erfassten Fahrenergieverbrauchs ergeben sich beim Treibhausgaspotential unter den gewählten Randbedingungen Beiträge zw. 141 und 156 g CO₂-Äquiv. je Fahrkilometer. Wird anstelle des deutschen Netzstrommix der deutsche Ökostrommix als Ladestrom bezogen, so verringern sich die Treibhauspotentiale der Mini-BEV auf Werte zwischen 69 und 78 CO₂-Äquiv./km. Dabei ist zu beachten dass diese Werte die Umweltwirkungen des gesamten Lebenszyklus, also der Fahrzeugherstellung, der Nutzung und des Lebensendes beinhalten. Sie sind daher nicht mit den Fahrbetriebsemissionen (Herstellerangaben zu Abgasen, z. B. in g CO₂ / km siehe Tabelle 3.1) von konventionellen Fahrzeugen vergleichbar.

Bei den Fahrzeugen des Kompaktwagen- und Utilities (Kastenwagen)-Segments lassen sich zum aktuellen Stand der Datenerfassung spezifische Fahrenergieverbräuche für den Einsatz in Firmenflotten ermitteln. Im Kompaktsegment liegen die Verbrauchswerte zwischen 22,9 kWh/100 km und 23,3 kWh/100 km, bzw. 27,5 kWh/100 km und 27,9 kWh/100 km inklusive Ladeverluste. Die Treibhauspotentiale liegen in beiden Fällen in einer Größenordnung von 230 g CO₂/km bzw. ca. 103 g CO₂/km bei Verwendung des deutschen Ökostrommix als Ladestrom. Das Treibhauspotential der Fahrzeuge im Utility (Kastenwagen)-Segment liegen im Segmentdurchschnitt bei 282 g CO₂-Äquiv./km (deutscher Netzstrommix), bzw. 112 g CO₂-Äquiv./km (Ökostrommix).

➤ Das Treibhausgaspotential je Fahrkilometer berechnet sich über die Treibhausgaspotentiale der Herstellung, Nutzung und des Lebensendes. Die Anteile der Herstellungsphase und Entsorgung werden dabei linear über die Lebenszyklusfahrleistung verteilt.

>> 3.4.2 AUSWERTUNG REALDATEN: EINFLUSS DER FAHRLEISTUNG

Wie aus der Lebenszyklusanalyse der BEV aus dem Mini-Segment hervorgeht, hat die Nutzungsphase und somit die erreichbaren Fahrleistungen in den spezifischen Einsatzkontexten einen hohen Einfluss auf die Ökobilanz der Fahrzeuge. Daher werden in der folgenden Auswertung zusätzlich zum ermittelten Fahrenergieverbrauch auch die einsatzkontextspezifischen Realfahrleistungen berücksichtigt. Die Gesamtfahrleistungen werden dazu anhand der in der Langzeitdatenfassung erhobenen durchschnittlichen Monatsfahrleistungen auf eine Fahrzeuglebensdauer von 12 Jahren hochgerechnet. Tabelle 3.5 fasst die segment- und einsatzkontextspezifischen Fahrleistungen zusammen.

Durchschnittliche Fahrleistungen nach Segment und Einsatzkontext		Durchschnittswerte Datenerfassung		Hochrechnung	
		Wegstrecke [km/Fahrt]	Monatsfahrleistung je Fahrzeug [km/Monat]	Jahresfahrleistung je Fahrzeug [km/Jahr]	Gesamtfahrleistung je Fahrzeug [km/12 Jahre]
Mini-Segment					
	Segmentdurchschnitt	7,5	421	5.052	60.624
	Carsharing (mehrere P.)	17,5	745	8.940	107.280
	Dienstwagen	7,0	591	7.092	85.104
	Flotte (Firmen)	6,4	453	5.436	65.232
	Privatwagen	7,9	639	7.668	92.016
Kompaktklasse-Segment					
	Segmentdurchschnitt	9,2	306	3.672	44.064
	Flotte (Firmen)	9,0	336	4.032	48.384
Utilities, leichte NFZ (Kastenwagen)					
	Segmentdurchschnitt	4,0	311	3.732	44.784
	Flotte (Firmen)	4,0	311	3.732	44.784

Tabelle 3.5: Segment- und einsatzkontextspezifische Fahrleistungen (Langzeitdatenerfassung)

Die hochgerechneten Fahrleistungen liegen in den untersuchten Fahrzeugsegmenten bisher unter der veranschlagten Gesamtfahrleistung von 150.000 km (vgl. Tabelle 3.5). Im Mini-Segment liegt der Gesamtfahrleistung im Durchschnitt über alle erfassten Fahrzeuge bei 60.624 km. Je nach Einsatzkontext werden nach aktuellem Stand der Langzeitdatenerfassung Gesamtfahrleistungen von bis zu 107.280 km erreicht. Beim Kompaktklassen-Segment liegen die hochgerechneten Gesamtfahrleistungen bei 44.064 km bis 48.384 km, bei den Fahrzeugen aus dem Utility-Segment bei 44.784 km. Die derzeit geringen Fahrleistungen ergeben sich u. a. durch spezifische Einsatzkonzepte von Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Es ist davon auszugehen, dass die Fahrzeuge sukzessive in reale Einsatzkonzepte überführt werden. Die Erreichung von Fahrleistungen in der Größenordnung der Literaturwerte ist dann über die Lebensdauer möglich. Die Entwicklung der erreichten Laufleistung ist zukünftig zu validieren.

Der Einfluss der Fahrleistung auf die Ökobilanz der eingesetzten Fahrzeuge wird in Abbildung 3.23 am Beispiel des Mini-Segments deutlich. Die Ergebnisse werden beispielhaft für das Treibhauspotential je Kilometer Fahrleistung dargestellt. Durch die geringere Fahrleistung der Fahrzeuge erhöht sich die Relevanz der Herstellungsphase (vgl. Abbildung 3.22). Dadurch ergeben sich für die Treibhauspotentiale je funktioneller Einheit (1 Kilometer Fahrleistung) insgesamt höhere Werte, da die Beiträge der Herstellungsphase und des Lebensendes über eine geringere Fahrleistung verteilt werden. Es ergeben sich bei Betrachtung des Gesamtlebenszyklus für das Treibhausgaspotential bei zusätzlicher Berücksichtigung der Realfahrleistungen Werte von ca. 177 bis 221 g CO₂-Äquiv/km (im Strommix 2010).

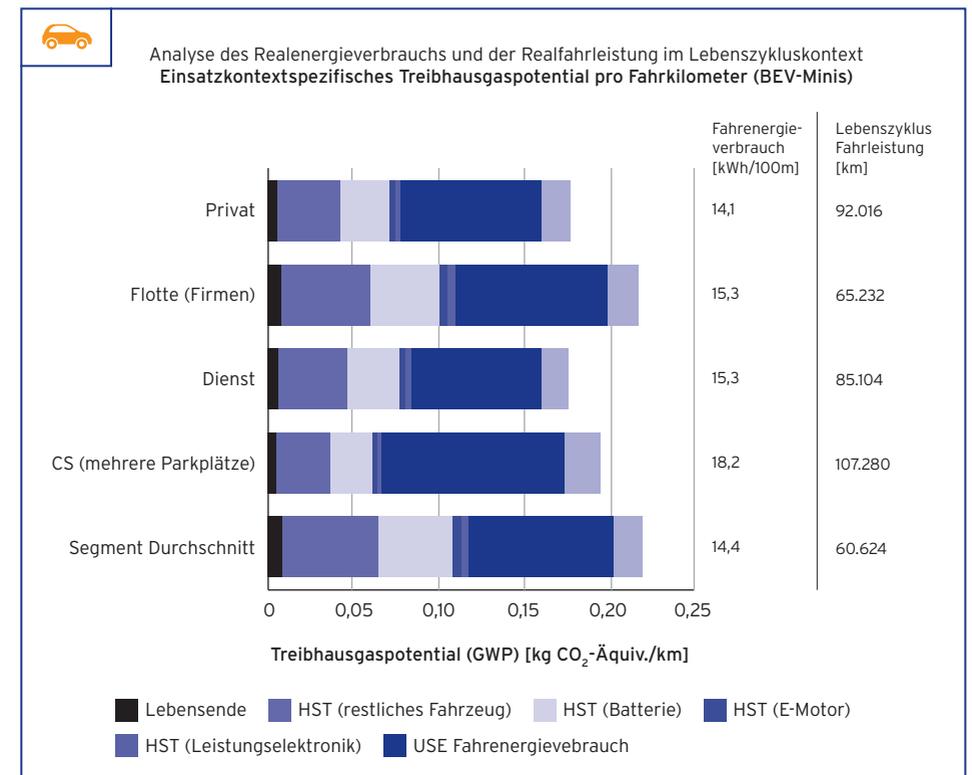


Abbildung 3.23: Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer (BEV-Minis), Strommix Deutschland

Hiermit zeigt sich für die Planung von Elektrofahrzeugflotten, dass für eine ökologisch optimale Auswahl der eingesetzten Fahrzeuge der Bedarf der Nutzer im angestrebten Einsatzkontext eine wichtige Rolle spielt. Das betrifft sowohl die Auswahl des Antriebkonzeptes, die Fahrzeugauslegung (im Falle von BEV beispielsweise die Auslegung hinsichtlich Reichweite) als auch die Auslastung der Fahrzeuge. Fahrzeugflotten sollten also hinsichtlich der spezifischen Bedürfnisse der Nutzer geprüft, zusammengestellt und optimiert werden. Grundsätzlich sind für alle Fahrzeugkonzepte Nutzungsprofile anzustreben, die eine ausreichende Auslastung gewährleisten. Aufgrund der höheren Umweltwirkungen der Herstellungsphase der BEVs im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen mit verbrennungsmotorischem Antrieb gewinnt dieser Aspekt für den ökologisch sinnvollen Einsatz der Fahrzeuge zusätzlich an Relevanz (vgl. Kapitel 3.1).

➤ Die Gesamtfahrleistung hat einen wichtigen Einfluss auf die Ökobilanz der Fahrzeuge. Somit ist eine produktgerechte Auslastung bzw. eine entsprechend hohe Fahrleistung anzustreben. Die Fahrzeugauswahl in einer Fahrzeugflottenzusammenstellung sollte daher sinnvoll, gemäß dem spezifischen Nutzungsprofil und Einsatzkontext erfolgen.

Ladestrommix: Verbesserungspotentiale durch Strom aus erneuerbaren Energien

Wie in Kapitel 2.2 gezeigt, lassen sich die Treibhausgasemissionen der Nutzungsphase durch eine Ladeenergiebereitstellung aus dem Ökostrommix Deutschland 2010 erheblich reduzieren. Aufgrund der einsatzkontextspezifischen Abweichung bzgl. Fahrenergieverbrauch und Lebenszyklusfahrleistung (Auslastung) der Fahrzeuge, ergeben sich so auch für das Treibhausgasreduktionspotential einsatzkontextspezifische Abweichungen. In Abbildung 3.24 sind die möglichen Einsparpotentiale im Treibhausgaspotential, die sich bei den BEVs des Mini-Segment durch den Einsatz von Ökostrom statt des deutschen Netzstrommix ergeben. Je nach Einsatzkontext lassen sich die Treibhauspotentiale des gesamten Lebenszyklus um bis zu 51% auf Werte zwischen 97 und 142 g CO₂-Äquiv./km reduzieren (vgl. Abbildung 3.25).

Auch bei den regenerativen Energien kommen unterschiedliche Stromerzeugungstechnologien und Energieträger zum Einsatz (z. B. Wind-, Wasserkraft, etc.), welche sich in ihren Umweltprofilen unterscheiden. Aus diesem Grund können die Einsparpotentiale je nach Mix an Erneuerbaren Energien zusätzlich variieren.

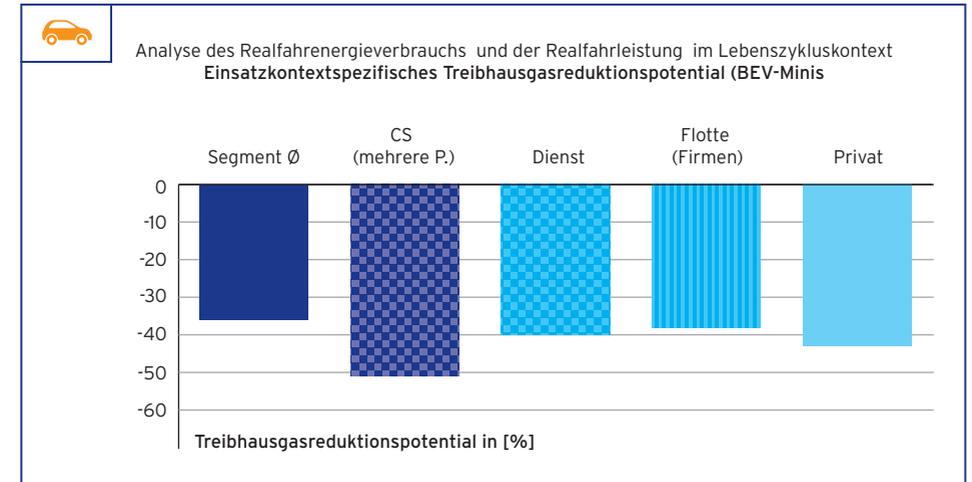


Abbildung 3.24: Einsatzkontextspezifisches Treibhausgasreduktionspotential durch den Einsatz von Ökostrom (BEV-Minis)



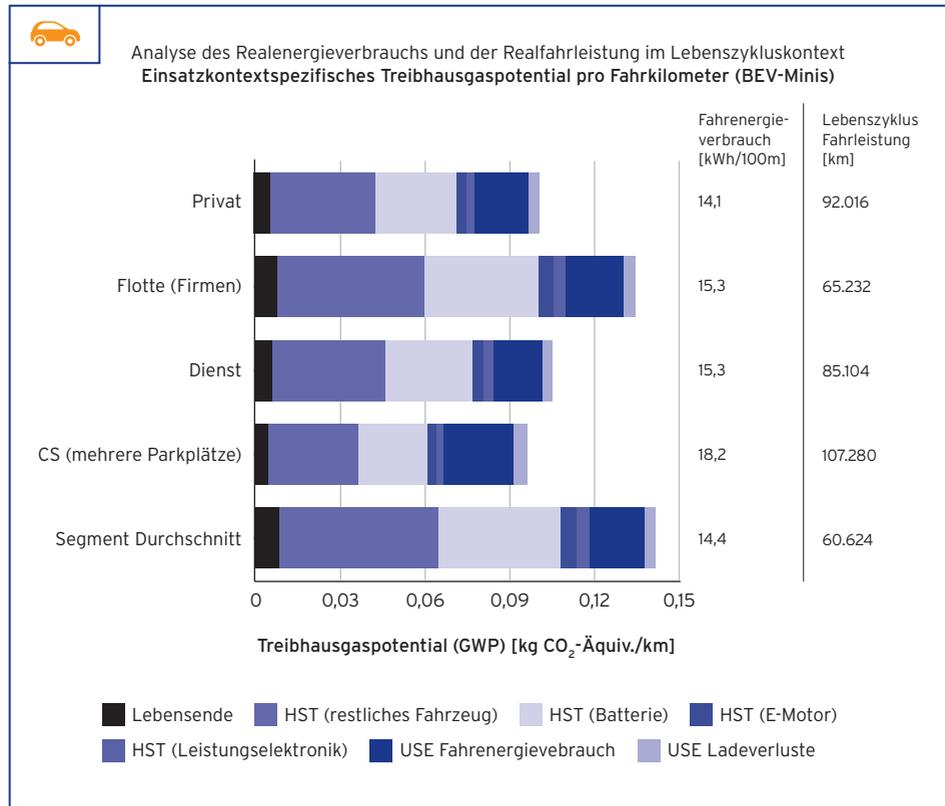


Abbildung 3.25: Einsatzkontextspezifisches Treibhausgaspotential pro Fahrkilometer bei Verwendung des deutschen Ökostrommix (BEV-Minis)

>> 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Schlüsselfaktoren der Umweltbilanz elektrischer Fahrzeuge

Aufgrund der gegenwärtigen Datenverfügbarkeit und der Flottenzusammensetzung in den Modellregionen konzentriert sich die vorliegende Veröffentlichung auf Ergebnisse für die Pkw-Segmente Minis, Kompaktklasse und leichte Utilities (Kastenwagen mit < 1,7 t Leergewicht). Insbesondere für das Segment Minis, das von den Fahrzeugen in der Datenerfassung derzeit den weitaus größten Anteil stellt, konnten aussagekräftige Nutzungsprofile nach den verschiedenen Einsatzkontexten erstellt werden.

Da bisher keine Langzeitdaten von konventionellen Fahrzeugen unter direkt vergleichbaren Nutzungsbedingungen vorliegen, ist eine vergleichende Analyse ihrer Umweltwirkungen auf Basis von Realdaten nicht möglich. Daher wurde ein Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen nur auf Basis der NEFZ-Werte beider Fahrzeugkonzepte durchgeführt. Dieser zeigt, dass die verursachten Umweltwirkungen der Herstellungsphase bei den batterieelektrischen Fahrzeugen (BEVs) im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICE) deutlich an Relevanz gewinnen.

Das Batteriesystem stellt hierbei die Schlüsselkomponente dar. Im Vergleich zum restlichen Fahrzeug werden im Batteriesystem verstärkt High-Tech Werkstoffe eingesetzt (z. B. die Aktivmaterialien der Kathode und Anode), welche mit vergleichsweise hohen Umweltwirkungen in der Herstellung verbunden sind. Andererseits lassen sich die hohen Beiträge der Herstellungsphase über den Lebenszyklus durch geringere Umweltwirkungen in der Nutzungsphase kompensieren. Durch die Nutzung von Ladestrom aus erneuerbaren Energien lassen sich insbesondere die Beiträge zur Klimabilanz im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen deutlich senken. Voraussetzung hierfür sind jedoch höhere Fahrleistungen bzw. eine bessere Auslastung der Fahrzeuge, um das volle Umweltpotential der Fahrzeuge ausschöpfen zu können.

Nutzungsprofile elektrischer Fahrzeuge

Mit durchschnittlich 3,6-4,0 Fahrten je Einsatztag (je nach Segment) stehen die im Einsatz befindlichen Elektrofahrzeuge in der Nutzungshäufigkeit und -dauer vielfach der mittleren Nutzung von Kraftfahrzeugen in Deutschland [17] nicht nach. Die Nutzungsintensitäten in den untersuchten Einsatzkontexten sind dabei jeweils sehr unterschiedlich. Lediglich die elektrischen Utilities werden mit 6,7 Fahrten täglich deutlich seltener eingesetzt als im bundesdeutschen Schnitt.

Während die zurückgelegten Strecken für BEV kürzer ausfallen als bei konventionellen Antrieben, ergibt sich für die eingesetzten Hybridfahrzeuge dieselbe mittlere Fahrdistanz je Fahrt wie im bundesdeutschen Durchschnitt [17]. Die monatlichen Fahrdistanzen innerhalb eines Segments unterscheiden sich dabei je nach Nutzungskontext erheblich. Ebenso variieren die monatlichen Fahrdistanzen für einen Nutzungskontext zwischen den verschiedenen Segmenten. Die monatlich zurückgelegten Strecken der batterieelektrischen Minis liegen in manchen Einsatzkontexten bei über 80% und im Mittel bei etwa der Hälfte des Bundesdurchschnitts [17].

Die Fahrleistungen der elektrisch betriebenen Kompaktwagen und leichten Utilities hingegen liegen im Schnitt unter denen der Minis und betragen nur rund ein Viertel des Bundesdurchschnitts der Laufleistung ihrer Klasse [17]. Deutlich besser schneiden die Kompakt-Hybridfahrzeuge ab, die die dreifache Fahrleistung der Kompakt-BEV und damit 80% der durchschnittlichen Fahrleistung der Kompaktwagen in Deutschland erreichen. Auffällig in diesem Segment sind die extrem großen Unterschiede bei den Fahrstrecken zwischen den Einsatzkontexten, was auf die sehr unterschiedliche Nutzungsintensität zurückzuführen ist.

Die ermittelte Jahresfahrleistung der in den Projekten eingesetzten elektrischen Minis von ca. 5.000 km erscheint zunächst niedrig. Dies entspricht jedoch bereits der Jahresfahrleistung von fast 15% aller Autofahrer [23]. Die Jahresfahrleistung der Kompakt-PHEV liegt mit mehr als 11.000 km sogar über der durchschnittlichen Pkw-Jahresfahrleistung in Deutschland von 10.300 km (ermittelt nach [25]) und übertrifft damit die jährlichen Fahrleistung von mehr als 40% aller Fahrer [23]. Insgesamt ist das Einsatzpotenzial von Elektrofahrzeugen noch weitaus höher, da deren derzeitige durchschnittliche Reichweite von ca. 120 km für 68% aller in Deutschland gefahrenen täglichen Strecken ausreicht [21].

Die aktuellen Ergebnisse der Langzeitdatenanalyse zeigen damit, dass die Fahrzeuge das Mobilitätsbedürfnis vieler Verkehrsteilnehmer und auch die Anforderungen an die Reichweite erfüllen können und damit in hohem Maß praxistauglich sind. Die Ergebnisse zeigen auch, dass im alltäglichen Einsatz die Batteriekapazitäten der Fahrzeuge häufig nicht vollumfänglich ausgeschöpft werden und ein erheblicher Spielraum für längere Fahrstrecken besteht. Derzeitig am Markt verfügbare Fahrzeuge sind damit hinsichtlich der technischen Anforderungen für eine höhere Marktdurchdringung geeignet.

Ökobilanzielle Bewertung der Elektrofahrzeuge auf Basis von Realdaten

Der im realen Fahrbetrieb ermittelte Fahrenergieverbrauch liegt bei Minis mit 14,4 kWh/100 km nur wenig über dem statistischen mittleren Verbrauch nach NEFZ für dieses Segment (s. Tabelle 3.1). Unter Berücksichtigung einer Ladeeffizienz von 80% ergibt sich am Stromnetz ein Verbrauch von 17,3 kWh/100 km. Für elektrische Kompaktwagen ergeben sich mit 23,3 kWh/100 km bzw. 27,9 kWh/100 km in der Realität deutlich höhere Werte als für das NEFZ-Referenzfahrzeug, die jedoch gut von Linssen [21] für den praxisgerechteren „Artemis-Fahrzyklus“ unter Hinzuschaltung von Nebenverbrauchern bestätigt werden. Die mittleren Verbräuche wurden über den gesamten Erfassungszeitraum gebildet, wobei der Fahrverbrauch im Sommer um ca. 25% unter und im Winter entsprechend um ca. 25% über diesem Wert liegt.

Auf Basis der ermittelten Realverbrauchswerte und unter Annahme einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km über eine Nutzungsdauer von 12 Jahren und dem deutschen Netzstrommix als Ladestrom liegen die Beiträge zum Treibhausgaspotential bei den Fahrzeugen im Mini-Segment zwischen 141 und 156 g CO₂-Äquiv. je Fahrkilometer, bei den Fahrzeugen der Kompaktklasse in einer Größenordnung von 230 g CO₂-Äquiv./km und bei den Fahrzeugen aus dem Segment der Utilities (Kastenwagen) bei ca. 282 g CO₂-Äquiv./km.

Bei einem Großteil der Fahrzeugflotten in den Modellregionen wird Ökostrom als Ladestrom eingesetzt. Daher wurden zusätzlich die potentiellen Umweltwirkungen der Fahrzeuge unter Annahme des deutschen Ökostrommix als Ladestrom ermittelt. Für das Treibhausgaspotential ergeben sich dadurch über den gesamten Lebensweg hinweg für die Fahrzeuge im Mini-Segment Werte von 69-78 g CO₂-Äquiv./km., im Kompaktwagensegment Werte von 103 g CO₂-Äquiv./km. und 112 g CO₂-Äquiv./km. im Segment der Utilities (Kastenwagen). Es wird deutlich, dass die zunehmende Bereitstellung von Ökostrom als Ladestrom das ökologische Profil der Elektromobilität in Deutschland stark verbessert. So können beispielsweise im Kontext spezifischer Einsatzfälle Treibhausgasreduktionspotentiale von bis zu 50% gegenüber der Netzstrommix-Betrachtung aufgezeigt werden.

Hinsichtlich des Fahrzeugeinsatzes in den Modellregionen wurden, unter anderem bedingt durch den Forschungs- und Entwicklungscharakter der Projekte, bisher vergleichsweise geringe Gesamtfahrleistungen erreicht. Hochgerechnet liegen diese beim Mini-Segment im Durchschnitt bei ca. 60.000 km und maximal 107.280 km in 12 Jahren, im Vergleich zu den in den im Allgemeinen veranschlagten 150.000 km Gesamtfahrleistung. Im Ergebnis erhöhen sich durch die geringeren Fahrleistungen anteilig die Umweltwirkungen der Her-

stellungsphase und des Lebensendes, was zu höheren Umweltwirkungen je Fahrkilometer führt.

Bei einer solchen Gesamtbetrachtung liegen bei Verwendung des deutschen Netzstrommix die Treibhausgaspotentiale der BEV-Mini über dem gesamten Lebensweg im Segmentdurchschnitt bei ca. 220 g CO₂-Äquiv./km. Die durchschnittlichen Einsparpotentiale durch die Verwendung des deutschen Ökostrommix als Ladestrom liegen im Mini-Segment bei bis zu 50% (97 g CO₂-Äquiv./km).

Empfehlungen

Für zukünftige Erhebungen ist die Erweiterung der Datenbasis um konventionelle Fahrzeuge empfehlenswert, um einen Vergleich der Fahrzeugkonzepte auch auf der Basis von Realdaten zu ermöglichen. Das heißt, konventionelle Verbrennerfahrzeuge sollten mit dem Ziel, Verbrauchsdaten und Laufleistungen unter vergleichbaren Nutzungsbedingungen zu gewinnen, in die Langzeitdatenerfassung mit aufgenommen werden.

Es zeigt sich ebenso, dass im Realbetrieb für die Fahrzeugflotten eine höhere Auslastung der Fahrzeuge angestrebt werden sollte, da die Fahrleistung die Ökobilanz der Fahrzeuge stark beeinflusst. Generell ist somit eine möglichst hohe, produktgerechtere Auslastung der Fahrzeuge zu empfehlen, um die notwendigen Aufwendungen für Herstellung und Lebensende rentabel zu gestalten. Weiterhin sind Mobilitäts- und Einsatzkonzepte zu identifizieren bzw. zu entwickeln, die dieser Forderung gerecht werden. Daher sollten die Ursachen geringerer Auslastungen einzelner Fahrzeuge in spezifischen Einsatzgebieten und Nutzungskonzepten geklärt werden. Im Zuge des Markthochlaufs der Elektrofahrzeuge und der erwarteten Erweiterung des Einsatzspektrums ist die zu erwartende verbesserte Entwicklung der Laufleistung und Auslastung durch ein geeignetes Monitoring zu überprüfen.

Zusätzlich bietet sich eine einsatzspezifischere Dimensionierung der eingesetzten Fahrzeuge an. So könnten beispielsweise mit Blick auf die empirischen Daten große Anteile der Mobilitätsbedürfnisse auch mit Fahrzeugen bedient werden, die eine kleinere Batterie aufweisen. Die Fahrzeugauswahl in einer Fahrzeugflottenzusammenstellung sollte daher entsprechend dem spezifischen Nutzungsprofil und Einsatzkontext erfolgen. Weiterhin sollte sichergestellt werden, dass die Fahrzeuge mit Ladestrom mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien versorgt werden, um das volle ökologische Potential der Elektrofahrzeuge ausschöpfen zu können.

Weiteres Vorgehen

Die vorgestellten Ergebnisse der Ökobilanz wurden auf Grundlage des aktuellen Stands der Langzeitdatenerfassung erstellt. Insbesondere die hochgerechneten Fahrleistungen lassen daher derzeit ausschließlich eine Momentaufnahme der Nutzungsdaten aus den Fahrzeugflotten der Modellregionen zu. Es lassen sich auf dieser Basis noch keine allgemeingültigen Rückschlüsse zu Fahrzeugen, Segmenten und Einsatzkontexten ziehen. Im weiteren Verlauf der Langzeitdatenerfassung ist zu klären, ob sich diese Daten für die untersuchten Fahrzeuge und Einsatzkontexte bestätigen. Dabei ist ein Untersuchungsschwerpunkt „optimale Einsatzkonzepte für E-Fahrzeuge“ noch konkreter zu definieren. Weiterhin sollen für die bereits untersuchten Einsatzkontexte Potentiale für eine verbesserte Auslastung identifiziert werden.

Im Vergleich zum vorhergehenden Forschungszeitraum im Förderschwerpunkt Modellregionen Elektromobilität (2010–2011) befinden sich zum jetzigen Zeitpunkt mehr Fahrzeuge in der Auswertung. In Abstimmung mit den aktuell laufenden Projekten sollen im weiteren Verlauf nach derzeitiger Planung insgesamt über 800 Fahrzeuge in die Erfassung aufgenommen werden, womit die Datengrundlage nochmals deutlich verbessert wird. Damit werden spezifische Auswertungen für weitere Fahrzeugklassen und Einsatzzwecke möglich. Mit der größeren Datenbasis kann zudem der Einfluss von Parametern wie Temperatur oder Streckenlänge auf den Verbrauch wesentlich genauer evaluiert werden.

Zu den Realverbräuchen der Hybridfahrzeuge können aktuell noch keine belastbaren Aussagen getroffen werden. Die Verbrauchsanalyse für PHEV bildet einen weiteren Arbeitsschwerpunkt, der in enger Abstimmung mit dem Arbeitskreis Ökobilanzen der AG „Pkw und Nutzfahrzeuge“ untersucht wird. Dies ermöglicht dann ebenfalls den ökobilanziellen Vergleich zwischen BEV und PHEV für verschiedene Einsatzkonzepte eines Segments.

Weiterhin ist die Bestimmung der realen Ladeverluste von besonderer Bedeutung, da diese wesentlich die Umweltwirkungen der Fahrzeuge beeinflussen. Dies wird mit der parallelen Erfassung von Lade- und Fahrdaten für eine zunehmende Anzahl von Fahrzeugen ebenfalls ermöglicht.

Die abschließenden Ergebnisse der AG „Pkw und Nutzfahrzeuge“ werden diese Fragestellungen umfassend beleuchten.

>> LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **AAA Automotive Research Center:** Extreme Temperatures Affect Electric Vehicle Driving Range, AAA Says. <http://newsroom.aaa.com/2014/03/extreme-temperatures-affect-electric-vehicle-driving-range-aaa-says/>; abgerufen 2014-12-10
- [2] **AG Pkw & Nfz:** Projektstammdaten. 4. Treffen der AG Pkw und Nfz. Präsentation am 20.02.2014 in Berlin.
- [3] **auto motor und sport:** Bis zu 47 Prozent geringere Reichweite. <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/elektroauto-reichweite-bis-zu-47-prozent-geringere-reichweite-im-winter-3295701.html>; abgerufen 2014-12-10
- [4] **Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.:** Bruttostromerzeugung in Deutschland 1990 bis 2013 nach Energieträgern., www.ag-energiebilanzen.de/, zuletzt geprüft 2014-11-20
- [5] **Beermann et al.:** Quo vadis Elektroauto? - Grundlagen einer Road Map für die Einführung von Elektro-Fahrzeugen in Österreich; TU Graz; Joanneum Research; April 2010
- [6] **BMVI/NOW:** Modellregionen Elektromobilität. Quartalsabfrage 3, 2014.
- [7] **Büchner:** Energiemanagement-Strategien für elektrische Energiebordnetze in Kraftfahrzeugen. Cuvillier; Göttingen; 2008 (Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss.)
- [8] **Centre of Environmental Science - Leiden University (CML):** Characterization and normalization factors. Leiden, 2001 URL: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>
- [9] **Das Erste:** Elektroautos im Winter. <http://www.daserste.de/information/ratgeber-service/auto-reise-verkehr/sendung/swr/030313-elektroautos-102.html>; abgerufen 2014-12-10
- [10] **DIN EN ISO 14044:2006-10:** Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung. Beuth Verlag. Berlin, 2006
- [11] **Electric Vehicle News:** How to power heating and A/C in an electric car. <http://www.electric-vehiclenews.com/2009/06/how-to-power-heating-and-ac-in-electric.html>; abgerufen 2014-12-10
- [12] **European Union Seventh Framework Programme:** eLCAr -Guidelines for the LCA of electric vehicles ; Del Duce et al.; Januar 2013
- [13] **GaBi 6:** Software-System und Datenbanken zur Ganzheitlichen Bilanzierung. PE-International in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik. Stuttgart und Echterdingen 2012
- [14] **Held et al.:** Assessment of the environmental impacts of electric vehicle concepts. In: Towards Life Cycle Sustainability Management. Dordrecht: Springer. 2011
- [15] **Hesse et al.:** Einfluss verschiedener Nebenverbraucher auf Elektrofahrzeuge. In: Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität: betriebswirtschaftliche und technische Aspekte. Springer Gabler; Wiesbaden; 2012 (pp 91-104)
- [16] **IFEU - Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH:** Twin Drive Flottenversuch Elektromobilität; Ökologische Begleitforschung zum Flottenversuch Elektromobilität Endbericht, Helms et al.; Heidelberg; Juli 2013
- [17] **infas/DLR:** Mobilität in Deutschland 2008. Projektbericht; Bonn und Berlin; 2010
- [18] **INGENIEUR.de:** Komfortable Elektroautos gewünscht. <http://www.ingenieur.de/Themen/Elektromobilitaet/Komfortable-Elektroautos-gewuenscht>; abgerufen 2014-12-10
- [19] **Kraftfahrt Bundesamt:** Fachartikel: Marken und Modelle; Kraftfahrt Bundesamt; Flensburg; Mai 2011
- [20] **Kraftfahrt Bundesamt:** Fahrzeugzulassungen Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen Jahr 2013; Kraftfahrt Bundesamt; Flensburg; April 2014
- [21] **Linssen et al.:** Netzintegration von Fahrzeugen mit elektrifizierten Antriebssystemen in bestehende und zukünftige Energieversorgungsstrukturen. Advances in Systems Analyses 1; Bd. 150; Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.); Jülich
- [22] **MIT Technology Review:** Electric Vehicles Out in the Cold. <http://www.technologyreview.com/news/522496/electric-vehicles-out-in-the-cold/>; abgerufen 2014-12-10
- [23] **statista:** Autofahrer in Deutschland nach selbst gefahrenen Kilometern pro Jahr von 2010 bis 2014. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/183003/umfrage/pkw-gefahren-kilometer-pro-jahr/>; letzter Zugriff 2014-12-11
- [24] **Umezu:** Air-Conditioning System for Electric Vehicles (i-MiEV). Präsentation; SAE Automotive Refrigerant & System Efficiency Symposium 2010
- [25] **Wermuth et al.:** Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010). Projektbericht; Braunschweig; 2012
- [26] **Wuppertal Institut:** Modellregionen Elektromobilität; Umweltbegleitforschung Elektromobilität; Schallaböck et al.; Wuppertal Report; August 2012
- [27] **Wuppertal Institut:** Umweltbegleitforschung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: Auswahl der Vergleichsfahrzeuge; Teilbericht im Rahmen der Umweltbegleitforschung Elektromobilität im Förderschwerpunkt „Modellregionen Elektromobilität“, Schallaböck, Carpentier; Wuppertal; Januar 2012

>> ABKÜRZUNGEN

AG	Arbeitsgruppe
AK	Arbeitskreis
AP	Versauerungspotential, englisch Adification Potential
LCA	Life Cycle Assessment
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug, englisch Battery Electric Vehicle
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CML	Centrum voor Miliewetenschappen (NL)
DAT	Deutsche Automobil Treuhand
EOL	End of Life
EP	Eutrophierungspotential
EV	Elektrofahrzeuge, engl. Electric Vehicle
GaBi	Abteilung für Ganzheitliche Bilanzierung, Fraunhofer IBP oder gleichnamige Ökobilanzsoftware GaBi
GWP	Treibhausgaspotential, englisch Global Warming Potential
HEV	Hybridfahrzeug ohne Anschlussmöglichkeit an das Stromnetz, engl. Hybrid Electric Vehicle
HST	Herstellung
IBP	Institut für Bauphysik
ICE	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (Verbrennungsmotor, engl. Internal Combustion Engine)
KBA	Kraftfahrt Bundesamt
Leergew.	Leergewicht
LKW	Lastkraftwagen
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NFZ	Nutzfahrzeug
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
PHEV	Plug-In Hybrid, Hybridfahrzeug mit Anschlussmöglichkeit an das Stromnetz, engl. Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PE	Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Quellen (unterer Heizwert)
PKW	Personenkraftwagen
POCP	Photochemisches Oxidationsbildungspotential, englisch Photochemical ozone creation potential
REEV	Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerer, engl. Range Extended Electric Vehicle
SoFi	Performance-Management-Software für Nachhaltigkeit im Unternehmen
SOC	State Of Charge
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
zul. Ggw.	Zulässiges Gesamtgewicht

>> ANHANG

Segment/ Einsatzkontext	Anzahl Fahrzeuge	Anzahl Fahrten	Fahrdistanz [km]	Fahrdauer [Std.]
Segment Minis				
CS (Float)	49	22.541	153.564	17.897
CS (mehrere P.)	5	1.280	22.352	3.580
CS (fester P.)	66	6.598	164.418	27.345
Summe Carsharing	120	30.419	175.916	48.828
Dienst	45	31.242	218.525	6.406
Flotte (Firmen)	91	99.211	637.147	22.582
Flotte (Kommunal)	4	413	2.954	74
Summe Flotte	95	99.624	640.101	22.656
Privat	62	51.377	406.158	11.140
Total	322	212.662	1.440.700	89.030
Kompaktklasse				
CS (mehrere P.)	4 BEV	312	3.424	173
CS (fester P.)	17 PHEV	2.638	46.538	3.177
Summe Carsharing	21	2.950	49.962	3.350
Flotte (Firmen)	18 BEV	6.506	55.815	1.732
	17 PHEV	1.728	36.734	1.468
Flotte (Kommunal)	1 BEV	1.204	12.077	377
Summe Flotte	36	12.079	192.778	10.924
Privat	54 PHEV	29.514	386.250	9.420
Total	111	44.543	628.990	23.694
Utilities				
Util. (Kasten)				
Flotte (Firmen)	30	26.669	105.078	7.580
Util. (Liefer)				
Flotte (Firmen)	7	155	3.557	277
Total	37	26.824	108.635	7.857

Tabelle 4.1: Allgemeine Fahrdaten-Übersicht der Segmente Minis, Kompaktklasse und Utilities nach Einsatzkontext

Segment/ Einsatzkontext	Anzahl Fahrzeuge	Je Fahrt		Täglich je Fahrzeug ¹⁾			Monatlich je Fahrzeug ²⁾			
		Strecke [km]	Dauer [Std.]	Anz. Fahrten	Strecke [km]	Dauer [Std.]	Nut- zungs- tage	Anz. Fahrten	Strecke [km]	Dauer [Std.]
Minis										
CS (Float)	49	6,0	0,8	2,0	12	1,6	13,8	27,5	165	21,7
CS (mehrere P.)	5	17,5	2,8	1,8	32	5,2	23,1	42,7	745	119,3
CS (fester P.)	66	24,9	4,1	1,4	36	6,0	9,2	13,2	328	54,6
Dienst	45	7,0	0,2	4,4	31	0,9	19,2	84,4	591	17,3
Flotte (Firmen)	91	6,4	0,2	4,8	31	1,1	14,8	70,6	453	16,1
Flotte (Kommunal)	4	7,2	0,2	3,8	27	0,7	10,9	41,3	295	7,4
Privat	62	7,9	0,2	4,3	34	0,9	18,6	80,8	639	17,5
(Summe)/ Mittelwert	(322)	7,5	0,4	3,8	28	1,6	15,0	56,4	421	23,6
Kompakt (BEV)										
CS (mehrere P.)	4	11,0	0,6	1,7	19	1,0	4,4	7,6	84	4,2
Flotte (Firmen)	17	9,0	0,3	3,7	33	1,0	10,1	37,2	336	10,2
Flotte (kommunal)	1	10,0	0,3	4,1	41	1,3	9,8	40,1	403	12,6
(Summe)/ Mittelwert	(22)	9,2	0,3	3,6	33,2	1,0	9,2	33,2	306	9,2
Kompakt (PHEV)										
CS (fester P.)	17	17,6	1,2	3,5	62	4,2	8,3	29,0	511	34,9
Flotte (Firmen)	18	35,7	2,7	2,5	89	6,8	8,7	21,5	768	58,4
Privat	54	13,1	0,3	4,3	57	1,4	19,9	86,0	1126	27,5
(Summe)/ Mittelwert	89	15,4	0,6	4,0	62	2,4	15,3	61,0	940	36,6
Utilities (Kasten)										
Flotte (Firmen)	30	4,0	0,3	6,7	26	1,9	11,7	78,9	311	22,4

- 1) Die täglichen Werte beziehen sich auf die Nutzungstage, d. h. ausschließlich die Tage, an denen ein Fahrzeug auch tatsächlich genutzt wurde.
- 2) Die monatlichen Werte beziehen sich auf Nutzungsmonate. Dabei zählt jeder Kalendermonat, in dem eine Fahrt mit einem bestimmten Fahrzeug erfolgt, je als ein Betriebsmonat.
- 3) Ausgegraute Einsatzkontexte werden aufgrund zu geringer Fahrzeugzahl nicht weiter betrachtet.

Tabelle 4.2: Nutzungsübersicht der Segmente Minis, Kompaktklasse und Utilities nach Einsatzkontext

Fahrzeughalter	Täglich je Fahrzeug			Monatliche Strecke je Fahrzeug [km]
	Anzahl Fahrten	Strecke [km]	Dauer [Std.]	
Pkw gewerblicher Halter	5,3	101,7	1,0	175
Pkw privater Halter	3,6	50,7	0,7	934
Lkw ≤ 3,5 t NL gewerbl. Halter	14,3	90,0	1,0	1.365
Lkw ≤ 3,5 t NL privater Halter	7,4	71,7	0,7	1.080

Berechnete Werte auf Basis von [25].

Tabelle 4.3: Durchschnittliche Tages- und Monatswerte von Kraftfahrzeugen in Deutschland

Fahrzeugsegment	Monatliche Strecke je Fahrzeug [km]
Minis	912
Kleinwagen	971
Kompaktklasse	1.169
Mittelklasse	1.334
Obere Mittelklasse	1.439
Geländewagen	1.214
Mini-Vans	1.228
Großraum-Vans	1.617
Utilities	1.459

Berechnete Werte auf Basis von [17].

Tabelle 4.4: Durchschnittliche Monatswerte von Kraftfahrzeugen in Deutschland nach Segmenten

Minis	Anzahl Fahrzeuge	Je Ladung		Täglich je Fahrzeug ¹⁾			Monatlich je Fahrzeug ²⁾			
		Energie [kWh]	Dauer [Std.]	Anz. Ladungen	Energie [kWh]	Dauer [Std.]	Lade-tage	Anz. Ladungen	Energie [kWh]	Dauer [Std.]
CS (mehrere P.)	5	3,2	10,2	1,8	5,9	18,8	22,0	41	129	414
CS (fester P.)	8	4,0	69,0	1,1	4,6	78,7	5,8	7	26	455
Dienst	45	5,4	2,5	1,5	7,8	3,7	12,0	17	94	44
Flotte (Firmen)	74	7,2	2,0	1,7	7,0	2,9	10,6	18	74	31
Privat	61	4,1	2,1	1,9	7,8	4,1	13,9	27	109	57
(Summe)/Mittelwert	193	4,3	2,8	1,7	7,3	4,8	11,7	20	86	56

- 1) Die täglichen Werte beziehen sich auf die Nutzungstage, d.h. ausschließlich die Tage, an denen ein Fahrzeug auch tatsächlich genutzt wurde.
- 2) Die monatlichen Werte beziehen sich auf Nutzungsmonate. Dabei zählt jeder Kalendermonat, in dem eine Fahrt mit einem bestimmten Fahrzeug erfolgt, je als ein Betriebsmonat.

Tabelle 4.5: Übersicht Ladedaten des Segments Minis nach Einsatzkontext

Fahrzeugmodell	Segment
Citroen C-Zero	Minis
CITYSAX Citysax (Chevrolet Matiz)	
EVadapt Fiat500EV	
e-Wolf Delta1	
German E Cars Stromos	
Karabag 500 E	
Mega eCity	
mia electric mia/ mia L mit 12 kWh-Batterie	
Mitsubishi i-MiEV	
Peugeot iOn	
Smart fortwo electric drive (ED) III	
Think City	
VW e-UP	
Chevrolet Volt	
Ford Focus Electric	

Mercedes Benz A-Klasse E-Cell	Kompaktklasse
Nissan Leaf	
Opel Ampera ePionier	
Renault Fluence Z.E.	
Toyota Auris	
Toyota Prius	
Volvo c30 electric	Mini-Vans
Ford C-MAX Energi	
Renault Twizy	Kraftrad
Tazzari Zero	
Citroen Berlingo	Utilities (Kastenwagen)
EcoCraft EcoCarrier	
ePoche Peugeot Partner	
ePoche VW T5	
eWolf Delta2	
Ford Transit Connect Electric	
ISEKI Megaworker	
MB tech (EFA-S)	
Mercedes Benz Citaro G Hybrid	
Renault Kangoo Z. E.	
Renault Maxi Kangoo ZE	Utilities (Lieferwagen)
Ford Transit Electric	
Lauer Nfz Mercedes Benz	
Lauer Sprinter CDI 313	
Mercedes-Benz Vito E-CELL	Leichte Lkw (zul. Ggw. 3,5 t - 7,5 t)
Smith Electric Vehicles Newton	
EMOSS B.V. (NL) (Umbau eines MAN TGL 12.250)	
EFA-S P80-E	

Tabelle 4.6: Fahrzeugsegmentzuordnung

ANSPRECHPARTNER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Referat G21 Elektromobilität
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Telefon: 030 18 300 0

Telefax: 030 18 300 1920

Email: Ref-g21@bmvi.bund.de

Leitung des Themenfelds

Innovative Antriebe und Fahrzeuge

NOW Nationale Organisation Wasserstoff-
und Brennstoffzellentechnologie
Oliver Braune
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

Telefon: +49 (0)30 311 6116-42

Email: oliver.braune@now-gmbh.de

Wissenschaftliche Begleitung der AG Pkw und Nutzfahrzeuge

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
Dipl.-Ing. Roberta Graf
Wankelstraße 5
70563 Stuttgart

Telefon: +49 (0) 711 970-3166

Telefax: +49 (0) 711 970-3190

Email: roberta.graf@ibp.fraunhofer.de

PE International

Dr. Stefan Eckert

Hauptstraße 111

70711 Leinfelden-Echterdingen

Telefon: +49 (0) 711 341817 - 473

Telefax: +49 (0) 711 341817 - 25

Email: s.eckert@pe-international.com

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr
und digitale Infrastruktur (BMVI)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Koordination

NOW Nationale Organisation Wasserstoff-
und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

Autoren

Dipl.-Ing. Roberta Graf,
Dipl.-Ing. Daniel Wehner,
Dr. Michael Held,
Dr. Stefan Eckert,
Dr. Michael Faltenbacher,
Dipl.-Ing. Simone Weidner,
Dipl.-Ing. Oliver Braune

Realisation / Gestaltung

www.agenturfuerstrahlkraft.de

Druck

Ruksaldruck, Berlin

Erscheinungsjahr

2015

