

Betrachtung der Umweltentlastungs- potenziale durch den verstärkten Einsatz von kleinen, batterieelektrischen Fahrzeugen im Rahmen des Projekts „E-Mobility“

Schlussbericht im Rahmen der Förderung der
Modellregionen Elektromobilität des
Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und
Wohnungswesen

Berlin, Oktober 2011

Autoren:

Florian Hacker
Ralph Harthan
Hauke Hermann
Peter Kasten
Charlotte Loreck
Dominik Seebach
Christof Timpe
Dr. Wiebke Zimmer

Unter Mitarbeit von:

Stephan Leppler
Alexandra Möck

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 17 71
79017 Freiburg, Deutschland
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg, Deutschland
Tel. +49 (0) 761 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 761 - 4 52 95-88

Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt, Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 - 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 - 81 91-33

Büro Berlin
Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin, Deutschland
Tel. +49 (0) 30 - 40 50 85-0
Fax +49 (0) 30 - 40 50 85-388

GEFÖRDERT DURCH:



**Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung**

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung* unter dem Förderkennzeichen 03KP515 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Inhaltsverzeichnis

1.	Hintergrund und Zielstellung	1
1.1	Gesamtkontext.....	1
1.2	Projektkontext.....	1
1.3	Ziele des Vorhabens.....	2
2.	Projektdesign	3
3.	Szenarioannahmen	7
3.1	Hintergrund	7
3.2	Fahrzeugtechnik	7
3.3	Ladeinfrastruktur	8
3.4	Energiepreisentwicklung	9
3.5	Mobilitätsverhalten	9
3.6	Entwicklung Kraftwerkspark und Strommarkt.....	10
4.	Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw	11
4.1	Grundsätzliches Vorgehen	11
4.2	Vorgehen für die private Pkw-Nutzung – „Mobilität in Deutschland“ (2008)	12
4.2.1	Datengrundlage	12
4.2.2	Datenaufbereitung und -analyse.....	12
4.3	Vorgehen für die gewerbliche Pkw-Nutzung – „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (2002).....	15
4.3.1	Datengrundlage	15
4.3.2	Datenaufbereitung und -analyse.....	15
4.4	Struktur und Fahrleistung des bundesdeutschen Pkw-Bestands	17
4.5	Ergebnisse der Potenzialanalysen.....	18
4.5.1	Private Pkw.....	19
4.5.2	Gewerbliche Pkw	21
4.6	Zwischenfazit	27
5.	Akzeptanz für batterieelektrische Pkw	28
5.1	Hintergrund	28
5.1.1	Ausgangslage	28
5.1.2	Erkenntnisse aus dem Flottenversuch „E-Mobility Berlin“	29
5.2	Private Pkw.....	30

5.2.1	Akzeptanzbefragung	30
5.2.2	Ergebnis der Akzeptanzanalyse.....	32
5.3	Gewerbliche Pkw.....	34
5.3.1	Unternehmensbefragung	34
	Hintergrund	34
	Teilnehmer und Konzeption der Befragung	34
	Ergebnisse	34
	Einordnung der Stichprobe – Repräsentativität und Vergleich zu anderen Erhebungen	38
5.3.2	TCO-Modell.....	41
	Hintergrund	41
	Methodik	42
	Ergebnis der TCO-Betrachtung.....	45
5.3.3	Ergebnis der Akzeptanzanalyse.....	48
5.4	Zwischenfazit.....	50
6.	Marktszenario für batterieelektrische Pkw	52
6.1	Vorgehen.....	52
6.2	Marktpotenzial privat	53
6.3	Marktpotenzial gewerblich	53
6.4	Marktszenario für batterieelektrische Pkw 2010-2030	54
6.4.1	Marktpotenzial im Kontext des Pkw-Bestands	54
6.4.2	Technologiediffusion	55
6.4.3	Neuzulassungs- und Bestandsentwicklung.....	57
	Vorgehen	57
	Ergebnis.....	57
7.	Fahrzeugeinsatzprofile und Stromnachfrage.....	59
7.1	Hintergrund.....	59
7.2	Vorgehen / Datengrundlage	59
7.3	Typische Fahrzeugnutzung privat.....	60
7.3.1	Nutzungsprofile privat genutzter Pkw.....	61
7.3.2	Auswahl von repräsentativen Wochennutzungsprofilen und weitere Verwendung	63
7.4	Typische Fahrzeugnutzung gewerblich.....	65
7.4.1	Nutzungsprofile gewerblich zugelassener Pkw.....	65
7.4.2	Auswahl von repräsentativen Wochennutzungsprofilen und weitere Verwendung	69
7.5	Integration der Fahrzeugnutzung in die Strommarktmodellierung.....	71

8.	Modellierung des Kraftwerksparks und Emissionsfaktoren Elektromobilität	72
8.1	Vorgehen.....	72
8.1.1	Methodischer Ansatz.....	72
8.1.2	Szenarien	72
8.2	Ergebnisse.....	73
8.2.1	Zeitaufgelöste Darstellung des Kraftwerkseinsatzes	73
8.2.2	Auswertung des Lademanagements für ausgewählte Fahrzeugnutzungsprofile.....	75
8.2.3	Brennstoffmix und CO ₂ -Emissionsfaktoren der zusätzlichen Stromerzeugung ...	78
8.3	Zwischenfazit.....	81
9.	Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw	83
9.1	Vorgehen.....	83
9.2	Treibhausgasbilanz auf Fahrzeugebene.....	84
9.3	Gesamtbilanz für den Pkw-Bestand	87
9.4	Zwischenfazit.....	89
10.	Das regulatorische Umfeld von Elektromobilität	90
10.1	Hintergrund.....	90
10.1.1	Rolle der Elektromobilität	91
10.1.2	Die Frage der ökologischen Zusätzlichkeit	92
10.2	Relevante regulatorische Rahmenbedingungen.....	93
10.2.1	Energie- und Stromsteuergesetz	93
	Beschreibung des Instruments.....	93
	Bezug zur Elektromobilität	95
	Bewertung	95
10.2.2	EU-Emissionshandel.....	96
	Beschreibung des Instruments.....	96
	Bezug zur Elektromobilität	97
10.2.3	Erneuerbare-Energien-Richtlinie.....	98
	Beschreibung des Instruments.....	98
	Bezug zur Elektromobilität	99
	Bewertung	101
10.2.4	Erneuerbare-Energien-Gesetz	102
	Beschreibung des Instruments.....	102
	Bezug zur Elektromobilität	102
	Bewertung	103

10.2.5	Verordnung zur Verminderung der CO ₂ -Emissionen von Personenkraftwagen	105
	Beschreibung des Instruments	105
	Bezug zur Elektromobilität	105
	Bewertung	106
10.2.6	EU-Richtlinie Kraftstoffqualität	107
	Beschreibung des Instruments	107
	Bezug zur Elektromobilität	108
	Bewertung	108
10.2.7	Kfz-Steuer	108
	Beschreibung des Instruments	108
	Bezug zur Elektromobilität	109
	Bewertung	109
10.3	Schlussfolgerungen und Zwischenfazit	109
11.	Zusammenfassung	121
12.	Literaturverzeichnis	124
Anhang A: Szenarioannahmen		128
Anhang B: KiD-Auswertung – Analysen zum gewerblichen Pkw-Bestand (gesamt)		133
Anhang C: KiD-Auswertung – Analysen zum Maximalpotenzial von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Pkw-Bestand und Vergleich zum Gesamtbestand		138
Anhang D: Fragebogen „Elektromobilität in Fahrzeugflotten“		140
Anhang E: Ergebnisse der Unternehmensbefragung „Elektromobilität in Fahrzeugflotten“		146
Anhang F: Annahmen TCO-Modell		163
Anhang G: Fahrzeugnutzungsprofile		165
Anhang H: Stromerzeugung für Elektromobilität		168
Anhang I: Modellbeschreibung PowerFlex		170
	Modul E-Mobilität im Strommarktmodell PowerFlex	171

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektdesign - Übersicht der Eingangsdaten, Analyseschritte und Ergebnisse.....	3
Abbildung 2: Struktur des Pkw-Bestands in Deutschland	17
Abbildung 3: Bestand an Privat-Pkw in Deutschland und Struktur der für Elektrofahrzeuge geeigneten KBA-Segmente	19
Abbildung 4: Privat-Pkw - Struktur der geeigneten KBA-Segmente und Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030, differenziert nach KBA-Segment und Stellplatzverfügbarkeit.....	20
Abbildung 5: Bestand an gewerblich zugelassenen Pkw in Deutschland und Struktur der für Elektrofahrzeuge geeigneten KBA-Segmente	21
Abbildung 6: Tagesfahrleistung von gewerblich zugelassenen Pkw	22
Abbildung 7: Standort von gewerblich zugelassenen Pkw über Nacht.....	23
Abbildung 8: Größe von Unternehmen mit gewerblich zugelassenen Pkw	24
Abbildung 9: Gewerbliche Pkw - Struktur der geeigneten KBA-Segmente und Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030, differenziert nach KBA-Segment	25
Abbildung 10: Sensitivitätsbetrachtung zum Einfluss der Ladeinfrastruktur auf das Maximalpotenzial von gewerblichen Pkw im Jahr 2030.	25
Abbildung 11: Vergleich der Tagesfahrleistung von gewerblichen Pkw aller geeigneten KBA-Segmente mit dem Maximalpotenzial 2020 und 2030.....	26
Abbildung 12: Beispiel einer Conjoint-Task (CAPI)	31
Abbildung 13: Durchschnittliche Tagesfahrleistung der Flottenfahrzeuge in Unternehmen.....	35
Abbildung 14: Bedeutung verschiedener Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung.....	36
Abbildung 15: Akzeptanz eines Gesamtkosten(TCO)-Aufschlags für Elektrofahrzeuge	37
Abbildung 16: Vorerfahrung mit alternativ angetriebenen Pkw im Unternehmensfuhrpark... ..	38
Abbildung 17: Vergleich der Pkw-Segmentstruktur im KiD-Bestand und in den Unternehmensflotten & Unternehmensbefragung	39
Abbildung 18: Vergleich der Ergebnisse der Unternehmensbefragung im Rahmen dieses Projektes mit einer ähnlichen Erhebung im Rahmen des Forschungsvorhabens SaxMobility.....	41
Abbildung 19: Schema TCO-Modell	43
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Restwertbestimmung bei BEV.....	45
Abbildung 21: Ergebnis der Gesamtkosten(TCO)-Analyse von batterieelektrischen Fahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw (Otto / Diesel) für die Jahre 2010, 2020, 2030.....	47
Abbildung 22: Entwicklung der TCO-Struktur und -höhe am Beispiel des Vergleichs eines Otto-Pkw mit einem batterieelektrischen Pkw des Segments „klein“	48

Abbildung 23: Zusätzliche TCO-Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge in gewerblichen Flotten. Illustration des Vorgehens zur Bestimmung der Akzeptanz	49
Abbildung 24: Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten differenziert nach KBA-Segmenten	50
Abbildung 25: Schema zur Bestimmung des Marktszenarios für batterieelektrische Pkw.....	52
Abbildung 26: Marktpotenzial für batterieelektrische Privat-Pkw in den Jahren 2020 und 2030.....	53
Abbildung 27: Marktpotenzial für gewerbliche, batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030.....	54
Abbildung 28: Pkw-Bestand in Deutschland und Marktpotenzial von batterieelektrischen Pkw im Jahr 2020 und 2030	55
Abbildung 29: Reale Marktentwicklung von Beispieltechnologien und deren Simulation nach Gompertz.....	56
Abbildung 30: Technologiediffusionskurve nach Gompertz (Referenz: Marktentwicklung Hybrid-Pkw in den USA).....	57
Abbildung 31: Marktszenario - Entwicklung des Bestands an batterieelektrischen Pkw in Deutschland.....	58
Abbildung 32: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Werktagen – privat genutzte Pkw	62
Abbildung 33: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Samstagen – privat genutzte Pkw	63
Abbildung 34: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Sonntagen – privat genutzte Pkw	64
Abbildung 35: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Werktagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030.....	66
Abbildung 36: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Samstagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030.....	68
Abbildung 37: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Sonntagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030	68
Abbildung 38: Kraftwerkseinsatz in einer ausgewählten Woche in stündlicher Auflösung im Elektromobilitäts-Szenario „ohne LM / ohne EE-Zubau“ für 2030	74
Abbildung 39: Kraftwerkseinsatz in einer ausgewählten Woche in stündlicher Auflösung im Elektromobilitäts-Szenario „mit LM / ohne EE-Zubau“ für 2030	75
Abbildung 40: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 22“.....	76
Abbildung 41: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 27“	76

Abbildung 42: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 3“	77
Abbildung 43: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 5“	78
Abbildung 44: Für Elektrofahrzeuge zusätzlich erzeugter Strom nach Brennstoffen für verschiedene Szenarien 2020	79
Abbildung 45: Für Elektrofahrzeuge zusätzlich erzeugter Strom nach Brennstoffen für verschiedene Szenarien 2030	79
Abbildung 46: CO ₂ -Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien an der zusätzlichen Stromerzeugung für verschiedene Szenarien 2020	81
Abbildung 47: CO ₂ -Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien an der zusätzlichen Stromerzeugung für verschiedene Szenarien 2030	81
Abbildung 48: Treibhausgasbilanz 2030 - Vergleich der spezifischen CO ₂ -Emissionen eines konventionellen Benzinfahrzeugs des KBA-Segments „klein“ mit einem batterieelektrischen Fahrzeugpendant.	85
Abbildung 49: Vergleich der jährlichen CO ₂ -Emissionen von konventionellen und batterieelektrischen Pkw im privaten und gewerblichen Bereich im Jahr 2030... ..	86
Abbildung 50: Entwicklung der elektrischen Jahresfahrleistung und Anteil an der Pkw-Gesamtfahrleistung in Deutschland.....	88
Abbildung 51: Effekt des Marktszenarios für batterieelektrische Pkw auf die CO ₂ -Bilanz des Pkw-Bestands unter Berücksichtigung von Lademanagement (LM) und dem zusätzlichen Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Zubau)	88
Abbildung 52: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Formen der ökologischen Zusätzlichkeit am Beispiel der EE-Erzeugung.....	93
Abbildung 53: Entwicklung des „Caps“ im EU-Emissionshandel bis 2020	97
Abbildung 54: Auswirkungen unterschiedlicher Anteile der Elektromobilität beim Transportsektor-Ziel auf die zu erreichenden sonstigen EE-Mengen.	100
Abbildung 55: Durchschnittliche Emissionen konventioneller Pkw bei einem Ziel von 95 g/km mit steigenden Anteilen elektrischer Pkw an den Neuzulassungen	106
Abbildung 56: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM): Status Quo.....	112
Abbildung 57: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM) unter Berücksichtigung eines angepassten CO ₂ -Flottengrenzwerts sowie einer EE-Zubauanforderung für Elektromobilität mit weicher Zusätzlichkeit (also innerhalb der bestehenden EE-Ausbauziele)	113
Abbildung 58: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM) unter Berücksichtigung eines angepassten CO ₂ -Flottengrenzwerts sowie einer EE-	

Zubauanforderung für Elektromobilität mit harter Zusätzlichkeit (also zusätzlich zu den bestehenden EE-Ausbaenzielen) 114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eigenschaften für Zuordnung zu KBA-Segmenten	16
Tabelle 2:	Ergebnis der Conjoint-Analyse – Fahrzeugwahl in den Jahren 2020 und 2030.....	33
Tabelle 3:	Parameter zur Restwertbestimmung.....	44
Tabelle 4:	Durchschnittliche Jahresfahrleistung [km] von gewerblichen Pkw, die für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen in Frage kommen	46
Tabelle 5:	Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten differenziert nach KBA-Segmenten und Vergleichsantriebstyp	49
Tabelle 6:	Kriterien zur Einteilung von privat genutzten Pkw in Fahrzeugnutzungsprofile.....	61
Tabelle 7:	Kriterien zur Einteilung gewerblicher Pkw in Fahrzeugnutzungsprofile.....	65
Tabelle 8:	Wochennutzungsprofile gewerblich zugelassener, batterieelektrischer Pkw ..	69
Tabelle 9:	Emissionsfaktoren der für Elektromobilität erzeugten Strommenge im Jahr 2020 und 2030. Ergebnis der Strommarktmodellierung (PowerFlex).....	84
Tabelle 10:	Überblick der WtW-Treibhausgasbilanz [g CO ₂ /km] von konventionellen und batterieelektrischen Pkw für unterschiedliche Stromerzeugungsoptionen	85
Tabelle 11:	Ausgaben für einen Otto- und einen batterieelektrischen Pkw über ein Fahrzeugleben.....	95
Tabelle 12:	Annahmen für eine Überschlagsrechnung zu den Mehrkosten für EE-Strom	116

Hintergrund und Zielstellung

1.1 Gesamtkontext

Der Klimaschutz erfordert eine drastische Minderung der globalen Treibhausgas(THG)-Emissionen bis zum Jahr 2050. Zur Zielerreichung müssen die THG-Emissionen in Deutschland bis 2050 auf nahezu Null gesenkt werden. Dies setzt einen bedeutenden Strukturwandel in allen energienachfragenden Sektoren voraus und erfordert eine frühzeitige Orientierung an den langfristigen Zielen. Insbesondere im Verkehrssektor stellt die notwendige Dekarbonisierung eine besondere Herausforderung dar, da einerseits weiterhin individuelle Mobilitätsbedürfnisse umfassend befriedigt werden sollen, gleichzeitig aber bislang eine sehr starke Bindung an fossile Energieträger beim Fahrzeugantrieb besteht. Hinsichtlich der Erreichung langfristiger Minderungsziele herrscht Einigkeit, dass diese im Verkehrssektor nur bei einem breiten Einsatz von alternativen Antriebskonzepten und Kraftstoffen realisierbar sind. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem elektrischen Antrieb zu: Die Elektromobilität bietet „...für den Klimaschutz die Chance, auch im Verkehrssektor durch Einsatz Erneuerbarer Energien die Emissionen von CO₂ und anderen Schadstoffen signifikant zu senken.“ [1]. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2020 eine Millionen und bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. Um dies zu unterstützen und um frühzeitig Erfahrungen mit dieser neuen Technologie im Alltagseinsatz zu sammeln, wurden in den letzten Jahren verschiedenen Flottenversuche gestartet und das Fahrzeug- aber auch das Nutzerverhalten erfasst.

1.2 Projektkontext

Das Forschungsvorhaben „Betrachtung der Umweltentlastungspotenziale durch den verstärkten Einsatz von kleinen, batterieelektrischen Fahrzeugen im Rahmen des Projekts E-Mobility“ des Öko-Instituts wurde begleitend zum Flottenversuch „E-Mobility Berlin“ der Daimler AG durchgeführt.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, fundierte Marktszenarien zu den zukünftigen Perspektiven von batterieelektrischen Pkw in Deutschland abzuleiten und mögliche Umweltentlastungspotenziale – insbesondere unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit der Energiewirtschaft – zu quantifizieren.

Durch die enge Verzahnung des Projekts mit dem parallel laufenden Flottenversuch „E-Mobility Berlin“ ist es möglich, neben theoretischen Analysen auf Grundlage verfügbarer Mobilitätsdaten und gängigen Annahmen zur weiteren Technologieentwicklung auch unmittelbar empirische Erkenntnisse aus dem Flottenversuch zur Fahrzeugakzeptanz und -nutzung sowie zu zentralen Fahrzeugeigenschaften im Realbetrieb in die Betrachtungen einzubeziehen.

Im Rahmen des Projekts „E-Mobility Berlin“ wurden etwa 150 Elektrofahrzeuge der Marken Mercedes-Benz und smart durch private und gewerbliche Kunden im Alltagsbetrieb getestet und deren Erfahrungen zu verschiedenen Zeitpunkten durch die wissenschaftliche Begleitforschung der Daimler AG dokumentiert. Ergänzend wurde durch das Öko-Institut eine Unternehmensbefragung zu den Potenzialen von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten durchgeführt.

1.3 Ziele des Vorhabens

Ausgehend von den Erkenntnissen des Flottenversuchs „E-Mobility Berlin“ und in Kombination mit eigenen Erhebungen, Datenanalysen und Simulationen des Öko-Instituts werden mögliche Umwelteffekte von batterieelektrischen Pkw bis zum Jahr 2030 im Rahmen von Szenariobetrachtungen quantifiziert. Neben direkten Effekten werden dabei auch indirekte Auswirkungen auf die Stromwirtschaft und die mit der Strombereitstellung assoziierten Emissionen berücksichtigt, sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen von Elektromobilität diskutiert.

Durch die integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Strombereitstellung ist es letztlich möglich, die Umweltentlastungseffekte¹ von batterieelektrischen Pkw auf Einzelfahrzeugebene, wie auch für den gesamten Pkw-Verkehr bis zum Jahr 2030 unter bestimmten Szenarioannahmen zu quantifizieren.

Die wichtigsten Ziele des Forschungsvorhabens sind:

- » Die Entwicklung konsistenter Szenarien zur weiteren technischen Fortentwicklung der batterieelektrischen Antriebstechnologie sowie der Rahmenbedingungen von Elektromobilität von heute bis zum Jahr 2030.
- » Die Ableitung von fundierten Marktszenarien, die sowohl die technischen Restriktionen als auch die Kundenakzeptanz bzw. die Wirtschaftlichkeit von batterieelektrischen Pkw berücksichtigen und zwischen privaten und gewerblichen Nutzern differenzieren.
- » Die Bestimmung typischer Einsatzprofile von batterieelektrischen Pkw auf Basis repräsentativer empirischer Mobilitätsdaten.
- » Die Simulation der Interaktion von Elektromobilität und Stromwirtschaft; mit besonderem Augenmerk auf dem veränderten Kraftwerkseinsatz und den aus der zusätzlichen Stromerzeugung resultierenden Treibhausgasemissionen.
- » Die Quantifizierung der Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw auf Fahrzeugebene und für den Gesamtfahrzeugbestand.

Das Forschungsvorhaben wurde von Mitarbeitern der Bereiche „Infrastruktur & Unternehmen“ und „Energie & Klimaschutz“ des Öko-Institut e.V. gemeinsam bearbeitet. Die Wissenschaftler des Bereichs „Infrastruktur & Unternehmen“ waren federführend für die Szenarioentwicklung, die Potenzial- und Nutzungsprofilbestimmung sowie die Treibhausgasbilanzierung verantwortlich. Energiewirtschaftliche Fragestellungen (Strommarktmodellierung) wurden von den Kollegen des Bereichs „Energie & Klimaschutz“ bearbeitet.

Insbesondere bei der Szenarioentwicklung waren ferner Experten der Daimler AG im Rahmen mehrerer gemeinsamer Workshops und Konsultationen involviert. Der regelmäßige Austausch mit den Verantwortlichen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung des Flottenversuchs ermöglichte die Berücksichtigung empirischer Erkenntnisse aus dem realen Fahrzeugeinsatz in Berlin.

¹ Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden die Umweltentlastungseffekte lediglich auf die WtW-CO₂-Minderung bezogen. Andere Umweltwirkungen, wie Luftschadstoff- oder Lärmemissionen, sind nicht Bestandteil der Betrachtung.

Projektdesign

Die Quantifizierung möglicher Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw erfordert ein mehrstufiges Vorgehen, welches sowohl die zukünftigen Potenziale und mögliche Nutzungsmuster abbildet als auch die Wechselwirkungen mit der Energiewirtschaft und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

Ausgehend von den formulierten Zielen des Forschungsvorhabens wurden daher mehrere Arbeitsschritte definiert. Im Folgenden werden diese in Kürze dokumentiert, um deren zentrale Inhalte insbesondere aber auch deren Zusammenspiel überblicksartig zu veranschaulichen (Abbildung 1). In den folgenden Kapiteln werden anschließend die einzelnen Analyseschritte und das methodische Vorgehen ausführlich diskutiert und die zentralen Ergebnisse dokumentiert.

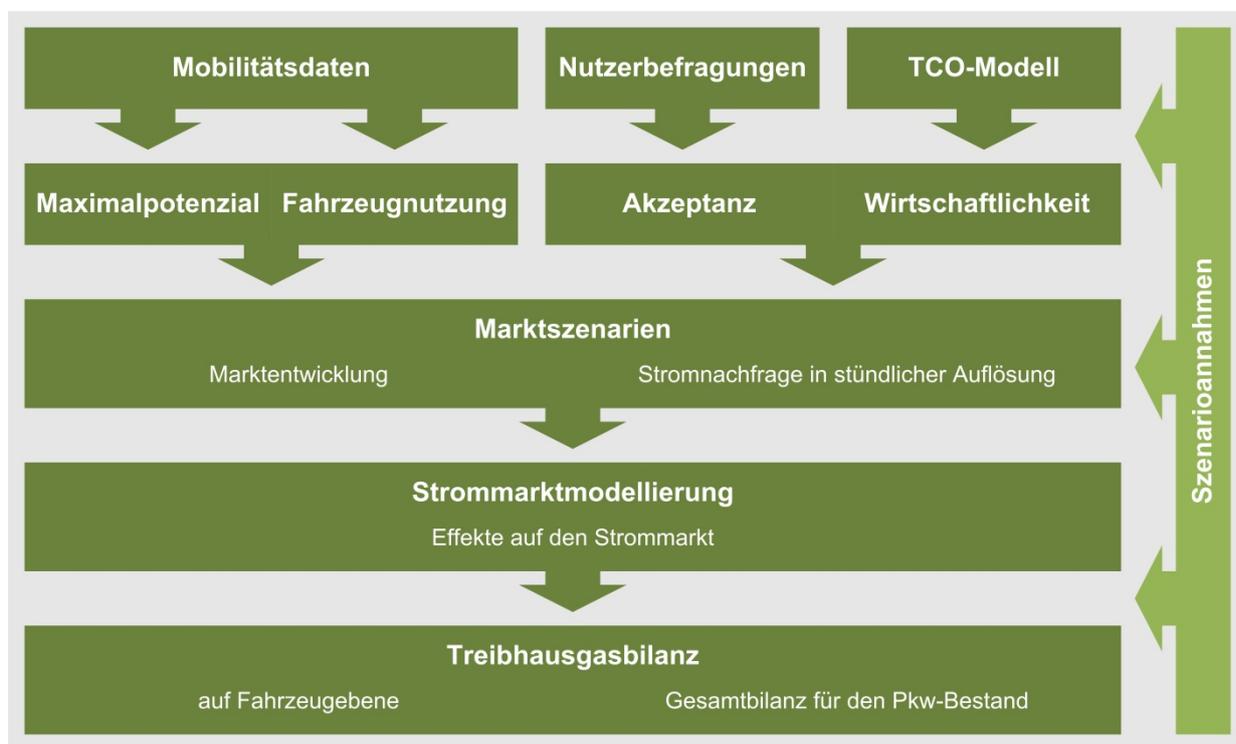


Abbildung 1: Projektdesign - Übersicht der Eingangsdaten, Analyseschritte und Ergebnisse

Szenarioannahmen

Um zukünftige Potenziale von batterieelektrischen Pkw quantifizieren zu können, müssen zunächst plausible Annahmen zur weiteren Entwicklung der Fahrzeugtechnik, des Kraftwerksparks sowie weiterer Rahmenbedingungen (u.a. Energiepreise, Ladeinfrastrukturdichte) getroffen werden.

Um eine realistische Fortschreibung der Fahrzeugtechnikentwicklung sicherzustellen, wurden die getroffenen Annahmen mit Experten aus der Antriebsentwicklung der Daimler AG diskutiert und in Bezug zu aktuellen Fahrzeugdaten aus dem Flottenversuch gesetzt.

Weitere Szenarioannahmen mit unmittelbarem Bezug zu Elektromobilität wurden aus bestehenden Referenzannahmen (u.a. [2]) abgeleitet bzw. im Rahmen weiterer Expertendiskussionen erörtert.

Die zukünftige Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks sowie der Energiepreise wurden an bestehende Referenzstudien [3], [4] angelehnt.

Maximalpotenzial E-Pkw (AP 1.4)

Das Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw beschreibt den durch diese Fahrzeuge theoretisch substituierbaren Anteil des bundesdeutschen Pkw-Bestands unter den zuvor getroffenen Szenarioannahmen. Die Betrachtung unterscheidet zwischen gewerblich und privat zugelassenen Fahrzeugen und beruht auf der Analyse heutiger Pkw-Nutzung. Hierfür werden die repräsentativen Datensätze „Mobilität in Deutschland“ [5] für den privaten Pkw-Einsatz (inklusive Dienstwagen) bzw. „Krafffahrzeugverkehr in Deutschland“ [6] für gewerblich zugelassene Pkw, die vorwiegend in Fahrzeugflotten zum Einsatz kommen, genutzt. Das Maximalpotenzial orientiert sich an den technischen Restriktionen von batterieelektrischen Fahrzeugen (insbesondere Reichweite, Ladedauer, Fahrzeuggröße) und bestimmt den Anteil an Pkw, die ohne relevante Nutzungseinschränkungen durch Elektrofahrzeuge substituiert werden könnten. Die Grundlage für diese Analysen stellt die in MiD und KiD dokumentierte Fahrzeugnutzung dar.

Diese rein technische Betrachtung berücksichtigt weitere, für die Fahrzeugwahl relevante Aspekte wie Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit zunächst nicht.

Akzeptanz & Wirtschaftlichkeit von batterieelektrischen Pkw (AP 1.2)

Während das Maximalpotenzial sich auf rein technische Restriktionen des Fahrzeugeinsatzes bezieht, stellen die Akzeptanz durch den Nutzer und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen weitere wesentliche Einflussgrößen auf das tatsächliche Marktpotenzial dar. Die Tatsache, dass Pkw-Kaufentscheidungen im privaten und gewerblichen Bereich nach sehr unterschiedlichen Kriterien erfolgen, erfordert unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung der möglichen Akzeptanz von batterieelektrischen Pkw.

Für private Pkw-Käufer kann auf die Ergebnisse einer umfangreichen Akzeptanzbefragung zu Elektromobilität aus einem Parallelvorhaben² zurückgegriffen werden. Für die gewerbliche Pkw-Beschaffung wurde eine Unternehmensbefragung zur Akzeptanz von Elektrofahrzeugen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführt. Parallel wurde ein Modell zur Darstellung der Gesamtkosten von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw entwickelt. Durch die Kombination der Ergebnisse der Befragung mit den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist es möglich, auch für gewerblich zugelassene Pkw die Akzeptanz von batterieelektrischen Fahrzeugen zu quantifizieren.

² Conjoint-Analyse im Rahmen des durch das BMU geförderte Forschungsvorhabens OPTUM [11]

Marktszenario für batterieelektrische Pkw (AP 1.4)

Das Marktszenario für batterieelektrische Pkw stellt die bis zum Jahr 2030 tatsächlich mögliche Marktdurchdringung von batterieelektrischen Fahrzeugen im deutschen Pkw-Bestand dar.

Ausgehend vom deutschen Pkw-Bestand im Jahr 2010 wird unter den getroffenen Szenarioannahmen mit einem zunehmenden Anteil an batterieelektrischen Pkw gerechnet. Die Marktdurchdringung äußert sich in einem ansteigenden Anteil von Elektrofahrzeugen an den jährlichen Pkw-Neuzulassungen. Diese wird im Modell differenziert für gewerblich und privat zugelassene Pkw dargestellt. Der jeweilige Anteil wird für den Zeitraum 2010 bis 2030 modelliert und berücksichtigt sich verändernde Rahmenbedingungen und die weitere technische Entwicklung von Elektrofahrzeugen. Die tatsächliche Marktdurchdringung ergibt sich dabei nicht alleine aus der simulierten Nachfrage – dem sogenannten Marktpotenzial, das sich aus der Kombination von Maximalpotenzial und Akzeptanz ergibt. Sondern erst unter zusätzlicher Berücksichtigung der Angebotsentwicklung („Technologiediffusion“), welche dem Umstand Rechnung trägt, dass sich die Verfügbarkeit einer neuen Technologie im Markt erst mit der Zeit entwickelt, kann ein fundiertes Marktszenario abgeleitet werden.

Fahrzeugeinsatzprofile und Stromnachfrage (AP 1.1)

Fahrzeugeinsatzprofile beschreiben den täglichen Einsatz von Pkw in Deutschland und geben u.a. Aufschluss über die Anzahl der Fahrten, die Tagesfahrleistung und Ziel bzw. Standort des Fahrzeugs. Die Fahrzeugeinsatzprofile können auf Grundlage der Datensätze MiD 2008 für mehrheitlich privat genutzte Pkw und KiD 2002 für gewerbliche Pkw für eine repräsentative Stichprobe bestimmt werden.

Die Nutzungsprofile von batterieelektrischen Pkw sind notwendig, um die Stromnachfrage in stündlicher Auflösung zu quantifizieren und Wechselwirkungen mit der Stromwirtschaft simulieren zu können. Zu diesem Zweck wurden aggregierte typische Wochen-Nutzungsprofile für Elektrofahrzeuge differenziert nach gewerblicher und privater Anwendung generiert. Sie bestimmen, welche zusätzliche Stromnachfrage durch den Einsatz von batterieelektrischen Pkw entsteht und zu welchen Zeitpunkten die Batterieladung erfolgen kann.

Strommarktmodellierung (AP 2.1, 2.2, 2.3)

Auf Grundlage der ermittelten Marktdurchdringung und in Kombination mit den definierten Fahrzeugeinsatzprofilen kann die Stromnachfrage von E-Pkw zeitlich aufgelöst dargestellt werden. Die Simulation des Strommarkts ermöglicht es, die daraus resultierenden Effekte auf den Kraftwerkseinsatz für die Szenariojahre 2020 und 2030 darzustellen und die Emissionen der zusätzlichen Strombereitstellung für unterschiedliche Szenarioannahmen zu quantifizieren. Dies ist die Grundlage für die Berechnung der Umweltentlastungspotenziale. Dabei werden Szenarien mit und ohne Lademanagement betrachtet und die Verschiebung des Ladezeitraums durch das Lademanagement für einzelne Nutzungsprofile ausgewertet.

Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw (AP 1.3, 1.5)

Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen erfolgt auf Einzelfahrzeugebene und auch als Gesamtbetrachtung für den Pkw-Verkehr. Die CO₂-Bilanz umfasst sowohl die direkten als auch die indirekten Emissionen (Well-to-Wheel-Ansatz), da bei batterieelektrischen Pkw

Emissionen ausschließlich bei der Stromerzeugung und Brennstoffbereitstellung entstehen, der Fahrzeugbetrieb hingegen emissionsfrei erfolgt. Auch bei den konventionellen Vergleichsfahrzeugen werden neben den direkten Emissionen der Kraftstoffverbrennung ebenfalls die indirekten Emissionen der Kraftstoffbereitstellung in der Bilanz berücksichtigt.

Für den Vergleich auf Einzelfahrzeugebene werden die Ergebnisse der Strommarktmodellierung genutzt und die CO₂-Intensität der Strombereitstellung mit der Stromnachfrage entsprechend der erstellten Nutzungsprofile gekoppelt.

Um zu einer Gesamtaussage hinsichtlich der Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw bis zum Jahr 2030 zu gelangen, wird der Vergleich zwischen einem Elektromobilitätsszenario (Substitution von konventionellen Pkw durch Elektrofahrzeuge) auf Basis der getroffenen Annahmen und einem Referenzfall ohne Elektrofahrzeuge durchgeführt.

Regulatorische Rahmenbedingungen (AP 2.3)

Durch die Nutzung von Strom als Antriebsenergie von Personenkraftwagen entstehen neuartige Wechselwirkungen zwischen Verkehrs- und Energiesektor. Ein Teil der durch den Verkehrssektor verursachten Brennstoffbedarfe und der assoziierten CO₂-Emissionen werden in den Energiesektor verlagert. Gleichzeitig bietet die Stromwirtschaft, in Abhängigkeit von der Strombereitstellung, die Möglichkeit, die Well-to-Wheel-Emissionen von Elektrofahrzeugen deutlich zu reduzieren. Die Diskussion der regulatorischen Rahmenbedingungen im Verkehrs- und Energiesektor ermöglicht es, die Modellergebnisse in den Gesamtkontext einzuordnen und Möglichkeiten zur zukünftigen Optimierung der Umweltentlastungseffekte von Elektromobilität aufzuzeigen.

Szenarioannahmen

3.1 Hintergrund

Elektromobilität steht am Beginn des Markteintritts und erste Serienfahrzeuge mit elektrischem Antrieb werden mittlerweile als Alternative zu konventionellen Pkw dem Kunden angeboten. Angesichts dieses frühen Entwicklungsstadiums stellt die Bestimmung zukünftiger Potenziale von Elektromobilität eine besondere Herausforderung dar und ist mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet.

Diese Unsicherheiten beziehen sich auf die weiteren technologischen Optimierungs- und Kostenminderungspotenziale der Antriebstechnologie, die Entwicklung der notwendigen Infrastruktur, aber auch des zukünftigen Konsumentenverhaltens sowie der Entwicklung weiterer Rahmenbedingungen, wie der Energiepreiseentwicklung oder staatlicher Fördermaßnahmen.

Sollen die möglichen zukünftigen Potenziale von Elektromobilität quantifiziert werden, so müssen diesbezüglich möglichst plausible Annahmen getroffen werden. Die Szenariotechnik bietet die Möglichkeit, plausible Ausprägungen relevanter Einflussgrößen in einem Szenario zu bündeln und dessen Wirkung im Vergleich zu Alternativentwicklungen aufzuzeigen. Durch die Variation einzelner Parameter (Sensitivitätsanalysen) lässt sich ferner deren Einfluss auf das Gesamtergebnis quantifizieren.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Szenario entwickelt, welches eine plausible zukünftige Entwicklung von Elektromobilität und wichtigen Rahmenbedingungen beschreibt und somit die Grundlage für die Analysen zum Marktpotenzial, den Wechselwirkungen mit dem Strommarkt und den möglichen Umweltentlastungseffekten darstellt.

Die Annahmen zur weiteren Entwicklung von Fahrzeugtechnik und Ladeinfrastruktur wurden gemeinsam mit Experten aus der Fahrzeugentwicklung der Daimler AG diskutiert. Ausgehend von den Eigenschaften der Fahrzeuge im Flottenversuch „E-Mobility“ wurden zukünftige Optimierungspotenziale identifiziert. Ferner wurden diese mit Annahmen weiterer Experten sowie Veröffentlichungen der Nationalen Plattform Elektromobilität und weiteren Angaben in der Fachliteratur abgeglichen.

Für die Entwicklung des Stromsektors wurde ein mit dem institutseigenen Kraftwerksinvestitionsmodell ELIAS berechneter konventioneller Kraftwerkspark verwendet. Für den weiteren Ausbaupfad der erneuerbaren Energien stellt [7] die Grundlage dar.

Im Folgenden werden die wesentlichen Einflussgrößen für die anschließenden Szenarioanalysen überblicksartig dokumentiert. Angesichts der zahlreichen Einflussgrößen wird an dieser Stelle zu Gunsten der Übersichtlichkeit auf eine vollständige Darstellung aller Parameter verzichtet. Im Anhang A findet sich eine vollständige Übersicht aller Parameter inklusiver ihrer Ausprägung in den betrachteten Jahren.

3.2 Fahrzeugtechnik

Grundlage für die Analyse von Marktpotenzialen und Umwelteffekten von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2030 ist die Definition von Referenzfahrzeugen. Während die elektrische Reichweite und die Kostenstruktur von Elektrofahrzeugen besonders relevante Einflussgrößen für die Bestimmung des Marktpotenzials sind, ist der Energieverbrauch von maßgeblicher

Bedeutung für die Umweltbilanz von Elektro-Pkw. Neben den Entwicklungsperspektiven von Elektrofahrzeugen muss jedoch auch die weitere Optimierung der konventionellen Vergleichsfahrzeuge im Szenario – im Sinne einer konkurrierende Technologie – mit in Betracht gezogen werden.

Folgende Grundannahmen wurden im Szenario getroffen:

- » Batterieelektrische Pkw (BEV) sind bis 2030 in den Segmenten „mini“ bis „kompakt“³ verfügbar.
- » Die nominelle elektrische Reichweite von BEV beträgt im Mittel 160 km.
- » Der Energieverbrauch variiert je nach Größenklasse und verringert sich bis 2030 durch weitere Effizienzmaßnahmen.
- » Da der Realenergieverbrauch durchschnittlich 10 % über dem Normverbrauch liegt und ein Mindestbatterieladestand von 12,5 %⁴ angenommen wird, ergibt sich eine reale Reichweite von etwa 125 km.
- » Die Zusatzkosten des BEV ergeben sich im Wesentlichen durch den Aufpreis der Batterie. Die Batteriekosten sinken im Szenario von 500 €/kWh (aktuell) auf 280 €/kWh (2020) bzw. 230 €/kWh (2030)⁵.
- » Der Energieverbrauch der konventionellen verbrennungsmotorischen Vergleichsfahrzeuge (CV) verbessert sich durch den Einsatz von Effizienztechnologien gegenüber heute um 28 % (2020) bzw. 36 % (2030)⁶.

3.3 Ladeinfrastruktur

Die Verfügbarkeit einer Batterieladeinfrastruktur ist eine essentielle Voraussetzung für den Betrieb von Elektrofahrzeugen. Typ und Ort der Ladestationen entscheiden über die Möglichkeit zur Substitution von konventionellen Pkw durch Elektrofahrzeuge. Nur wenn am Standort des Fahrzeugs eine Ladestation zur Verfügung steht und die Standdauer zur Batterieladung ausreicht, ist der Einsatz eines elektrisch betriebenen Pkw theoretisch möglich.

³ Inklusive des KBA-Segments „Mini-Vans“

⁴ 12,5 % der nutzbaren Batteriekapazität (entspricht 20 km Reichweite) werden als Notreserve des Fahrzeugnutzers angenommen, die dieser in der Regel nicht nutzt.

⁵ In Anlehnung an die Angaben der NPE [2].

⁶ Die Effizienzentwicklung von konventionellen Pkw berücksichtigt die Vorgaben des EU-Flottengrenzwerts und orientiert sich an den in TREMOD, Version 5, getroffenen Annahmen [24].

Ausgehend von den Praxiserfahrungen aus dem Flottenversuch und der Expertendiskussion zu den weiteren Entwicklungspotenzialen sowie möglicher Hemmnisse, wurden folgende Grundannahmen zur Ladeinfrastruktur im Szenario getroffen:

- » Die Leistung der Ladestationen auf dem eigenen Grundstück und am Arbeitsplatz (Privat-Pkw) sowie die Ladeleistung von Ladesäulen auf dem Firmengelände (gewerbliche Pkw) beträgt 3 kW (2030) bzw. 7 kW (2030). An öffentlichen Ladestationen wird eine Ladeleistung von 11 kW unterstellt.
- » Fahrzeuge, die über keinen eigenen Stellplatz auf dem eigenen Privatgrundstück bzw. dem Firmengelände verfügen, sondern im Regelfall im öffentlichen Raum parken – sogenannte „Laternenparker“ – haben zu 30 % (2020) bzw. zu 50 % (2030) gesicherten und regelmäßigen Zugang zu öffentlichen Ladestationen.
- » Grundsätzlich können Elektrofahrzeuge zu jeder Uhrzeit an allen Standorten geladen werden, wenn eine Ladeoption an diesem Standort zur Verfügung steht.
- » Für Ladevorgänge wird ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 90 % angenommen.

3.4 Energiepreisentwicklung

Die zukünftige Energiepreisentwicklung ist von maßgeblicher Bedeutung für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw. Gleichzeitig sind Prognosen zur Energiepreisentwicklung mit großen Unsicherheiten behaftet.

In der Szenarioentwicklung wurde daher das Referenzszenario aus der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ als Grundlage herangezogen [4]. In Ergänzung wurden weitere Sensitivitätsbetrachtungen angestellt, um den Einfluss veränderter Strom- und Kraftstoffpreise auf das Marktpotenzial von Elektromobilität zu illustrieren bzw. weitere Kosten, wie beispielsweise Nutzungsentgelte für die Ladeinfrastruktur oder eine Fahrstromsteuer abzubilden.

Grundannahmen im genannten Referenzszenario sind:

- » Ein Anstieg des Benzin- und Dieselkraftstoffpreises (inklusive Steuern) auf 1,52 €/l und 1,44 €/l (2020) bzw. 1,69 €/l und 1,61 €/l (2030).
- » Ein Anstieg des Strompreises für Haushaltskunden auf 21,7 €cent/kWh (2020) bzw. 22,2 €cent/kWh (2030).

3.5 Mobilitätsverhalten

Die Pkw-Nutzung stellt eine wesentliche Einflussgröße für das Potenzial von Elektrofahrzeugen bezogen auf den Pkw-Bestand dar. Steht der Pkw-Einsatz im Konflikt zu den grundsätzlichen Eigenschaften von Elektrofahrzeugen, so ist die Substitution eines

konventionellen Pkw durch ein Elektrofahrzeug wenn auch nicht ausgeschlossen so doch relativ unwahrscheinlich.

Im Szenario werden diesbezüglich folgende Annahmen getroffen:

- » Sowohl bei privaten als auch gewerblich zugelassenen Pkw ist zunächst nicht davon auszugehen, dass sich durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen die Pkw-Nutzung grundsätzlich verändert. Dies bedeutet, dass ein Elektrofahrzeug nur dann als Substitut in Frage kommt, wenn es die alltäglichen Mobilitätsbedürfnisse in gleicher (oder ähnlicher) Weise befriedigen kann.
- » Nutzungskonflikte können insbesondere bei unregelmäßigen langen Fahrten auftreten, die im Regelfall mit Elektrofahrzeugen nicht bewältigt werden können. In diesem Fall werden folgende Annahmen getroffen:
 - » Steht kein weiterer Pkw im Haushalt zur Verfügung, werden maximal acht Nutzungskonflikte im Jahr toleriert. Das heißt, dass in diesem Fall lange Fahrten mit einem anderen Verkehrsmittel zurückgelegt werden bzw. diese durch eine Zwischenladung an Schnellladestationen bewältigt werden.
 - » Gewerbliche Pkw in Unternehmensflotten bieten grundsätzlich die Flexibilität bei langen Fahrten auf Alternativfahrzeuge auszuweichen. In gewerblichen Fuhrparks müssen daher mindestens 10 % konventionelle Pkw vorgehalten werden, um für diese Zwecke als Alternative zu Elektrofahrzeugen zur Verfügung zu stehen.

3.6 Entwicklung Kraftwerkspark und Strommarkt

In den Betrachtungsjahren 2020 und 2030 beträgt der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bereits 37 % (2020) bzw. 51 %. Die verwendete Entwicklung des konventionellen Kraftwerksparks stammt aus dem Kraftwerkinvestitionsmodell des Öko-Instituts ELIAS. Der Anteil der erneuerbaren Energien basiert auf [3], bereinigt um die dort für Elektrofahrzeuge vorgesehene Stromerzeugung. Für den jährlichen Nettostromverbrauch in den Jahren 2020 und 2030 wurde wie in [8] 586 TWh (2020) bzw. 593 TWh (2030) angenommen. Das stündliche Profil der Nachfrage basiert auf [9]. Für die CO₂-Emissionen wurden Werte aus GEMIS [10] verwendet, in denen auch die vorgelagerten Emissionen, zum Beispiel aus Anlagenbau und Brennstoffextraktion berücksichtigt sind. Die verwendeten Eingangsdaten für die Strommarktmodellierung sind im Anhang H detailliert aufgeführt.

Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw

4.1 Grundsätzliches Vorgehen

Das Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw beschreibt den Anteil an Pkw im bundesdeutschen Bestand, der aufgrund der jeweiligen Größenklasse, insbesondere aber in Bezug auf die Pkw-Nutzung, im betrachteten Zeitraum von 2010 bis 2030 theoretisch durch Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb gemäß der Szenarioannahmen (Kapitel 3) substituiert werden könnte.

In diesem ersten Analyseschritt stehen die Fahrzeugnutzung sowie die Größenklasse der Fahrzeuge im Vordergrund der Betrachtung. Weitere Restriktionen wie Kundenakzeptanz und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen (siehe Kapitel 5) werden in den folgenden Schritten berücksichtigt.

Wesentliche Einflussfaktoren für die Potenzialbestimmung sind:

- » das KBA-Fahrzeugsegment⁷,
- » die Tagesfahrleistung,
- » die Standzeiten und -orte⁸,
- » die Wahrscheinlichkeit von Nutzungskonflikten bei langen Fahrten,
- » Verfügbarkeit einer Ladestation.

Bei der Potenzialbestimmung wird grundsätzlich zwischen privat zugelassenen bzw. überwiegend privat genutzten Pkw und Fahrzeugen in gewerblichen Fuhrparks unterschieden, da sich diese beiden Kategorien sowohl im Einsatz als auch hinsichtlich der Beschaffungskriterien deutlich unterscheiden.

Die Datengrundlage für die Maximalpotenzialanalysen bilden die umfassenden Mobilitätsdatenerhebungen „Mobilität in Deutschland“ [5] für Privat-Pkw bzw. überwiegend private genutzte Pkw und „Krafffahrzeugverkehr in Deutschland“ [6] für gewerblich zugelassene Pkw. Beide Datensätze bestehen aus einer repräsentativen Stichprobe des jeweiligen Pkw-Bestands und dokumentieren detailliert den Einsatz von Einzelfahrzeugen für jeweils einen Stichtag und geben ergänzende Auskünfte über das Umfeld des Fahrzeugeinsatzes.

⁷ Laut Szenariodefinition können lediglich Fahrzeuge der KBA-Segmente „mini“ bis „kompakt“ (inkl. „Mini-Vans“) durch batterieelektrische Pkw ersetzt werden. In den anderen (größeren) Segmenten ist bis 2030 vermutlich nicht mit dem Angebot rein elektrischer Pkw in nennenswerter Stückzahl zu rechnen.

⁸ Von Relevanz für die Batterieladung.

4.2 Vorgehen für die private Pkw-Nutzung – „Mobilität in Deutschland“ (2008)

4.2.1 Datengrundlage

Die Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (MiD), welche das Mobilitätsverhalten von rund 77.000 Personen aus etwa 26.000 Haushalten für jeweils einen Stichtag dokumentiert, bildet die Datenbasis der Potenzialmodellierung für Privat-Pkw bzw. überwiegend privat genutzte Pkw⁹. Da in den befragten Haushalten alle Haushaltsmitglieder Angaben zu ihrem Mobilitätsverhalten an dem jeweiligem Stichtag gemacht haben, bietet die MiD eine gute Basis, das Mobilitätsverhalten auf Haushaltsebene zu analysieren und somit bei der Untersuchung alle Fahrten eines Haushalts-Pkw zu berücksichtigen. Zudem wurden die teilnehmenden Haushalte über ein Jahr verteilt befragt, so dass die Daten der MiD nicht durch ein unterschiedliches Mobilitätsverhalten infolge der Jahreszeit und des Wetters verzerrt werden.

Neben maximal 12 Wegen, die jede befragte Person für den jeweiligen Stichtag angeben konnte, stehen für alle Haushalte soziodemographische Daten sowie Informationen über generelle Einstellungen zu Mobilität und über die Pkw, die sich im Haushaltsbesitz befinden, zur Verfügung.

Insgesamt haben die Teilnehmer der MiD zusammen etwa 193.000 Wege an dem jeweiligen Stichtag zurückgelegt. Das Vorgehen bei der Bestimmung des Maximalpotenzials mehrheitlich privat genutzter Elektrofahrzeuge ist zusammen mit der Aufbereitung der Daten der MiD im folgenden Abschnitt 4.2.2 beschrieben.

4.2.2 Datenaufbereitung und -analyse

Potenzialabschätzungen für elektrische Fahrzeuge werden in der Mehrzahl auf Fahrten- und Personenebene durchgeführt, da die Befragung einzelner Personen für die meisten Mobilitätserhebungen das Verfahren zur Datenaufnahme darstellt und die Daten somit auf Personenebene vorliegen. Eine Abschätzung auf Personenebene ist daher schnell möglich, exakter ist allerdings die Betrachtung auf Fahrzeugebene. In Fällen, in denen mehrere Personen einen Pkw nutzen, stößt die Betrachtung des Mobilitätsverhaltens einzelner Personen bei der Ableitung des Potenzials für elektrische Fahrzeuge an seine Grenzen.

Daher wurde entschieden, die Daten der MiD 2008 so aufzubereiten, dass die Potenzialabschätzung auf Basis aller Fahrten eines Pkw möglich ist. Gleichzeitig wurden neben der Datenumstrukturierung auf Fahrzeugebene eindeutig fehlerhafte Datensätze aus den verwendeten Daten entfernt, so dass eine modifizierte Datenbasis für die Abschätzung des Potenzials an batterieelektrischen Fahrzeugen verwendet wird. Eine detaillierte Vorstellung des dafür notwendigen Vorgehens ist in [11] zu finden.

Bei Verwendung der MiD 2008 besteht die Schwierigkeit für die Abschätzung des Potenzials für Elektromobilität in der Tatsache, dass zwar eine große Zahl Haushalte umfassende Datenbasis zur Verfügung steht, das Mobilitätsverhalten dieser Haushalte allerdings nur für einen Stichtag abgefragt wurde. Hinsichtlich der speziellen Eigenschaften von Elektro-Pkw – reduzierte Reichweite in Kombination mit im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen langer

⁹ Privat zugelassene und gewerblich zugelassene Pkw, die auch privat genutzt werden bzw. von den befragten Haushalten als zum Haushalt zugehörig beschrieben werden (Dienstwagen).

Ladedauer – ist es für die Potenzialabschätzung allerdings von Bedeutung, die Fahrzeugnutzung über einen längeren Zeitraum ableiten zu können.

Um für die Potenzialabschätzung und die Ableitung von Fahrzeugnutzungsprofilen (siehe Kapitel 7) den Fahrzeugeinsatz über eine Woche betrachten zu können, wurden in der Datenaufbereitung die für jeweils einen Stichtag¹⁰ vorliegenden Datensätze zu Wochenprofilen – bestehend aus Werktag, Samstag und Sonntag – zusammengefügt. Dafür wurden die einzelnen Datensätze unter Berücksichtigung der Parameter

- » Haushaltstyp
- » KBA-Segment
- » Jahresfahrleistung
- » Anzahl der Fahrzeuge im Haushalt
- » Kreistyp¹¹

zufällig zu Wochenprofilen miteinander verbunden. Da bei der Verknüpfung der Datensätze nicht in allen Fällen eine Übereinstimmung für alle aufgeführten Parameter vorlag, wurden teilweise nur einige übereinstimmende Parameter für die Verknüpfung der Datensätze vorausgesetzt. Dabei entspricht die Priorität der Parameter bei der Verknüpfung der Reihenfolge der Auflistung, d.h. zumindest der Haushaltstyp stimmt bei den zu einem Wochenprofil zusammengeführten Datensätzen überein.

Weiterhin wird in der Ableitung des Maximalpotenzials ein zweistufiges Vorgehen berücksichtigt. Zunächst werden nur Pkw-Fahrten von Haushalten, in denen **alle** Haushaltsmitglieder in der Befragung angaben, sich während des Stichtags für diesen Wochentag „normal“ bewegt zu haben, analysiert. Dadurch ist sichergestellt, dass das alltägliche Mobilitätsverhalten im erstellten Modell gut abgebildet wird. Unter Berücksichtigung der angenommenen Rahmenbedingungen für elektrische Fahrzeuge wird anhand der Kriterien KBA-Segment, Tagesfahrleistung und Standzeiten/-orte bestimmt, ob das in den Daten aufgeführte Nutzungsverhalten über eine Woche mit einem batterieelektrischen Fahrzeug der entsprechenden Größenklasse aufrecht zu erhalten wäre. Anzumerken ist hierbei noch, dass die maximale zulässige Tagesfahrleistung eines Fahrzeugs dabei über der Reichweite eines batterieelektrischen liegen kann, wenn zwischen den Fahrten genügend lange Aufenthaltszeiten an Standorten mit Möglichkeit der Aufladung zu finden sind. Mit diesem Schritt wird also das Potenzial für batterieelektrische Pkw bezüglich des alltäglichen Mobilitätsverhaltens modelliert.

Im zweiten Schritt der Potenzialmodellierung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Pkw neben ihrem alltäglichen Einsatz auch zu Fahrten eingesetzt werden, die nicht in regelmäßigen Abständen anfallen und somit in der Befragung als „nicht normal“ deklariert wurden. Darunter fallen auch langen Fahrten, die die eigentliche Restriktion für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen darstellen.

¹⁰ Die Datensätze von Montag bis Freitag wurden zu der Kategorie Wochentag zusammengefasst.

¹¹ Charakterisierung des Wohnortes nach Raumtyp und Bevölkerungsdichte

Da das Mobilitätsverhalten in der MiD 2008 – wie bereits erwähnt – nur für jeweils einen Stichtag vorliegt, wird die Problematik der Reichweitenüberschreitungen im Mobilitätsverhalten mit Hilfe der Poisson-Verteilung behandelt (Gleichung 1).

$$P_{\lambda}(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} * e^{-\lambda} \quad (1)$$

Die Poisson-Verteilung ist eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung für unabhängig voneinander auftretende Ereignisse mit zwei Ergebnissen („Erfolg“ und „Misserfolg“). Im betrachteten Fall ist das betrachtete Ereignis k , die Häufigkeit einer Fahrt über der angenommenen Reichweite eines batterieelektrischen Fahrzeugs während eines Jahres („Erfolg“). Somit kann bestimmt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit P für die betrachteten Fahrzeuge k Reichweitenüberschreitungen im Jahr auftreten.

Einziger Parameter der Poisson-Verteilung ist dabei der Erwartungswert λ der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Dieser Erwartungswert entspricht in Gleichung 1 dem Jahresdurchschnitt an Fahrten über der Reichweitengrenze der batterieelektrischen Pkw und wurde auf Basis aller in der MiD 2008 aufgeführten Fahrten bestimmt ($\lambda = 13,50$ Reichweitenüberschreitung pro Jahr). Da über die einzeln aufgeführten Fahrten der Stichtagsbefragung nicht die angegebenen Werte der Jahresfahrleistung darstellbar sind, ist davon auszugehen, dass speziell lange Fahrten in der MiD 2008 untererfasst sind. Daher wurde für die Bestimmung von λ die über die an dem jeweiligen Stichtag zurückgelegten Einzelfahrten bestimmte Jahresfahrleistung mit der durchschnittlich von den Befragten angegebenen Fahrleistung verglichen und annahmenbasiert die Zahl der fehlenden langen Fahrten abgeschätzt.

Um die Ergebnisse der Poisson-Verteilung für die Ableitung des Maximalpotenzials verwenden zu können, muss eine Annahme dafür getroffen werden, wie viele Nutzungskonflikte aufgrund von Reichweitenüberschreitungen von Pkw-Besitzern akzeptiert werden¹². Die Wahrscheinlichkeit, mit der maximal so viele Nutzungskonflikte auftreten, wie akzeptiert werden, stellt somit die Obergrenze für die Bestimmung des Maximalpotenzials dar.

Eine weitere Obergrenze für das Maximalpotenzial ist durch die Verfügbarkeit eines Ladeplatzes gegeben. Besitzen Pkw-Besitzer die Möglichkeit, ihr Fahrzeug auf dem eigenen Grundstück abzustellen, ist davon auszugehen, dass sie bei Interesse an einem Elektrofahrzeug die Möglichkeit besitzen, dieses Fahrzeug während ihres Aufenthalts zuhause aufzuladen. Somit werden in der MiD erfasste Haushalte mit einem Stellplatz auf dem eigenen Grundstück in der Ableitung des Maximalpotenzials zumindest nicht durch die Verfügbarkeit eines Ladeplatzes eingeschränkt.

Für Fahrzeuge von Haushalten ohne eigenen Stellplatz besteht jedoch eine Beschränkung, da diese bei Erwerb eines elektrischen Fahrzeugs von der Infrastruktur im (semi-)öffentlichen Raum abhängig sind. Daher wird durch die Szenarioannahmen eine Obergrenze für das

¹² Im Szenario sind acht Reichweitenüberschreitungen pro Jahr - d.h. vier Hin- und Rückfahrten - als maximal tolerierte Anzahl an Nutzungskonflikten definiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass pro Jahr acht oder weniger Reichweitenüberschreitungen auftreten, liegt gemäß der Poisson-Verteilung bei 13,5 %.

Maximalpotenzial von Haushalten, die keine Möglichkeit besitzen, einen Pkw auf dem eigenen Grundstück abzustellen, festgelegt¹³.

4.3 Vorgehen für die gewerbliche Pkw-Nutzung – „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (2002)

4.3.1 Datengrundlage

Die bundesweite und flächendeckende Verkehrserhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD) erfasst schwerpunktmäßig den Fahrzeugeinsatz im Wirtschaftsverkehr mit „kleinen“ Fahrzeugen, das heißt vor allem Pkw gewerblicher Halter und leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen Nutzlast. Trotz gewisser Überschneidungen – insbesondere bei privat genutzten Fahrzeugen mit gewerblicher Zulassung – stellt die KiD für gewerblich zugelassene Pkw das Datensatzpendant zur MiD-Erhebung für vorwiegend privat zugelassene Pkw dar.

Im Rahmen der KiD-Erhebung wurde eine bundesweite Stichprobe aus dem zentralen Fahrzeugregister für über 100.000 Kraftfahrzeuge gezogen und, neben allgemeingültigen Merkmalen des Halters und des Fahrzeugs, für jeweils einen Stichtag die wesentlichen Merkmale aller getätigten Fahrten erhoben. Analog zur MiD-Erhebung wurden Stichproben für alle Wochentage und über zwölf Monate kontinuierlich erfasst.

Während die MiD Mobilitätsdaten auf Haushaltsebene erfasst wurden, erfolgte die KiD-Erhebung bereits auf Fahrzeugebene und umfasst zwei Basisdatensätze. Der Kfz- und Halterdatensatz dokumentiert die wesentlichen Eigenschaften des Fahrzeugs und gibt Aufschluss über den Halter, wie beispielsweise den Wirtschaftszweig, die Größe der Fahrzeugflotte und des Unternehmens. Für das jeweilige Fahrzeug sind im Einzelfahrtendatensatz maximal 18 Fahrten am Stichtag detailliert beschrieben. Für weitere Fahrten am Stichtag stehen alle wesentlichen Parameter zur Potenzialbestimmung in aggregierter Form zur Verfügung.

Die KiD-Daten sind somit eine repräsentative Stichprobe von gewerblichen Pkw und bilden die Grundlage für die Bestimmung des Maximalpotenzials von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Sektor. Dabei fließen dieselben Rahmenbedingungen und Restriktionen wie bei der Bestimmung des Maximalpotenzials von mehrheitlich privat genutzten Fahrzeugen in die Analyse mit ein.

4.3.2 Datenaufbereitung und -analyse

Wie bereits erwähnt, liegen die Daten aufgrund der Erhebungsmethode auf Fahrzeugebene vor und müssen daher für eine detaillierte Abschätzung des Maximalpotenzials für Elektrofahrzeuge nicht umstrukturiert werden. Im Gegensatz zur MiD 2008 ist für die in der KiD 2002 aufgelisteten Fahrzeuge kein KBA-Segment angegeben, so dass eine Zuordnung der Fahrzeuge gemäß der in Tabelle 1 aufgeführten Eigenschaften durchgeführt wurde. Kann ein Fahrzeugdatensatz anhand der betrachteten Eigenschaften mehreren KBA-Segmenten zugeordnet werden, wurde der entsprechende Fahrzeugdatensatz der jeweils kleinsten

¹³ Maximal 30 % (2020) bzw. 50 % (2030) der Haushalte ohne eigenen Stellplatz haben regelmäßigen Zugang zu öffentlicher Ladeinfrastruktur und sind daher für den Einsatz eines Elektrofahrzeugs geeignet.

Größenklasse zugeordnet. Auf die Zusammenführung von Tagesnutzungsmustern zu Wochennutzungsprofilen wurde bei der Untersuchung der gewerblichen Servicefahrzeuge allerdings verzichtet, da davon auszugehen ist, dass die Wochenendnutzung bei Servicefahrzeugen nicht die entscheidende Restriktion für die Abschätzung des Maximalpotenzials darstellt.

Tabelle 1: Eigenschaften für Zuordnung zu KBA-Segmenten

Eigenschaft	Otto-Pkw			Diesel-Pkw		
	mini	klein	kompakt	mini	klein	kompakt
Anzahl Sitzplätze	< 5	5	5	< 5	5	5
Leistung [kW]	19 - 75	40 - 110	55 - 170	19 - 66	40 - 110	55 - 130
Hubraum [cm ³]	594 - 1.450	950 - 1.800	1.220 - 2.050	594 - 1.450	950 - 1.900	1.220 - 2.000
Zulässiges Gesamtgewicht [kg]	800 - 1.600	1.400 - 1.750	1.650 - 2.250	800 - 1.600	1.400 - 1.750	1.750 - 2.300

Nach der so erfolgten Datenaufbereitung wird die somit zugrunde liegende Datenbasis auf dieselbe Art und Weise wie bei der Betrachtung der mehrheitlich privat genutzten Fahrzeuge auf das Potenzial für batterieelektrische Pkw analysiert. Es wird im Gegensatz zu der Betrachtung der MiD-Daten allerdings davon ausgegangen, dass die nicht im Alltag auftretenden langen Fahrten über den bestehenden Firmenfahrzeugpool aufgefangen werden können. Um diese Annahme zu berücksichtigen, wird auf die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten der Reichweite der batterieelektrischen Fahrzeuge verzichtet und pauschal ein Puffer an konventionellen Fahrzeugen in der Flotte von potenziell batterieelektrischen Pkw angenommen¹⁴.

Da es sich bei der Betrachtung um gewerbliche Servicefahrzeuge handelt, wird in den Szenarioannahmen für diese Fahrzeuge hinterlegt, dass eine Möglichkeit der Ladung besteht, solange die Fahrzeuge auf dem Betriebsgelände geparkt sind. Da ein Teil der betrachteten Fahrzeuge über Nacht von den Angestellten mit nach Hause genommen wird, muss die Möglichkeit der Ladung zuhause berücksichtigt werden. Für die Bestimmung der Lademöglichkeit am Standort zuhause wird daher auf die ermittelte Verteilung der Stellplätze auf dem eigenen Grundstück der MiD 2008 zurückgegriffen¹⁵. Für Fahrzeuge, die aufgrund der Fahrzeugnutzung ohne Ladung im (semi-)öffentlichen Raum kein Potenzial für ein batterieelektrisches Fahrzeug besitzen, werden bezüglich der Ladeinfrastruktur dieselben Annahmen wie bei der Analyse der mehrheitlich privat genutzten Pkw getroffen.

¹⁴ Dieser Puffer an konventionellen Fahrzeugen in der Servicefahrzeugflotte der Unternehmen wurde mit 10 % abgeschätzt, d.h. das über die restlichen Kriterien bestimmte Potenzial für batterieelektrische Fahrzeuge wird um 10 % reduziert.

¹⁵ Aus der MiD 2008 konnte abgeleitet werden, dass rund 70 % der Pkw-Besitzer von mehrheitlich privat genutzten Pkw einen Stellplatz auf dem eigenen Grundstück besitzen. Daher wird angenommen, dass 70 % der Fahrzeuge, die gemäß ihrer Fahrzeugnutzung eine Ladung zuhause benötigen, einen Stellplatz auf dem eigenen Grundstück besitzen und dort eine Lademöglichkeit besteht.

4.4 Struktur und Fahrleistung des bundesdeutschen Pkw-Bestands

Ausgangspunkt für die Betrachtung des Maximalpotenzials von batterieelektrischen Pkw ist die Analyse der Struktur und Fahrleistung des bundesdeutschen Pkw-Bestands. Die Kombination der Daten aus den Erhebungen MiD und KiD sowie deren Hochrechnung auf den Gesamtbestand ermöglichen einen detaillierten Überblick der Ausgangslage.

Die Struktur des Bestands an Privat-Pkw und Dienstwagen wurde auf Grundlage der MiD bestimmt, die Struktur der gewerblich zugelassenen Pkw, die vorwiegend als Servicefahrzeuge in Fuhrparks zum Einsatz kommen, wurde auf Basis des KiD-Datensatzes ermittelt.

Die Analysen von MiD und KiD zeigen einige wesentliche Strukturmerkmale des bundesdeutschen Pkw-Bestands auf. Der Bestand umfasst eine Gesamtzahl von etwa 42,5 Millionen zugelassenen Pkw. Der überwiegende Anteil an Pkw (89 %) ist privat zugelassen, Dienstwagen (7 %) und Servicefahrzeuge (4 %) haben einen wesentlich geringeren Anteil am Bestand. Der Anteil, der für Elektromobilität relevanten Fahrzeugsegmente (mini, klein & kompakt) beträgt im Durchschnitt etwa zwei Drittel des Pkw-Bestands, wobei der Anteil bei Dienstwagen deutlich geringer (41 %) und bei gewerblichen Fuhrparkfahrzeugen deutlich höher (86 %) ausfällt. Während der Anteil an Pkw mit Otto-Motor bei Privat-Pkw und gewerblichen Fuhrparkfahrzeugen deutlich überwiegt (bis zu 80 %), sind Dienstwagen in fast zwei Dritteln der Fälle mit einem Diesel-Motor ausgestattet. Gleichzeitig steigt der Anteil an Fahrzeugen mit Diesel-Motor mit zunehmender Fahrzeuggröße. Während deren Anteil im Segment „mini“ bei etwa 5 % liegt, steigt dieser in den Segmenten oberhalb der Kompaktklasse auf über 55 %.

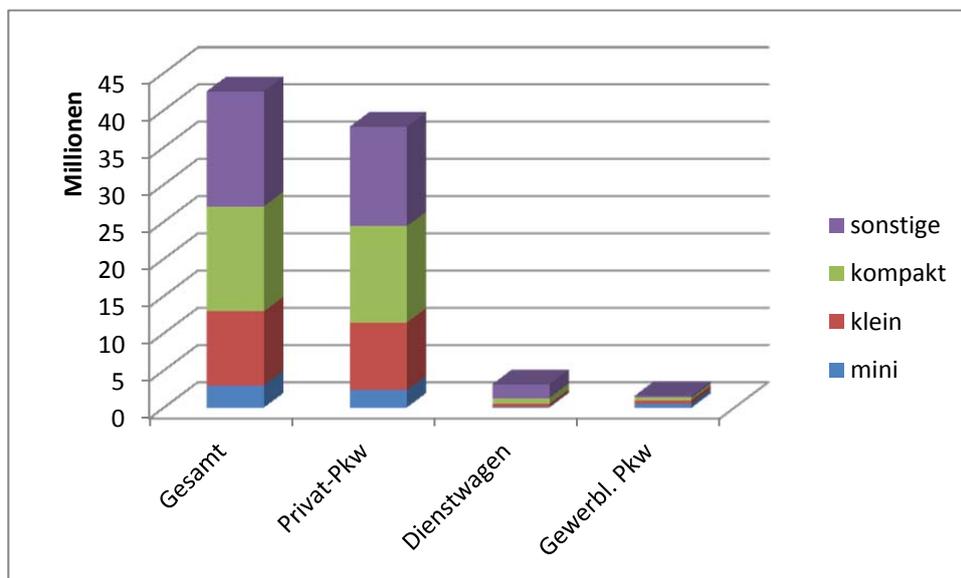


Abbildung 2: Struktur des Pkw-Bestands in Deutschland, Quelle: [5], [6]

Da in KiD und MiD die Fahrzeugeigenschaften in Kopplung mit der Fahrzeugnutzung dokumentiert sind, lassen sich ferner folgende Aussagen zur Jahresfahrleistung des Pkw-Bestands treffen: Die durchschnittliche Jahresfahrleistung des bundesdeutschen Pkw-Bestands beträgt knapp 14.000 km. Während die durchschnittliche Jahresfahrleistung von

Privat-Pkw mit etwa 12.500 km am geringsten ist, zeichnen sich Dienstwagen durch die höchste Jahresfahrleistung (im Mittel etwa 25.500 km) aus. Servicefahrzeuge haben eine etwas geringere Fahrleistung. Deutliche Unterschiede zeigen sich ferner in Abhängigkeit von Motorisierung und KBA-Segment. Grundsätzlich weisen Diesel-Fahrzeuge wesentlich höhere Jahresfahrleistungen auf als Otto-Fahrzeuge. Gleichzeitig steigt die Jahresfahrleistung mit der Fahrzeuggröße erheblich an.

Die Analyse und Hochrechnung des bundesdeutschen Pkw-Bestands hinsichtlich seiner Struktur und fahrzeugspezifischen Jahresfahrleistung auf Basis der Verkehrserhebungen MiD und KiD bildet, wie erwähnt, eine wesentliche Grundlage für die Bestimmung des Maximalpotenzials von batterieelektrischen Pkw.

Hinsichtlich der Aussagekraft der analysierten Datensätze sei an dieser Stelle auf einige Unsicherheiten hingewiesen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Datenerhebung bei MiD und KiD in den Jahren 2008 bzw. 2002 erfolgte und somit repräsentativ für den damaligen Fahrzeugbestand ist. Mögliche Veränderungen im Pkw-Bestand seit der Erhebung sind somit nicht abgebildet. Ferner stellen sogenannte „Dienstwagen“ eine Kategorie dar, die sich zwar im Durchschnitt deutlich von anderen Nutzungen unterscheidet, in den Datensätzen aber nicht eindeutig identifizierbar ist. Gleichzeitig werden Dienstwagen – als gewerblich zugelassene Pkw mit teilweise privater Nutzung – sowohl im Datensatz MiD als auch in der KiD-Erhebung erfasst. Bei der Datenaufbereitung wurden Fahrzeuge der Kategorie „Dienstwagen“ zwar aus dem KiD-Datensatz entfernt, um Doppelzählungen zu vermeiden, dennoch sind angesichts der beschriebenen Problematik der Fahrzeugzuordnung gewisse Überschneidungen nicht auszuschließen.

Um die Qualität der auf Basis von MiD und KiD generierten Datensätze hinsichtlich ihrer Repräsentativität für den aktuellen Fahrzeugbestand und deren Einsatz zu bewerten, wurden diese für zentrale Kennwerte anhand anderer Datenerhebungen validiert.

Der Vergleich des generierten Pkw-Bestands mit den aktuellen Zulassungsdaten des KBA vom 1. Januar 2011 [12] weist für den Gesamt-Pkw-Bestand und den Bestand an Privat-Pkw eine Abweichung von unter einem Prozent auf. Lediglich der Bestand an gewerblichen Pkw wird in der Simulation gegenüber den offiziellen Zulassungszahlen mit etwas über 10 % – bei einer allerdings wesentlich geringeren Grundgesamtheit – deutlicher überschätzt.

Die ermittelte durchschnittliche Jahresfahrleistung weicht nur in geringem Maße von der offiziellen Fahrleistungserhebung [13] ab. Die Unterschiede der Fahrleistung in Abhängigkeit von Fahrzeuggröße, Motortyp und Zulassungsart werden bestätigt.

4.5 Ergebnisse der Potenzialanalysen

Welches Maximalpotenzial für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen bis zum Jahr 2030 besteht, ergibt sich, wie in Abschnitt 4.1 erläutert, aus der Kombination der Szenarioannahmen (siehe Kapitel 3) mit der tatsächlichen Struktur des Pkw-Bestands und deren Einsatzmuster, wie diese in den aufbereiteten Datensätzen aus KiD und MiD dokumentiert sind.

Grundsätzlich wird zwischen der Potenzialanalyse für Privat-Pkw und für gewerbliche Pkw unterschieden. Erstere umfasst sowohl Privat-Pkw als auch Dienstwagen und setzt auf dem MiD-Datensatz auf. Im Folgenden werden die Kategorien Privat-Pkw und Dienstwagen in

aggregierter Form betrachtet. Auf Grundlage der KiD-Daten wird das Maximalpotenzial für gewerbliche Flottenfahrzeuge bestimmt.

Aufgrund dynamischer Szenarioannahmen verändert sich das Maximalpotenzial über den betrachteten Zeitraum. Durch den angenommenen Ausbau der Ladeinfrastruktur steigt das Potenzial von Elektrofahrzeugen, da bis 2030 der Zugang zu Ladestationen steigt und aufgrund höherer Ladeleistungen die Ladedauer gleichzeitig abnimmt. Neben den Standardszenarioannahmen wurden für ausgewählte Parameter weitere Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Diese sollen den Einfluss bestimmter Größen veranschaulichen, sie fließen jedoch nicht in die weiteren Potenzialanalysen ein.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass sich das Potenzial im privaten und gewerblichen Bereich jeweils auf eine sehr unterschiedliche Grundgesamtheit bezieht. Während Privat-Pkw (inkl. Dienstwagen) etwa 96 % des Pkw-Bestands umfassen, stellen gewerbliche Pkw lediglich etwa 4 % des bundesdeutschen Bestands dar.

4.5.1 Private Pkw

Ausgangspunkt für die Maximalpotenzialanalyse für Privat-Pkw (inklusive Dienstwagen) ist der aktuelle Pkw-Bestand in dieser Kategorie. Wie die Analysen der MiD-Daten aufzeigen, umfasst dieser knapp 41 Millionen Fahrzeuge und damit mehr als 95 % des gesamten Pkw-Bestands (Abbildung 2). Wie im Szenario definiert (siehe Abschnitt 3.2), werden batterieelektrische Pkw bis 2030 auf Grund der Restriktionen der Batteriespeichertechnologie voraussichtlich nur in den Segmenten „mini“ bis „kompakt“¹⁶ verfügbar sein.

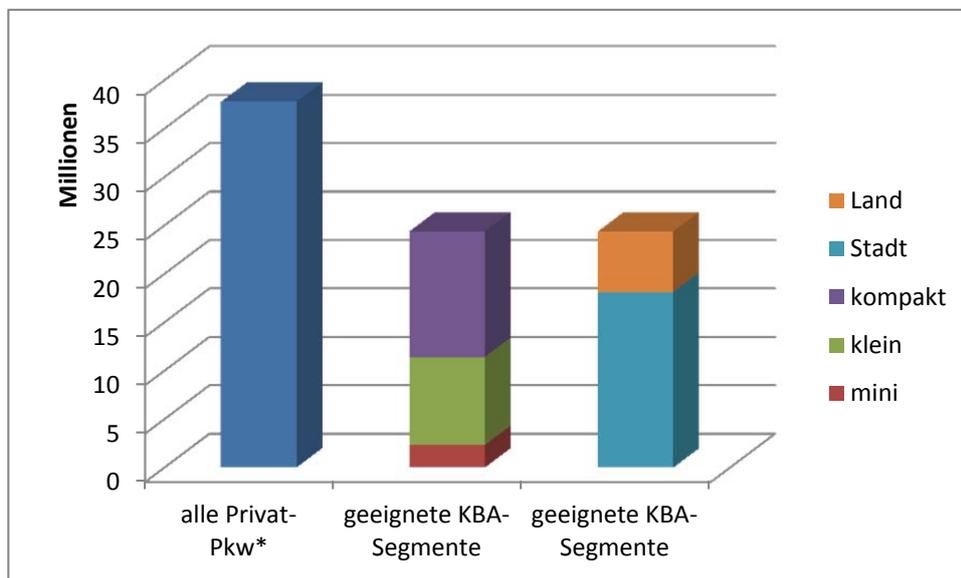


Abbildung 3: Bestand an Privat-Pkw *(inklusive Dienstwagen) in Deutschland und Struktur der für Elektrofahrzeuge geeigneten KBA-Segmente, Quelle: [5]

¹⁶ Inklusiv des KBA-Segments „Mini-Vans“

Diese für Elektrofahrzeuge grundsätzlich geeigneten KBA-Segmente stellen rund 24 Millionen Fahrzeuge dar. Etwa die Hälfte der Fahrzeuge gehört der Kompaktklasse an, Fahrzeuge der Kategorien „mini“ und „klein“ stellen etwa 10 % bzw. 37 % dar. Bezogen auf die räumliche Verteilung werden etwa drei Viertel der Fahrzeuge vorwiegend in der Stadt eingesetzt, ein Viertel der relevanten Fahrzeuge ist im ländlichen Raum lokalisiert.

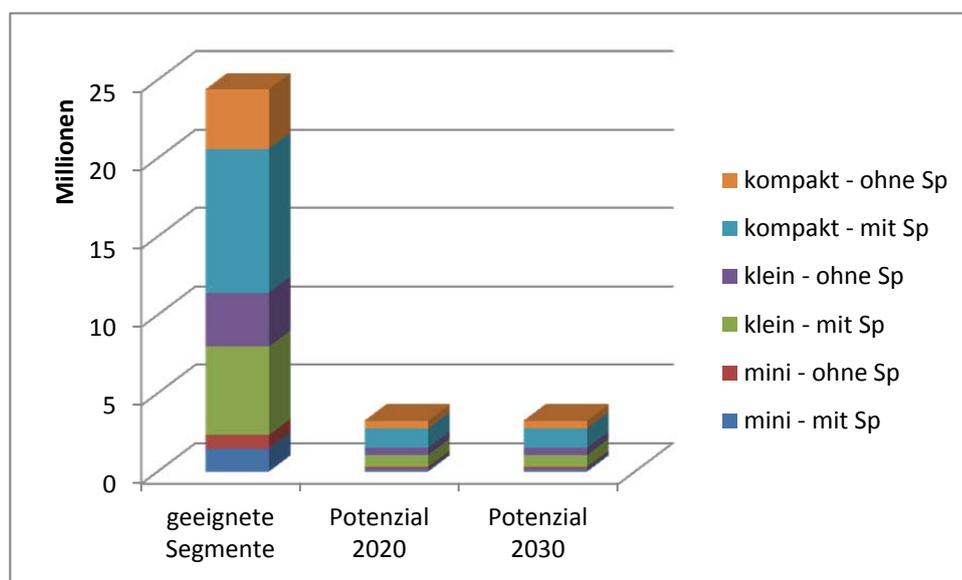


Abbildung 4: Privat-Pkw - Struktur der geeigneten KBA-Segmente und Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030, differenziert nach KBA-Segment und Stellplatzverfügbarkeit (Sp)

Bei mehrheitlich privat genutzten Pkw umfasst das Maximalpotenzial für batterieelektrische Fahrzeuge nur einen geringen Teil der Fahrzeuge der gemäß den Szenarioannahmen in Frage kommenden KBA-Segmente (Abbildung 4). Für die Betrachtung der alltäglichen Mobilität stellt die eingeschränkte Reichweite batterieelektrischer Pkw keine Reduktion der Alltagstauglichkeit dar. Ein großer Teil der Fahrzeuge wird im gewöhnlichen Tagesablauf überhaupt nicht bewegt und 95 % der genutzten Fahrzeuge weisen eine Tagesfahrleistung von unter 100 km auf, die mit einem batterieelektrischen Pkw problemlos zurückgelegt werden kann.

Auch die Standzeiten sind in der Alltagsnutzung unproblematisch und lassen selbst bei geringer Ladeleistung – und somit langen Ladedauern – den Einsatz von batterieelektrischen Pkw zu. Da Haushalte ohne Stellplatz auf dem eigenen Grundstück nicht die Möglichkeit besitzen, ein batterieelektrisches Fahrzeug ohne (semi-)öffentliche Infrastruktur aufzuladen, stellt die Entwicklung der (semi-)öffentlichen Ladestationen für diese Haushalte einen entscheidenden Faktor dar.

Trotz der Alltagstauglichkeit ist die eingeschränkte Reichweite batterieelektrischer Fahrzeuge unter den getroffenen Annahmen der limitierende Faktor bei der Bestimmung des Maximalpotenzials. Da die Wahrscheinlichkeit von acht oder weniger Reichweitenüberschreitungen im Jahr bei 13,5 % liegt und in der Betrachtung der Jahre 2020 und 2030 jeweils die Obergrenze des Maximalpotenzials darstellt, ergibt sich für beide Jahre

dasselbe Maximalpotenzial. Werden von potenziellen Nutzern batterieelektrischer Fahrzeuge mehr Nutzungskonflikte akzeptiert – beispielsweise durch attraktive Angebote für die Nutzung alternativer Verkehrsträger – steigt unter Berücksichtigung der vorgestellten Methodik die Obergrenze für das Maximalpotenzial an und andere Faktoren wie die Verfügbarkeit von Ladestationen erhalten einen Einfluss auf die Ableitung des Maximalpotenzials.

4.5.2 Gewerbliche Pkw

Gewerbliche Pkw in Fuhrparks von Unternehmen (ohne Dienstwagen) umfassen in Deutschland etwa 1,5 Millionen Fahrzeuge. Wie die KiD-Analysen aufzeigen (siehe Abbildung 5) sind von diesen etwa 1,3 Millionen Pkw aufgrund ihrer Größenklasse (KBA-Segmente „mini“ bis „kompakt“) für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen geeignet. Im Vergleich zum Bestand an Privat-Pkw (siehe Abschnitt 4.5.1) lässt sich grundsätzlich konstatieren, dass angesichts des höheren Anteils an Fahrzeugen kleinerer Größenklassen, der relative Anteil an Fahrzeugen, der für den batterieelektrischen Antrieb in Frage kommt, deutlich höher ist. Betrachtet man die Struktur der geeigneten KBA-Segmente, so ist der Anteil von Fahrzeugen im Segment „mini“ ebenfalls deutlich höher und der Anteil des Segments „kompakt“ deutlich geringer als bei den entsprechenden Segmenten der Privat-Pkw. Ähnlich hingegen ist die Verteilung der Fahrzeuge auf verschiedene Raumtypen im gewerblichen und privaten Bereich. Auch im gewerblichen Bereich kommt, mit drei Viertel, der überwiegende Anteil der Fahrzeuge in urbanen Räumen zum Einsatz.

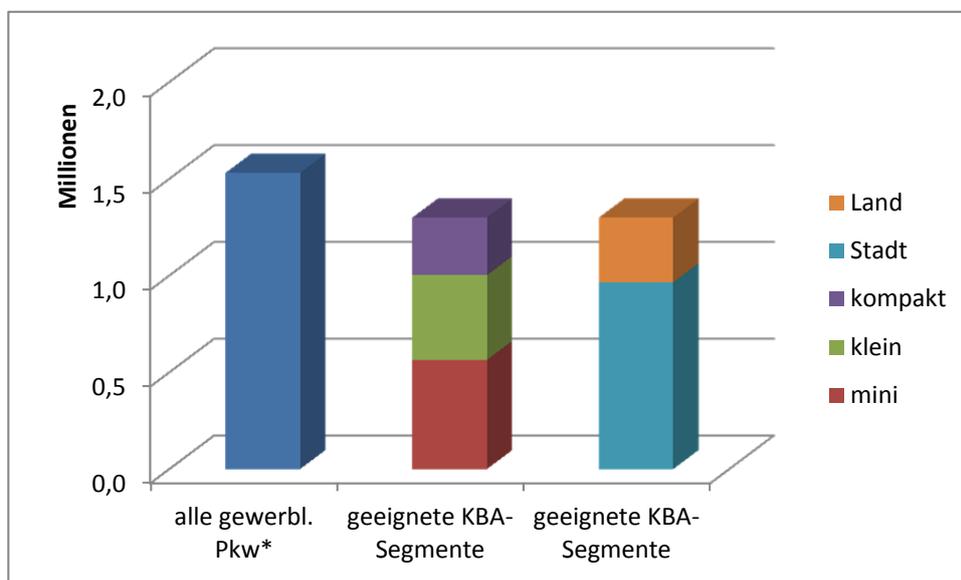


Abbildung 5: Bestand an gewerblich zugelassenen Pkw *(ohne Dienstwagen) in Deutschland und Struktur der für Elektrofahrzeuge geeigneten KBA-Segmente, Quelle: [6]

Für die Bestimmung des Maximalpotenzials für batterieelektrische Pkw ist die Zugehörigkeit zu einem der geeigneten KBA-Segmente zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung. Insbesondere alltägliche Nutzungsprofile, aber auch das Umfeld des Fahrzeugeinsatzes, wie beispielweise die Größe des Fuhrparks, sind weitere wichtige

Einflussgrößen, die über die Eignung für den Einsatz eines batterieelektrischen Fahrzeugs entscheiden.

Die Ergebnisse der KiD-Datenanalyse ermöglichen einen fundierten Einblick in die Nutzung von Fahrzeugen in gewerblichen Flotten. Im Folgenden wird diese zunächst anhand wichtiger Parameter beschrieben, um anschließend auf dieser Datenbasis die möglichen Potenziale für den Einsatz batterieelektrischer Fahrzeuge in gewerblichen Fuhrparks aufzuzeigen.

Die folgende Diskussion geht lediglich auf einige zentrale und zum Teil aggregierte Ergebnisse ein. Eine ausführliche Dokumentation aller Analyseergebnisse zum gewerblichen Pkw-Einsatz befindet sich im Anhang B.

Die übliche Tagesfahrleistung ist angesichts der Reichweitenrestriktion von batterieelektrischen Fahrzeugen ein zentrales Entscheidungskriterium für deren möglichen Einsatz. Pkw in gewerblichen Fuhrparks fahren in 80 % der Fälle weniger als 80 Kilometer. Lediglich 10 % der Fahrten sind länger als 160 Kilometer. Kleine Fahrzeuge des KBA-Segments („mini“) haben einen besonders geringen Anteil an langen Fahrten – nur etwa 4 % aller Fahrten sind länger als 120 Kilometer.

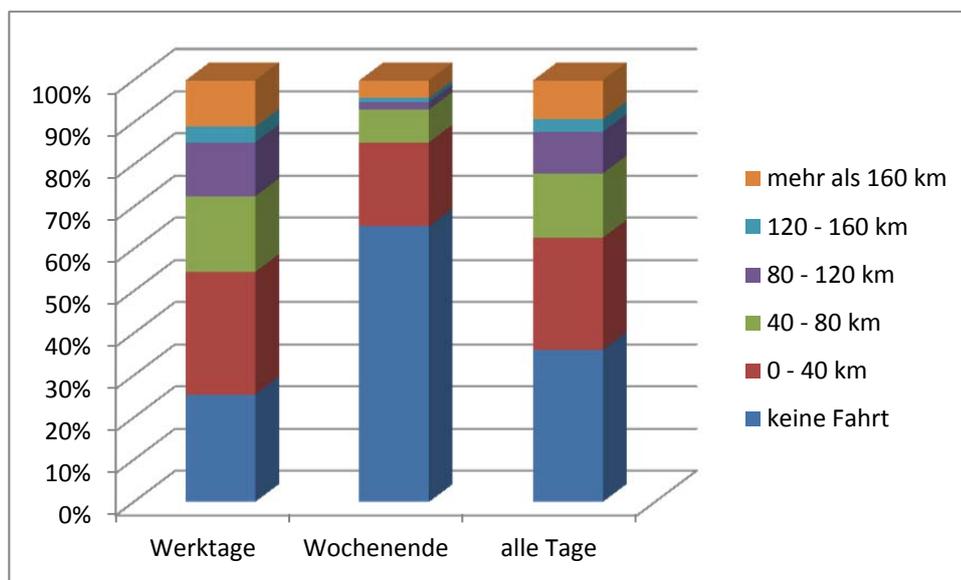


Abbildung 6: Tagesfahrleistung von gewerblich zugelassenen Pkw, Quelle: [6]

Um elektrisches Fahren zu ermöglichen, muss ein regelmäßiger Zugang zu einer Lademöglichkeit gegeben sein. Gleichzeitig muss die Standdauer des Fahrzeugs – in der Nacht oder auch tagsüber – ausreichen, um den notwendigen Batteriefüllstand wiederherzustellen. Insbesondere bei geringer Ladeleistung kann die Vollladung der Batterie über acht Stunden dauern. Entscheidend für die Betrachtung der Potenziale von batterieelektrischen Fahrzeugen sind daher auch die Standorte und Standdauern von gewerblichen Pkw am Tage und in der Nacht. Nachts stehen nur etwa 2 % aller gewerblichen Flottenfahrzeuge weniger als acht Stunden. Im Durchschnitt über alle relevanten KBA-Segmente stehen etwa 40 % der Flottenfahrzeuge über Nacht auf dem Betriebsgelände und 55 % am Wohnort auf dem eigenen Grundstück. Nur etwa 5 % stehen nachts im öffentlichen

Raum. Allerdings variieren die Standorte zwischen den Fahrzeugsegmenten stark. Insbesondere kleine Fahrzeuge stehen nachts eher auf dem Betriebsgelände, während größere Fahrzeuge vorwiegend auf Privatgrundstücken geparkt werden.

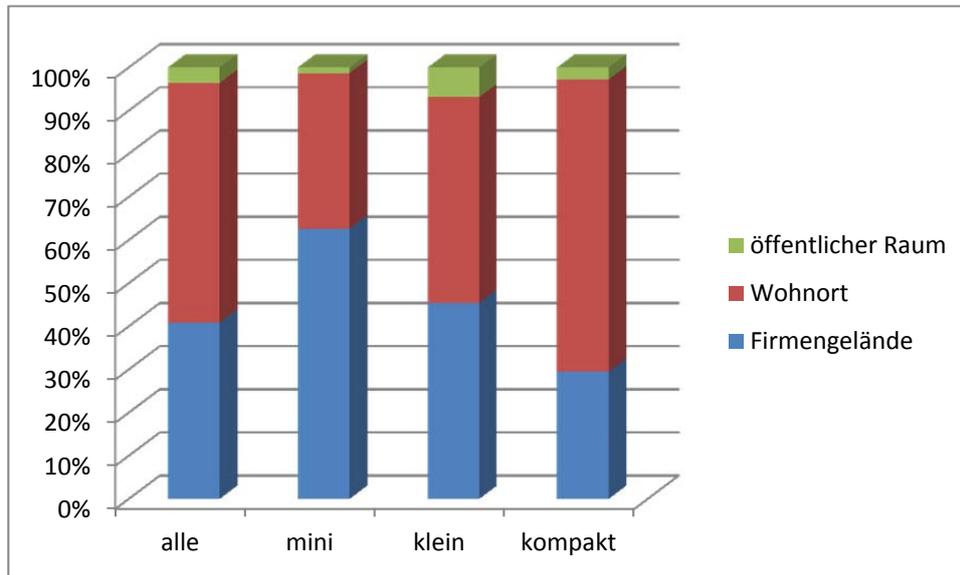


Abbildung 7: Standort von gewerblich zugelassenen Pkw über Nacht, Quelle: [6]

Auch längere Standdauern am Tage können für den Einsatz von Elektrofahrzeugen relevant sein. Bei geeignetem Standort und ausreichender Standdauer könnte diese für eine weitere Batterieladung genutzt und somit die Tagesreichweite des Fahrzeugs erhöht werden. Im Durchschnitt haben etwa 50 % aller Flottenfahrzeuge am Tag mindestens eine Pause von mindestens vier Stunden. Insbesondere Fahrzeuge des Segments „mini“ mit der höchsten Anzahl an Fahrten pro Tag haben entsprechend im Durchschnitt eher kürzere Fahrtunterbrechungen. Im Gegensatz zu den Standorten bei Nacht stehen Pkw tagsüber während der längsten Fahrtunterbrechung nur in 20 % der Fälle auf dem Betriebsgelände, 80 % der Parkstandorte sind hingegen auf privatem Grund oder im öffentlichen Raum.

Grundsätzlich werden über 70 % der Flottenfahrzeuge jeden Werktag bewegt, am Wochenende sind dies nur knapp 40 %.

Mehr als die Hälfte aller gewerblichen Flottenfahrzeuge befindet sich in kleinen Unternehmen mit maximal 10 Mitarbeitern. In der Regel gilt: umso kleiner die Fahrzeuge im Fuhrpark desto kleiner ist auch das Unternehmen. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass die überwiegende Mehrheit der Pkw (~65 %) sich in Flotten mit maximal 10 Fahrzeugen befindet. Die wichtigsten Branchen für den Einsatz von gewerblichen Flottenfahrzeugen sind der Handel, das Bau- und verarbeitende Gewerbe sowie das Grundstücks- und Wohnungswesen. Insbesondere Fahrzeuge des Segments „mini“ kommen zudem vor allem im Gesundheits- und Sozialwesen und auch bei der Erbringung öffentlicher und privater Dienstleistungen zum Einsatz.

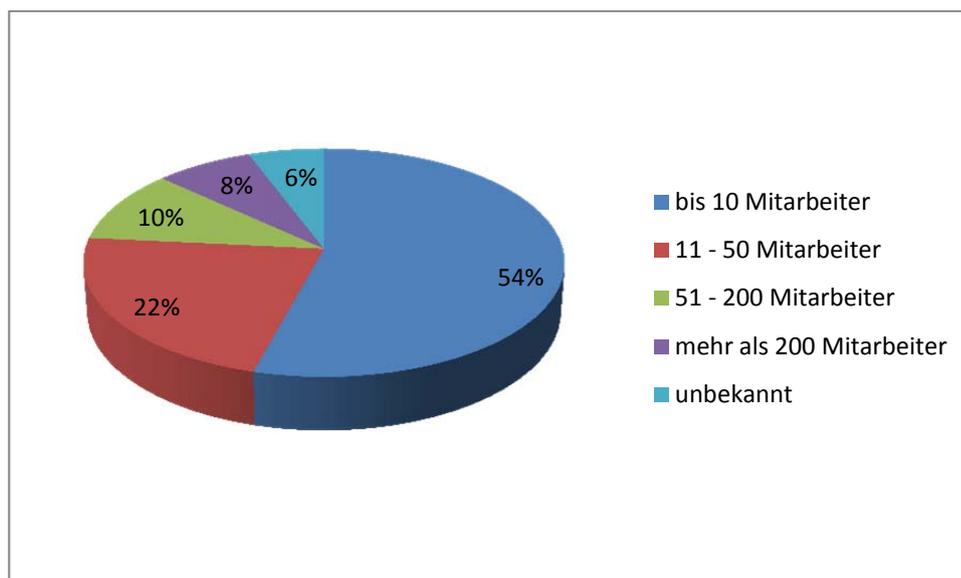


Abbildung 8: Größe von Unternehmen mit gewerblich zugelassenen Pkw, Quelle: [6]

Die Anwendung der in Kapitel 3 dokumentierten Szenarioannahmen – insbesondere hinsichtlich der Eigenschaften von Elektrofahrzeugen und der Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur in den Jahren 2020 und 2030 – auf die im vorausgegangene Abschnitt dargestellten Einsatzprofile von gewerblichen Pkw ermöglichen die Ableitung eines Maximalpotenzials von Elektromobilität für gewerbliche Fuhrparkfahrzeuge. Die Potenzialanalyse beruht auf dem Grundsatz, dass nur wenn die Fahrzeugeigenschaften und Infrastrukturbedingungen für das jeweilige KiD-Fahrzeugnutzungsprofil den Einsatz eines batterieelektrischen Pkw ohne Nutzungseinschränkungen zulassen, dieser als für Elektromobilität grundsätzlich geeignet bewertet wird.

Der starke Zusammenhang zwischen dem Potenzial für batterieelektrische Fahrzeuge im gewerblichen Einsatz und der verfügbaren Ladeinfrastruktur wird anhand zweier Sensitivitätsanalysen nochmals besonders klar (Abbildung 10). Beschränkt sich die Ladeinfrastruktur lediglich auf das Betriebsgelände, so reduziert sich das Potenzial im Jahr 2030 deutlich, da wie zuvor diskutiert, ein Großteil der gewerblichen Pkw nicht auf dem Firmengelände parkt und somit nicht geladen werden könnte. Eine Ausweitung der Ladeinfrastruktur, die neben der Ladung in der Nacht auch eine Batterieladung am Tage an verschiedensten Standorten erlaubt, steigert das Potenzial um weitere 16 %. In diesem Fall könnten 85 % aller Fahrzeuge der relevanten KBA-Segmente durch batterieelektrische Pkw substituiert werden.

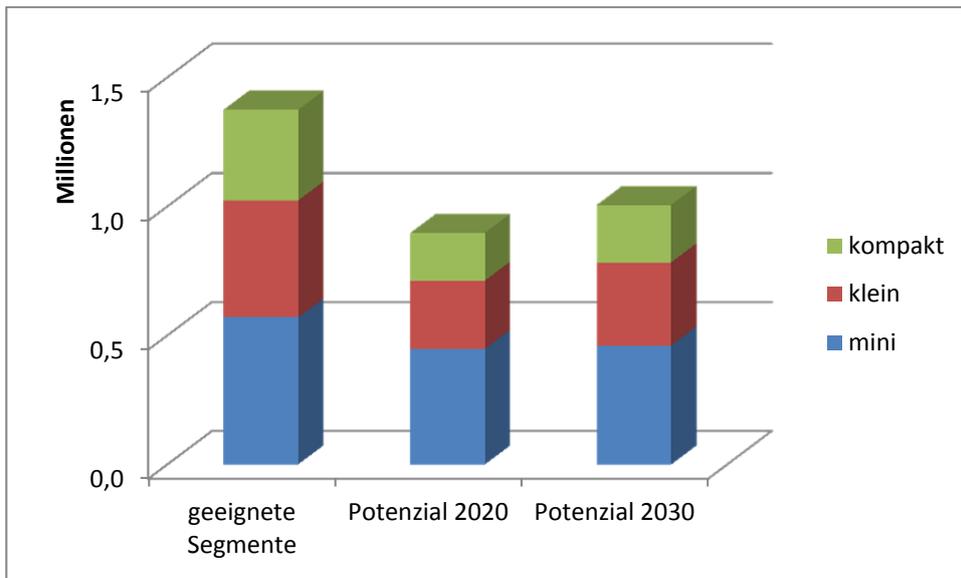


Abbildung 9: Gewerbliche Pkw - Struktur der geeigneten KBA-Segmente und Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030, differenziert nach KBA-Segment

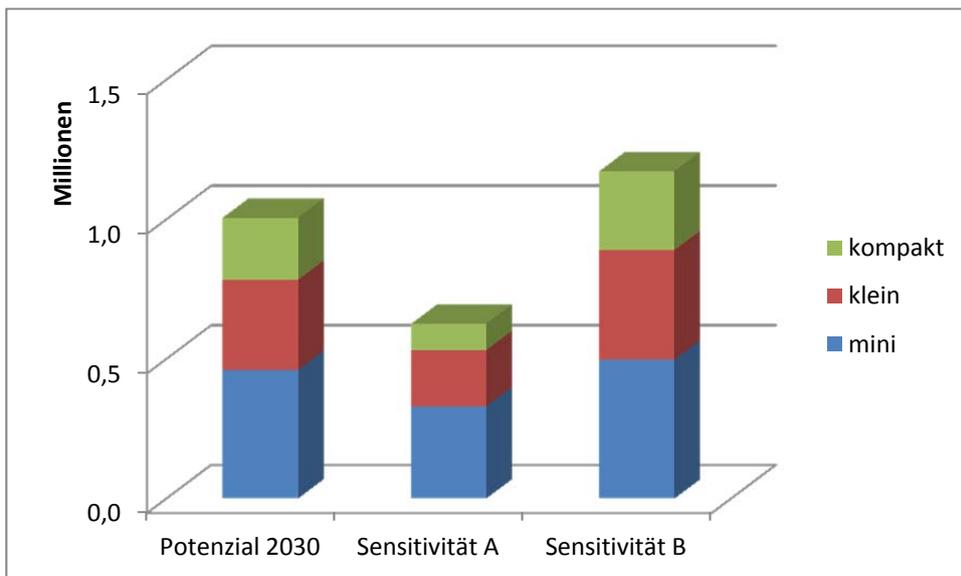


Abbildung 10: Sensitivitätsbetrachtung zum Einfluss der Ladeinfrastruktur auf das Maximalpotenzial von gewerblichen Pkw im Jahr 2030. Sensitivität A: Batterieladung nur auf Firmengelände möglich / Sensitivität B: Batterieladung auf Firmengelände, am Wohnort und während der längsten Pause am Tage möglich

Hintergrundanalysen der KiD-Daten können weitere Aufschlüsse zu den Nutzungsprofilen der für Elektromobilität geeigneten gewerblichen Flottenfahrzeuge geben und erlauben Vergleiche zur Grundgesamtheit (siehe auch Anhang C).

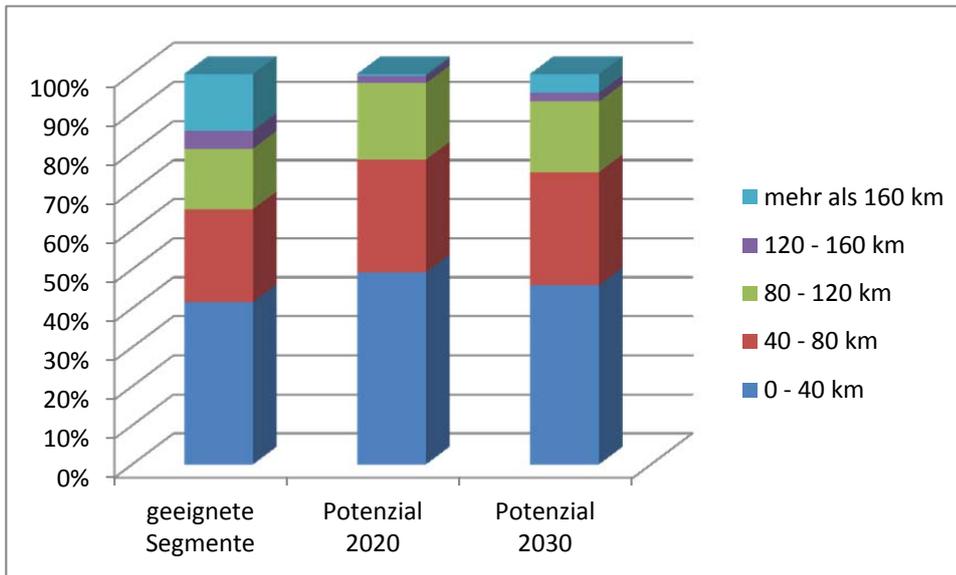


Abbildung 11: Vergleich der Tagesfahrleistung von gewerblichen Pkw aller geeigneten KBA-Segmente mit dem Maximalpotenzial 2020 und 2030, Quelle: [6]

Die Fahrleistung der Fahrzeuge des Maximalpotenzials Elektromobilität erreichen zu 50 % eine Tagesfahrleistung von maximal 40 Kilometern, etwa 80 % aller Fahrzeuge fahren maximal 80 Kilometer am Tag und zeigen somit ähnliche Fahrweiten wie die Grundgesamtheit. Tagesfahrleistungen von über 160 Kilometern sind angesichts der Reichweitenrestriktion jedoch deutlich seltener – allerdings steigt deren Anteil für das Maximalpotenzial im Jahr 2030 immerhin auf 5 %. Dies wird durch den weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur möglich, die auch eine regelmäßige Zwischenladung am Tage an verschiedenen Orten ermöglicht und somit auch das Potenzial zum Einsatz von Elektrofahrzeugen für Pkw mit einer Tagesfahrleistung von über 160 Kilometern eröffnet. Wie für die Grundgesamtheit gilt auch für das Maximalpotenzial, dass die große Mehrheit der Fahrzeuge in kleinen Fuhrparks und Unternehmen mit nur wenigen Mitarbeitern zum Einsatz kommt: etwa 80 % der Fahrzeuge wird von Unternehmen mit maximal 50 Mitarbeitern betrieben – 60 % der Pkw wird von Unternehmen mit maximal 10 Angestellten betrieben. Entsprechend sind etwa 70 % der Fahrzeuge des Maximalpotenzials Bestandteil von Unternehmensflotten mit maximal 10 Pkw. Dies zeigt, dass im Vergleich zur Grundgesamtheit die Bedeutung kleiner Unternehmen und Fahrzeugflotten beim Potenzial für batterieelektrische Pkw nochmals deutlich ausgeprägter ist.

4.6 Zwischenfazit

Grundsätzlich stellen private Pkw inklusive der sogenannten Dienstwagen mit etwa 41 Millionen Fahrzeugen mehr als 95 % des bundesdeutschen Pkw-Bestands. Hiervon gehören 24 Millionen Pkw den für batterieelektrische Fahrzeuge geeigneten KBA-Klassen „mini“ bis „kompakt“ an. Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf Basis aktueller Mobilitätsdaten (MiD 2008) haben ergeben, dass das an der alltäglichen Fahrzeugnutzung orientierte Maximalpotenzial für batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030 bei etwa 3,2 Millionen liegt. Der limitierende Faktor für das Maximalpotenzial ist hierbei die elektrische Reichweite – insbesondere bei unregelmäßigen langen Fahrten.

Die gewerblichen Flottenfahrzeuge (exklusive Dienstwagen) stellen entsprechend einen deutlich geringeren Anteil am Pkw-Bestand: etwa 1,5 Millionen Pkw – und damit weniger als 5 % des Gesamtbestands. Hiervon sind 1,3 Millionen Pkw aufgrund ihrer Größenklasse grundsätzlich für die Substitution durch batterieelektrische Fahrzeuge geeignet. Insbesondere die Reichweitenrestriktion stellt bei gewerblichen Pkw eine geringere Restriktion dar als im Privaten, da Fahrzeugpools zusätzliche Flexibilitäten bieten. Die Analysen haben ergeben, dass bis zum Jahr 2030 das Maximalpotenzial bei gewerblichen Pkw von 900.000 im Jahr 2020 auf über eine Million Fahrzeuge steigt; der theoretische Substitutionsgrad liegt damit deutlich über dem des privaten Bereichs. Auch haben die KiD-Datenanalysen gezeigt, dass Elektrofahrzeuge im gewerblichen Bereich vor allem in kleinen Unternehmen mit eher kleiner Fuhrparkgröße zum Einsatz kommen würden.

Akzeptanz für batterieelektrische Pkw

5.1 Hintergrund

5.1.1 Ausgangslage

Die grundsätzliche Eignung von Elektrofahrzeugen, die Mobilitätsbedürfnisse von privaten und gewerblichen Fahrzeughaltern zu befriedigen, stellt eine zentrale Einflussgröße auf das zukünftige Marktpotenzial von Pkw mit reinem batterieelektrischem Antrieb dar. Neben diesen eher technischen Aspekten auf Grundlage typischer Nutzungsmuster sind für die Ableitung eines Marktpotenzials jedoch auch die Einschätzungen von potenziellen Kunden zur Attraktivität und Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugpendants von entscheidender Bedeutung, da diese die Fahrzeugwahl in der Praxis maßgeblich beeinflussen.

Insbesondere zum Zeitpunkt der Markteinführung einer neuen Technologie sind Prognosen zur Entwicklung der Kundenakzeptanz mit großen Unsicherheiten behaftet. Bezogen auf Elektromobilität ist zu konstatieren, dass bisher nur wenige potenzielle Kunden praktische Erfahrung mit Elektrofahrzeugen sammeln konnten und insbesondere in diesem frühen Marktstadium kein klares und einheitliches Bild über die weitere technologische Entwicklung besteht. Gleichzeitig stellt sich die Wahlentscheidung bei der Pkw-Anschaffung komplex dar und zahlreiche Entscheidungskriterien müssen berücksichtigt werden. Neben praktischen Anforderungen an das Fahrzeug spielen auch Imagefaktoren und der soziodemographische Hintergrund des Käufers eine bedeutende Rolle. Während die Betrachtung der Gesamtbetriebskosten bei der Fahrzeugbeschaffung im gewerblichen Bereich von übergeordneter Bedeutung ist, ist dieser Aspekt bei privaten Pkw-Käufern weniger herausragend.

Um eine möglichst verlässliche Abschätzung der zukünftigen Entwicklung von Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen zu erzielen, wurden in diesem Forschungsvorhaben mehrere methodische Ansätze kombiniert, die Praxiserfahrungen mit Befragungsergebnissen verknüpfen und die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Entscheidungssituation im gewerblichen und privaten Bereich berücksichtigen.

Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung des Flottenversuchs „E-Mobility Berlin“ ermöglicht erste Erkenntnisse aus der Praxis zur Fahrzeugakzeptanz von gewerblichen und privaten Kunden. Angesichts der geringen Teilnehmerzahl liefern diese Ergebnisse zwar sehr hilfreiche Einschätzungen von Erstnutzern – insbesondere zur Fahrzeugnutzung – Informationen zur Simulation der Fahrzeugwahl können aus der Stichprobe jedoch kaum abgeleitet werden. Für eine Hochrechnung auf den Gesamtmarkt ist diese Stichprobe daher nur bedingt geeignet. Dennoch können die Ergebnisse zur Plausibilisierung der weiteren Analysen herangezogen werden.

Um die Pkw-Wahlentscheidung für private Halter¹⁷ zu simulieren, bilden daher die Ergebnisse einer Conjoint-Analyse die empirische Grundlage. Diese wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Öko-Instituts Anfang 2011 durchgeführt und steht für die Analyse

¹⁷ Inklusive Dienstwagennutzer

der Marktpotenziale für batterieelektrische Pkw bis zum Jahr 2030 in diesem Vorhaben als repräsentativer Datensatz zur Verfügung [11].

Für die Simulation der Akzeptanz von Elektromobilität im gewerblichen Bereich wurde angesichts einer grundsätzlich anderen – stärker an Gesamtkosten orientierten – Entscheidungssituation ein alternatives methodisches Vorgehen gewählt. Die Befragung von Fuhrparkbetreibern liefert Erkenntnisse zu deren grundsätzlichen Einschätzung der Potenziale und insbesondere zu der möglichen Zahlungsbereitschaft für elektrische Flottenfahrzeuge. Diese Erkenntnisse werden anschließend mit einem Vergleich der Gesamtbetriebskosten von Elektrofahrzeugen und dem jeweiligen konventionellen Fahrzeugpendant unter den getroffenen Szenarioannahmen (siehe Kapitel 3) kombiniert, um die mögliche Akzeptanz von batterieelektrischen Pkw in gewerblichen Flotten für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 zu quantifizieren.

5.1.2 Erkenntnisse aus dem Flottenversuch „E-Mobility Berlin“

Im Rahmen der Begleitforschung des Flottenversuchs „E-Mobility Berlin“ wurde die Akzeptanz und das Kundennutzungsverhalten mittels einer Längsschnittuntersuchung durch das Customer Research Center der Daimler AG im Zeitraum 2010 bis 2011 erfasst. Im Mittelpunkt der Untersuchung standen die Kundenakzeptanz und wahrgenommene Kauf- und Nutzungsbarrieren im Alltagsbetrieb.

Vor und über die gesamte Nutzungsdauer hinweg wurden Daten mittels Online-Befragung, Fokusgruppengesprächen, Interviews, Beobachtungen und ein kontinuierliches Data-Logging (Fahrzeugdaten) erfasst. Die Daten bzw. Einschätzungen von bis zu 30 Kunden wurden bei den einzelnen Erhebungsschritten berücksichtigt.

Der überwiegende Anteil der Fahrzeuge wurde sowohl privat als auch gewerblich genutzt. Der gängigste Einsatz der Elektrofahrzeuge erfolgt in einem Fahrzeugpool. Im Regelfall stand sowohl privat wie auch im Unternehmen ein konventionelles Alternativfahrzeug zur Verfügung. Etwa 60 % der Kunden hatten bereits eine Vorerfahrung mit Elektromobilität. Der Fahrzeugeinsatz – hinsichtlich Fahrleistung, Anzahl an Fahrten und Standzeiten – erfolgt im Alltag in ähnlicher Weise, wie er auch sonst für konventionelle Pkw typisch ist (siehe auch Kapitel 4).

Am Negativsten werden die hohen Anschaffungskosten, die geringe Reichweite und die lange Ladedauer bewertet. Als besonders positiv werden die geringen Betriebskosten, die Energieeffizienz, die Umweltfreundlichkeit und die Geräuscharmheit sowie das dynamische Fahrverhalten erwähnt. Die grundsätzliche Alltagstauglichkeit des Elektrofahrzeugs wird von der überwiegenden Mehrheit der Befragten bestätigt.

Insbesondere zu den Aspekten Reichweite und Ladedauer weichen die Vorstellungen der Nutzer besonders stark von den tatsächlichen Fahrzeugeigenschaften im Praxisbetrieb ab. In Hinblick auf ein zukünftiges batterieelektrisches Serienfahrzeug wünschen sich die Beteiligten des Flottenversuchs dementsprechend eine höhere elektrische Reichweite und eine Infrastruktur mit Schnellladestationen, die die Batterieladedauer im Bedarfsfall deutlich verkürzen können. Die grundsätzliche technische Zuverlässigkeit sowie ein wettbewerbsfähiger Anschaffungspreis und eine Gewährleistung für die Batterielebensdauer werden als weitere zentrale Kriterien für den Markterfolg von batterieelektrischen Fahrzeugen gesehen.

Neben der grundsätzlichen Bewertung des Elektrofahrzeugs im Kontext der eigenen Praxiserfahrung, konnten insbesondere zum Ladeverhalten wertvolle Erkenntnisse aus dem Flottenversuch gewonnen werden. In der Regel wurde immer derselbe Ladeort für die Batterieladung genutzt. Am häufigsten befand sich dieser auf dem Firmengelände, gefolgt von öffentlichen Ladesäulen in unmittelbarer Nähe und auf dem eigenen Privatgrundstück. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle wurden die Fahrzeuge bei jeder Gelegenheit geladen – dies mag aber auch der Tatsache geschuldet sein, dass ein Großteil der Fahrzeuge im Rahmen von Fahrzeugpools eingesetzt wurde. Fast immer wurde jedoch täglich und nachts geladen. Bei über 70 % der Nutzer war das Fahrzeug jeden Tag für mehr als 8 Stunden an die Stromversorgung angeschlossen. Als Mindestladestand vor Fahrtbeginn wird von den Nutzern ein Durchschnittswert von etwa 40 % genannt. Der gewünschte Ladestand liegt deutlich höher – bei etwa 60 %. Kritische Situationen, in denen die Ladedauer nicht ausreichend war, traten nur selten auf und deren seltenes Auftreten wurde u.a. mit der verstärkten Planung von Fahrten begründet. Schnellladestationen werden insbesondere im Kontext langer Fahrten als wünschenswert genannt, für den Alltagsgebrauch sind sie jedoch für die Nutzer von eher untergeordneter Bedeutung. Öffentliche Ladestationen wurden auf Grund von Handhabungsschwierigkeiten und Sicherheitsbedenken von vielen Nutzern nur selten oder gar nicht genutzt.

Das Mobilitätsverhalten der Elektrofahrzeugnutzer hat sich kaum verändert. Bei Fahrten, die nicht mit dem Elektrofahrzeug zurückgelegt werden konnten, wurde am Häufigsten auf ein konventionelles Zweitfahrzeug ausgewichen. Zwar können sich etwa 20 % der Nutzer eine verstärkte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel vorstellen, im Rahmen des Flottenversuchs konnte ein entsprechendes Verhalten jedoch nicht beobachtet werden.

Um die zukünftigen Potenziale von Elektrofahrzeugen zu erhöhen nennen die Nutzer als wichtigste Förderinstrumente bzw. Privilegien (in dieser Reihenfolge) Sonderparkplätze für Elektrofahrzeuge, eine privilegierte Einfahrt in städtische Umweltzonen, steuerliche Vergünstigungen, die Nutzung von Bussonderspuren sowie Sondertarife für den Fahrstrom.

5.2 Private Pkw

5.2.1 Akzeptanzbefragung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft“, welches parallel zum hier diskutierten Vorhaben ebenfalls unter Federführung des Öko-Instituts durchgeführt wurde, wurde vom Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) eine umfangreiche Akzeptanzanalyse durchgeführt [11]. Die erhobenen Daten ermöglichen die Simulation der Pkw-Wahlentscheidung unter variablen Rahmenbedingungen. Diese bilden die Grundlage für die Abschätzung der Akzeptanz von batterieelektrischen Fahrzeugen bei privaten Fahrzeughaltern.

Kern der empirischen Erhebung war die Befragung von etwa 1.500 Neuwagenkäufern zu ihren Präferenzen beim Fahrzeugkauf. Neben einem Rahmenfragebogen zu Soziodemographie, mobilitätsrelevanter Haushaltsausstattung, Verkehrsverhalten und Lebensstilorientierung, stand eine standardisierte Conjoint-Analyse im Mittelpunkt der Befragung. Im Rahmen der Conjoint-Analyse wurde die Entscheidungssituation zwischen einem herkömmlichen verbrennungsmotorischen Pkw, einem Plug-In-Hybrid-Fahrzeug und einem batterieelektrischen Pkw im Rahmen von Rechner-unterstützten persönlichen Befragungen

(CAPI) simuliert. Hierfür wurden den Probanden Beispielfahrzeuge für die drei genannten Antriebstypen in Form von acht zentralen Fahrzeugeigenschaften¹⁸ in unterschiedlichen Ausprägungen zur Wahl gestellt und diese in zahlreichen Durchläufen jeweils neu kombiniert.

Wenn das Ihre einzigen Optionen sind, welches Fahrzeug wählen Sie?

Motor	Verbrennungsmotor	Plug-In-Hybrid	Elektromotor
Leistung	120 kW/ 165 PS	120 kW/ 165 PS	90 kW/ 120 PS
CO ₂	100 g/km	50 g/km	5 g/km
Anschaffungskosten	24.000 €	29.000 €	35.000 €
Kraftstoffkosten	12 €/100 km	8 €/100 km	4 €/100 km
Reichweite pro Ladung			200 km
Ladedauer			8 Stunden
Privilegien			Kostenfreie für Elektroautos reservierte Parkplätze in Innenstädten

Mit Blick auf das, was Sie über den Automarkt wissen: Würden Sie dieses Fahrzeug, das Sie hier ausgesucht haben, tatsächlich kaufen?

Ja
 Nein

Abbildung 12: Beispiel einer Conjoint-Task (CAPI), Quelle: [11]

Die Gesamtheit aller dokumentierten Wahlentscheidungen ermöglicht es, die Bedeutung jedes einzelnen der betrachteten Parameter zu bewerten und den Nutzen einer bestimmten Merkmalsausprägung für den Befragten implizit zu bestimmen. In Kombination mit plausiblen Annahmen zur Ausprägung der betrachteten acht Parameter für die betrachteten Jahre und differenziert nach Antriebsart lassen sich im Rahmen von Szenarien auf Basis der erhobenen Daten zur Fahrzeugwahl die Marktanteile der drei betrachteten Fahrzeugtypen berechnen.

Im Vergleich zu konventionellen Befragungen potenzieller Pkw-Käufer zeichnet sich die Conjoint-Analyse durch die implizite Bewertung von Eigenschaften im Kontext anderer Merkmale aus. Durch die Simulation einer Wahlentscheidung, die jeweils mehrere Merkmale in Kombination zur Wahl stellt, besteht eine wesentlich größere Annäherung an den realen Vorgang bei der Entscheidungsfindung, der ebenfalls das „gegeneinander Abwägen“ verschiedener Eigenschaften umfasst. Dennoch kann auch bei diesem methodischen Vorgehen insbesondere die emotionale Komponente der Kaufentscheidung nicht vollständig abgebildet und der Einfluss der fehlenden Praxiserfahrung – insbesondere mit Blick auf batterieelektrische Pkw – nicht quantifiziert werden.

¹⁸ Für alle Pkw-Typen: Motortyp, Leistung, Anschaffungskosten, Kraftstoff- bzw. Stromkosten, CO₂-Emissionen pro Kilometer
Nur für batterieelektrische Pkw: Reichweite pro Ladung, Ladedauer, Park-Privileg

5.2.2 Ergebnis der Akzeptanzanalyse

Die Analyse der geäußerten Präferenzen bei der simulierten Pkw-Wahl liefern einige wichtige Erkenntnisse zur grundsätzlichen Einschätzung von batterieelektrischen Fahrzeugen durch potenzielle Neuwagenkäufer.

Bei der simulierten Wahlentscheidung wurde den Kraftstoffkosten eine überdurchschnittlich hohe Bedeutung beigemessen, während der Einfluss des Anschaffungspreises geringer als erwartet ausfiel. Eine mögliche Erklärung für die ungewöhnlich hohe Relevanz der Verbrauchskosten stellen die erheblich geringeren Betriebskosten von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Pkw mit Verbrennungsmotor dar. Die Ladedauer und Reichweite von Elektrofahrzeugen stellt zwar für die Befragten eine Restriktion dar, ist aber im Gesamtkontext nicht von herausragender Bedeutung. Dem jeweiligen Antriebstyp wird eine hohe Signalfunktion beigemessen – insbesondere der batterieelektrische Antrieb wird mit besonders positiven Umwelteigenschaften assoziiert.

Die Erhebung von personenspezifischen Daten im Rahmen der Befragung ermöglicht weitere Erkenntnisse zu möglichen Nutzergruppen von Elektrofahrzeugen. Grundsätzlich lässt sich die Zielgruppe der Neuwagenkäufer bezüglich ihrer Einstellung gegenüber Elektrofahrzeugen in drei Hauptgruppen unterteilen. Eine Teilgruppe zeichnet sich durch eine besonders hohe Affinität zu Elektromobilität aus. Diese würde sich selbst bei deutlich höheren Kosten und Einschränkungen bei der Fahrzeugnutzung für den Kauf eines Elektrofahrzeugs entscheiden. Auch in einer eher kostenorientierten Käufergruppe wird der Kauf eines Elektrofahrzeugs zumindest unter bestimmten Rahmenbedingungen präferiert. Insbesondere die geringen Betriebskosten stellen für diese eine wichtige Einflussgröße dar. Dem gegenüber steht eine Gruppe, die sich eher stark ablehnend gegenüber batterieelektrischen Pkw zeigt. Die Gründe hierfür sind vielfältig – meist wird der Leistung des Fahrzeugs und dem herkömmlichen Verbrennungsmotor eine besonders hohe Bedeutung beigemessen. Grundsätzlich zeichnen sich Personen mit einer besonders hohen Affinität zu Elektromobilität durch eine überdurchschnittlich hohes Umweltbewusstsein und eine gute Anbindung an den öffentlichen Verkehr aus. In diesem Kontext kann auch die zunächst überraschende Erkenntnis, dass Befragte ohne eigenen Pkw-Stellplatz eine höhere Präferenz für Elektrofahrzeuge äußern als Personen mit eigenem Stellplatz, plausibel erklärt werden. Zwar wird in der Praxis die Verfügbarkeit eines eigenen Stellplatzes den Alltagsbetrieb eines Elektrofahrzeugs vermutlich deutlich erleichtern, an dieser Stelle der Erhebung ist der Stellplatz jedoch eher als Indikator für den soziodemographischen Hintergrund des Befragten zu verstehen. Personen ohne eigenen Stellplatz sind insbesondere in städtischen Räumen überdurchschnittlich vertreten und zeigen eine hohe Überschneidung hinsichtlich ihrer Umwelteinstellungen und der Anbindung an den öffentlichen Verkehr mit der Gruppe, die eine besonders hohe Präferenz für Elektrofahrzeuge äußert. In der getroffenen Wahlentscheidung dieser Gruppe scheinen diese Aspekte die möglichen praktischen Restriktionen eines fehlenden Stellplatzes zu überwiegen.¹⁹

Da bei der Erhebung zwischen Käufern unterschiedlicher Pkw-Segmente unterschieden und diese jeweils mit größenklassenspezifischen Fahrzeugeigenschaften konfrontiert wurden, bietet der Conjoint-Datensatz die Möglichkeit, die Wahlentscheidung differenziert nach den

¹⁹ Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse findet sich im Abschlussbericht des Projekts OPTUM [11].

betrachteten KBA-Segmenten zu simulieren. Zu diesem Zweck wurden auf Grundlage der in der Szenarioausgestaltung definierten Entwicklung von Fahrzeugtechnik, Ladeinfrastruktur und Kosten (Kapitel 3) jeweils Referenzfahrzeuge für die betrachteten drei Antriebstypen konzipiert, welche über acht zentrale Eigenschaften beschrieben werden (siehe Abschnitt 5.2.1). Differenziert nach den betrachteten KBA-Segmenten stellen diese typische Fahrzeuge für die Jahre 2020 und 2030 dar und berücksichtigen implizit die erwartete weitere Technologieentwicklung und Kostendegression.

Batterieelektrische Fahrzeuge wurden in den Simulationen den „konkurrierenden“ Optionen Plug-In-Hybrid- und herkömmlicher verbrennungsmotorischer Pkw gegenübergestellt. Für die weiteren Betrachtungen werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens jedoch lediglich die Ergebnisse zu batterieelektrischen Pkw genutzt.

Im Jahr 2020 würden entsprechend der Simulationsergebnisse bereits 12 bis 25 % der Pkw-Käufer ein batterieelektrisches Fahrzeug wählen. Insbesondere in den kleineren Fahrzeugsegmenten erscheint den Befragten die Option eines elektrischen Pkw besonders attraktiv. Bis zum Jahr 2030 würde der Anteil an Elektrofahrzeug-Käufern im Durchschnitt weiter ansteigen und die Wahl eines konventionellen Pkw nur noch bei etwa einem Drittel der Befragten in Frage kommen. Hauptursachen für diese weitere Akzeptanzsteigerung von batterieelektrischen Fahrzeugen sind insbesondere die Minderung der Zusatzkosten des elektrischen Antriebs und kürzere Ladedauern, die sich durch den prognostizierten weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur ergeben. Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge können bereits im Jahr 2020 die größte Akzeptanz im Vergleich der drei Technologien erreichen. Nur im Segment „mini“ verlieren batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 gegenüber 2020 leicht; Plug-In-Hybrid-Pkw werden dann im Jahr 2030 auch in diesem Segment die wichtigste Antriebstechnologie darstellen.

Tabelle 2: Ergebnis der Conjoint-Analyse – Fahrzeugwahl²⁰ in den Jahren 2020 und 2030, Quelle: [11]

Größenklasse	2020			2030		
	BEV	PHEV	CV	BEV	PHEV	CV
mini	25 %	36 %	39 %	24 %	41 %	35 %
klein	19 %	41 %	40 %	22 %	42 %	36 %
kompakt	12 %	47 %	41 %	19 %	44 %	37 %

²⁰ BEV: batterieelektrisches Fahrzeug
PHEV: Plug-In-Hybrid-Fahrzeug
CV: konventionelles verbrennungsmotorisches Fahrzeug

5.3 Gewerbliche Pkw

5.3.1 Unternehmensbefragung

Hintergrund

Um fundierte Aussagen über das tatsächlich bestehende Potenzial in gewerblichen Flotten treffen zu können, müssen Einschätzungen bezüglich der Akzeptanz von Elektromobilität aus der Praxis berücksichtigt werden. Dabei muss analysiert werden, unter welchen Bedingungen ein Einsatz von reinen batterieelektrischen Pkw möglich ist. Vor allem die Akzeptanz von Elektromobilität bei den jeweiligen Entscheidungsträgern in den Unternehmen stellt eine wichtige Voraussetzung für eine Eingliederung von Elektro-Pkw in gewerbliche Flotten dar.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde daher eine Befragung von Fuhrparkverantwortlichen zu den Potenzialen von batterieelektrischen Pkw durchgeführt. Ziel dieser Umfrage war es, anhand der aktuellen Beschaffungs- und Einsatzsituation in den Unternehmen das real bestehende Potenzial von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten aufzuzeigen. Neben Angaben zum eigenen Unternehmen und der eigenen Flotte sollten die Unternehmen auch Angaben zu den wichtigsten Anforderungen an Fuhrparkfahrzeuge, zu ihren möglichen bisherigen Erfahrungen mit Elektromobilität, sowie zu ihrer grundsätzlichen Einschätzung der Potenziale von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Fuhrparks machen.

Teilnehmer und Konzeption der Befragung

Im Rahmen der Unternehmensbefragung wurden die Fuhrparkverantwortlichen von mehr als 200 Unternehmen – mit einem Schwerpunkt auf Berlin und Umland – kontaktiert. Bestand ein grundsätzliches Interesse an der Umfrage, wurde ein 6-seitiger Fragebogen in elektronischer Form verschickt. Insgesamt wurden Fragebögen an etwa 100 Unternehmen versendet, 31 Unternehmen nahmen schließlich an der Umfrage teil.

Neben allgemeinen Angaben zum Unternehmen und dessen Fuhrpark adressierte der Hauptteil des Fragebogens ausschließlich den Bestand und die Nutzung gewerblicher Pool- und Servicefahrzeuge, Dienstwagen waren nicht Bestandteil der Befragung.

Der Fragebogen gliedert sich in drei Teile. Im Themenblock „Fuhrpark & Fahrzeugeinsatz“ sollten zunächst allgemeine Angaben zum Unternehmen und dem Fuhrpark sowie zu den typischen Einsatzmustern der Service- und Poolfahrzeuge gemacht werden. Im Teil „Fahrzeugbeschaffung“ wurden die Art der Fahrzeugbeschaffung und die Bedeutung verschiedener Beschaffungskriterien eruiert. Im abschließenden Themenblock „Einschätzung von Elektromobilität“ sollten die Fuhrparkleiter das Potenzial von Elektrofahrzeugen in ihrem Unternehmen bewerten sowie notwendige Anreizmechanismen und Hemmnisse benennen.

Der vollständige Fragebogen befindet sich im Anhang D am Ende dieses Berichts.

Ergebnisse

Tendenziell ist die aktuelle Haltung der Unternehmen gegenüber Elektrofahrzeugen noch eher skeptisch. Vor allem die hohen Zusatzkosten und die verhältnismäßig geringe Reichweite werden als größte Hemmnisse für den Einsatz bewertet. Die meisten Unternehmen geben an, dass für sie eine gesicherte Batteriereichweite von 100 Kilometern nicht ausreichend ist. Zudem geben viele Unternehmen an, dass die Einsatzmuster der Flottenfahrzeuge den Einsatz von batterieelektrischen Pkw nicht ohne relevante Einschränkungen ermöglichen. Diese Tatsache lässt die Vermutung zu, dass nach Einschätzung der Flottenbetreiber die

Nutzungsanforderungen an Flottenfahrzeuge nicht mit den Restriktionen von batterieelektrischen Fahrzeugen hinsichtlich Reichweite und Batterieladedauer kompatibel sind. Für diese Annahme spricht, dass nach den Angaben der meisten Unternehmen mit den bestehenden Fahrprofilen der Flottenfahrzeuge Batterieladedauern von mehreren Stunden nicht realisierbar sind. Zudem geben die meisten Unternehmen an, dass eine weitere Flexibilität in der Nutzung durch Poolfahrzeuge nicht gegeben ist. Ein Ausweichen auf Alternativfahrzeuge bei beispielsweise niedrigem Batterieladestand oder bei längeren Fahrten wird demnach in den wenigsten Unternehmen als realisierbar eingeschätzt.

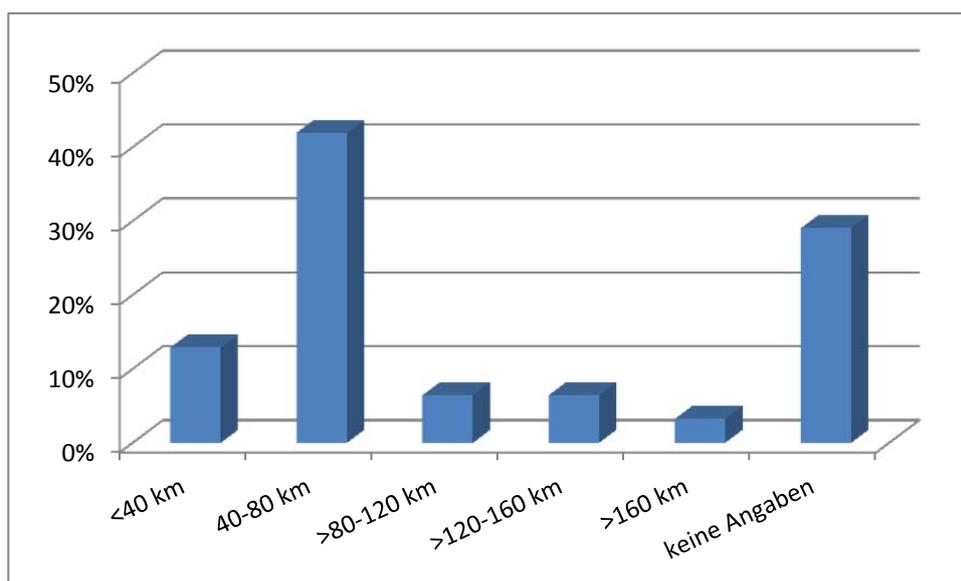


Abbildung 13: Durchschnittliche Tagesfahrleistung der Flottenfahrzeuge in Unternehmen

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Angaben der Unternehmen zur aktuellen Situation ihrer Flotte, so kann konstatiert werden, dass die Bedenken der Flottenbetreiber zum Teil nicht mit den Angaben zum tatsächlichen Fahrzeugeinsatz erklärt werden können. Die durchschnittliche Tagesfahrleistung der Servicefahrzeuge liegt bei etwa 75 % der Unternehmen unter 80 Kilometer und wäre somit im Gegensatz zu den Angaben der Unternehmen meist ausreichend für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen. Außerdem wird in etwa drei Viertel der Unternehmen die Tagesfahrleistung als planbar und die Pkw-Nutzung als nicht personenbezogen angegeben. Somit könnte in vielen Unternehmen grundsätzlich genügend Flexibilität gegeben sein, um den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Rahmen eines Poolkonzepts zu ermöglichen.

Neben der vergleichsweise geringen Reichweite und der geringeren Flexibilität im Einsatz von Elektrofahrzeugen werden die hohen Zusatzkosten als weiterer bedeutender Hemmnisfaktor genannt. Mehr als die Hälfte aller Unternehmen würde keine oder nur sehr geringe Zusatzkosten (maximal 5 %) für die Beschaffung und den Betrieb von Elektrofahrzeugen in Kauf nehmen. Gleichzeitig zeigen die Befragungsergebnisse auf, dass die Anschaffungs- und Betriebskosten bei der Fahrzeugbeschaffung die wichtigsten Kriterien der Unternehmen darstellen. Dass Kosten ein relevanter Entscheidungsfaktor sind, spiegeln auch die Angaben zu den Maßnahmen, die nötig wären um den Einsatz von Elektrofahrzeugen zu fördern, wider.

Als besonders relevante Maßnahmen werden von den meisten Unternehmen die finanzielle Förderung der notwendigen Ladeinfrastruktur, Steueranreize und Kaufprämien angegeben. Privilegien im Straßenverkehr oder CO₂-Emissionsvorgaben für gewerbliche Flotten wird hingegen eine geringere Bedeutung beigemessen.

Insgesamt schätzt aber trotz dieser Bedenken fast die Hälfte der Unternehmen das Potenzial zum Einsatz von Elektrofahrzeugen in ihrer eigenen Flotte als hoch bis sehr hoch ein. Als Hauptgründe für den zukünftigen Einsatz von Elektrofahrzeugen werden von vielen Befragten insbesondere die Umwelteigenschaften und der mögliche Imagegewinn für das Unternehmen genannt. Von einem erheblichen Imagegewinn durch den Einsatz von emissionsarmen Fahrzeugen gehen fast alle Unternehmen aus. In diesem Zusammenhang sehen viele Unternehmen Maßnahmen zur Stärkung der öffentlichen Wahrnehmung von nachhaltigen Unternehmen als besonders relevant an, um den Einsatz von Elektrofahrzeugen in ihrer Flotte zu fördern. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Beobachtung, dass Umweltaspekte und die CO₂-Emissionen des Fuhrparks in den befragten Unternehmen in den letzten Jahren bei der Fahrzeugbeschaffung als Kriterien am stärksten an Bedeutung gewonnen und nach den Kosten mittlerweile die zweitwichtigsten Kriterien für die Fahrzeugbeschaffung darstellen.

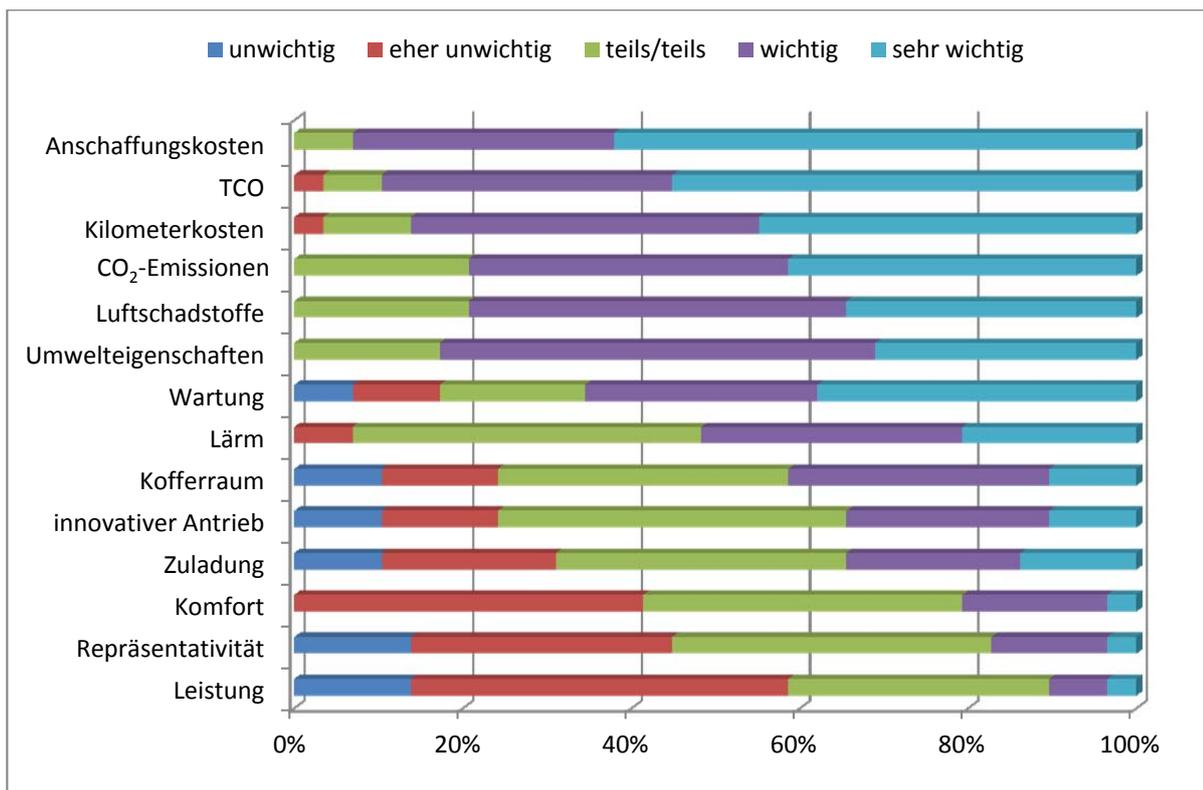


Abbildung 14: Bedeutung verschiedener Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung

Wie aus der Befragung hervorgeht, stellen Kostenbetrachtungen bei der Beschaffung von gewerblichen Fuhrparkfahrzeugen die wichtigste Einflussgröße dar. Diese Erkenntnis bestätigt bestehende Annahmen und weist auf die Unterschiede im Vergleich zur Fahrzeugbeschaffung von Privatpersonen hin. Wie bereits zuvor erläutert, wird dieser Tatsache im Forschungsvorhaben auch im methodischen Vorgehen Rechnung getragen, in dem die

Ergebnisse der Unternehmensbefragung zur Zahlungsbereitschaft mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen (siehe Abschnitt 5.3.2), die auf einer Gesamtkostenbetrachtung²¹ basieren, kombiniert werden.

Im Rahmen der durchgeführten Befragung wurde daher explizit die zusätzliche Zahlungsbereitschaft der Unternehmen im Rahmen einer Gesamtkostenbetrachtung, welche alle anfallenden Kosten des Fahrzeugs inklusive der Anschaffung berücksichtigt, abgefragt (Abbildung 15).

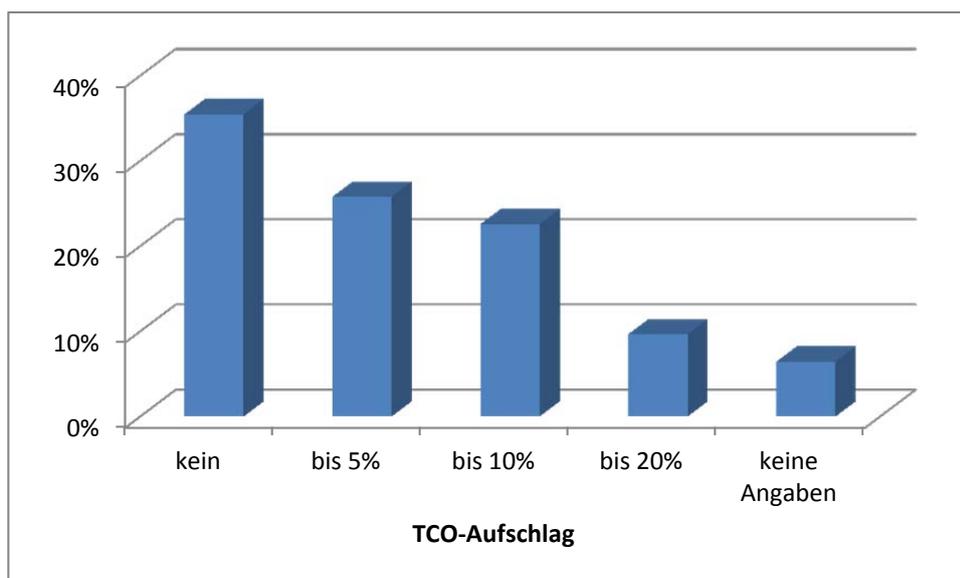


Abbildung 15: Akzeptanz eines Gesamtkosten(TCO)-Aufschlags für Elektrofahrzeuge

Knapp 40 % der befragten Unternehmen würden für die Beschaffung und den Betrieb von batterieelektrischen Fuhrparkfahrzeugen keine zusätzlichen Kosten in Kauf nehmen. Jeweils etwa ein Drittel der Unternehmen äußert bezogen auf die Gesamtkosten eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft von 5 % bzw. 10 bis 20 %. Detailanalysen, welche die Aussagen zur Zahlungsbereitschaft mit weiteren Aussagen der Unternehmen kombinieren, zeigen, unter welchen Umständen eine höhere Zahlungsbereitschaft von gewerblichen Flottenbetreibern besonders wahrscheinlich ist.

Insbesondere Unternehmen mit großen Fahrzeugflotten – dies sind im Regelfall auch größere Unternehmen mit hoher Beschäftigtenzahl – zeigen eine höhere Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge. Gleichzeitig schätzen Unternehmen mit hoher Zahlungsbereitschaft das Potenzial von Elektrofahrzeugen in ihrem Fuhrpark überdurchschnittlich hoch ein. Im Umkehrschluss zeigen Unternehmen, die das Potenzial für Elektrofahrzeuge in ihrer Fahrzeugflotte als gering bewerten, auch eine unterdurchschnittliche Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge. Hinsichtlich des Fahrzeugeinsatzes zeichnen sich die Fahrzeuge in

²¹ Total-Cost-of-Ownership(TCO)-Berechnung für batterieelektrische und konventionelle Pkw im Vergleich.

Unternehmen mit hoher Zahlungsbereitschaft durch besonders geeignete Fahrleistungen aus, die überwiegend unter 80 Kilometern liegen.

Insbesondere wenn Unternehmen vom Einsatz von Elektrofahrzeugen in ihrer Firmenflotte einen hohen Imagegewinn erwarten, sind sie auch bereit, einen höheren Kostenaufschlag in Kauf zu nehmen. Besonders kostensensible Unternehmen, für die beispielsweise Kilometerkosten ein wichtiges Kriterium bei der Fahrzeugbeschaffung sind oder eine Kaufprämie einen wichtigen Anreiz darstellt, sind tendenziell nicht bereit, einen höheren Kostenaufschlag in Kauf zu nehmen.

Einordnung der Stichprobe – Repräsentativität und Vergleich zu anderen Erhebungen

Die durchgeführte Unternehmensbefragung liefert erste Erkenntnisse zur möglichen Entscheidungsfindung in gewerblichen Fahrzeugflotten. Wie für den Privat-Markt gelten auch für die gewerbliche Fahrzeugbeschaffung die genannten Unsicherheiten, die sich u.a. mit dem frühen Marktstadium von Elektrofahrzeugen und der geringen Praxiserfahrung der Entscheidungsträger mit batterieelektrischen Pkw begründen.

Der hier vorliegende Datensatz, der sich auf die Einschätzung von 31 befragten Unternehmen stützt, kann angesichts der geringen Stichprobe nicht den Anspruch von Repräsentativität erheben. Dennoch kann anhand der erfassten Rahmendaten zu den befragten Unternehmen, dem Fahrzeugbestand und deren Einsatz eine erste Einordnung in den Gesamtbestand, welcher über den repräsentativen KiD-Datensatz vorliegt, vorgenommen werden.

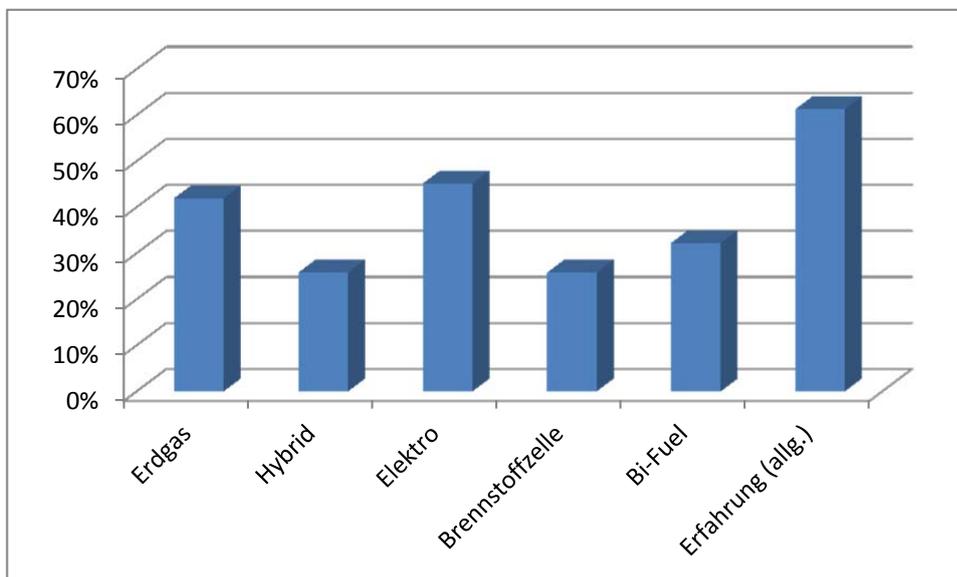


Abbildung 16: Vorerfahrung mit alternativ angetriebenen Pkw im Unternehmensfuhrpark

Die befragten Unternehmen haben bereits eine überdurchschnittlich hohe Vorerfahrung mit Elektrofahrzeugen (etwa 50 %); etwa drei Viertel der Unternehmen haben sich bereits mit der Beschaffung von Elektrofahrzeugen beschäftigt. Damit liegen die befragten Unternehmen wahrscheinlich weit über dem Durchschnitt. Die Vermutung liegt demnach nahe, dass vor

allen Unternehmen, die Interesse an der Thematik haben, den Fragebogen ausgefüllt haben. Verzerrungen hinsichtlich der Aussagekraft sind damit denkbar.

Grundsätzlich wurde bei der KiD-Erhebung nicht zwischen Dienstwagen und Servicefahrzeugen unterschieden. In der Unternehmensbefragung wurden hingegen ausschließlich Service- und Poolfahrzeuge betrachtet. Diese Tatsache ergibt eine Unsicherheit beim Abgleich der einzelnen Ergebnisse.

Ein Vergleich der Flottenstruktur hinsichtlich der eingesetzten Fahrzeuggrößenklassen zeigt eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den befragten Unternehmen und der Struktur im KiD-Datensatz.

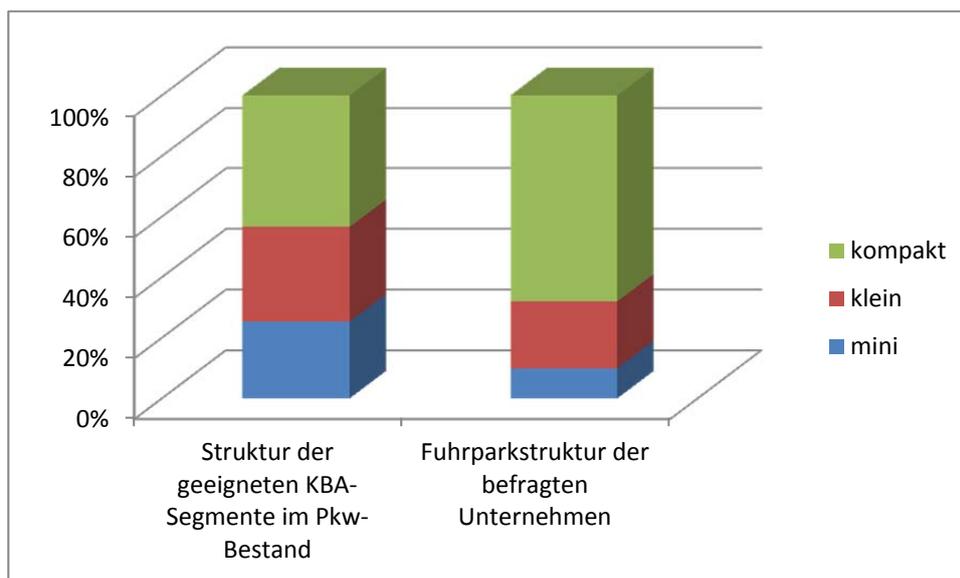


Abbildung 17: Vergleich der Pkw-Segmentstruktur im KiD-Bestand und in den Unternehmensflotten, Quelle: [6] & Unternehmensbefragung

Das heißt, dass die wenigsten Fahrzeuge dem Segment „mini“ und die meisten dem Segment „kompakt“ zuzuordnen sind. Die Verteilung der Fahrzeuge auf die verschiedenen Segmente zeigt für die Kategorie „kompakt“ in der Erhebung eine deutliche Übergewichtung, ansonsten scheint trotz der kleinen Stichprobe die Struktur dem realen Bild relativ gut zu entsprechen. Die durchschnittliche Tagesfahrleistung der Flottenfahrzeuge bietet eine weitere Vergleichsmöglichkeit. Dabei ist zu beachten, dass sich die Profile der KiD-Erhebung auf reale Stichtage beziehen, jedoch in der Befragung für die gesamte Flotte der Segmente „mini“ bis „kompakt“ jeweils nur ein Durchschnittswert angegeben werden konnte. Betrachtet man die Fahrten der am Stichtag mobilen Pkw im KiD-Datensatz, so zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung mit der durchschnittlichen Fahrleistung der Fahrzeuge in den befragten Unternehmen. Während 42 % aller mobilen gewerblichen Pkw (KiD) eine Tagesfahrleistung von maximal 80 Kilometern aufweisen, sind dies bei den befragten Unternehmen etwa 30 %. Zuletzt zeigt ein Abgleich der Unternehmensgröße, dass insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, die laut der KID-Analysen den Großteil der gewerblichen Flottenfahrzeuge betreiben, in der Unternehmensbefragung unterrepräsentiert sind bzw. Unternehmen mit maximal 10 Mitarbeitern überhaupt nicht vertreten sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Einordnung der Befragungsergebnisse bietet der Vergleich mit ähnlich gelagerten Befragungen. Zu diesem Zweck wurden die Ergebnisse weiterer acht Befragungen, die sich an Unternehmen richteten, analysiert.²² Die Hälfte der Befragungen wurde im Kontext von Flottenversuchen, die andere Hälfte wurde – ähnlich der hier diskutierten Befragung – unabhängig vom Einsatz von Elektrofahrzeugen im Unternehmen durchgeführt.

Wie auch in dieser Umfrage, standen in jeder der betrachteten Befragungen Umweltkriterien und Emissionseinsparungen als Gründe für den Einsatz von Elektrofahrzeugen an erster Stelle. Auch bei den geäußerten Haupthemnissen lässt sich eine hohe Übereinstimmung konstatieren – die verhältnismäßig geringe Reichweite wurde in allen Befragungen als größter Nachteil von Elektrofahrzeugen genannt. Größere Unterschiede bestehen bei der Bewertung von Ladeinfrastruktur und Zusatzkosten. Der Ladeinfrastruktur wird eine vergleichsweise höhere Bedeutung beigemessen, die möglichen Zusatzkosten von Elektrofahrzeugen werden etwas weniger kritisch bewertet. Privilegien werden in keiner Befragung als wichtiger Anreiz genannt.

Mit einer im Rahmen des Forschungsvorhabens „Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen und Flottenmanagement unter dem Aspekt der Elektromobilität in der Modellregion Sachsen – SaxMobility“ [14] durchgeführten Unternehmensbefragung steht die umfassendste aktuelle Vergleichsstudie zur Einschätzung von Elektromobilität gewerblicher Flottenbetreiber zur Verfügung. Die Ergebnisse der Befragung von 61 öffentlichen und gewerblichen Fuhrparkbetreibern bestätigen in mehreren Aspekten die Erkenntnisse der Erhebung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens. Wie in Abbildung 18 veranschaulicht schätzen auch die Befragten im Projekt „SaxMobility“ die Planbarkeit des Fahrzeugeinsatzes als hoch ein. In beiden Befragungen wird in etwa drei Viertel der Unternehmen über Nacht auf dem Firmengelände geparkt. Die bei SaxMobility“ befragten Unternehmen haben sich mit dem Thema Elektromobilität schon etwas häufiger beschäftigt, gleichzeitig wird auch das Potenzial zum Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Flotte etwas höher eingeschätzt. Bei der zusätzlichen Zahlungsbereitschaft weisen beide Befragungen eine überwiegende Mehrheit bei 0 % bis 10 % Zusatzkosten auf. Während die Unternehmen in der Befragung dieses Vorhabens eine höhere Zahlungsbereitschaft bis 20 % Kostenaufschlag zeigen, zeigen sich in der Stichprobe von „SaxMobility“ 5 % der Unternehmen bereit, sogar einen Kostenaufschlag von bis zu 30 % zu übernehmen. In der Befragung des Öko-Instituts zeigt hingegen kein Unternehmen die Bereitschaft mehr als 20 % Zusatzkosten für Elektrofahrzeuge zu tragen. Die Struktur der zusätzlichen Zahlungsbereitschaft von Unternehmen zeigt insgesamt eine relativ gute Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Erhebungen.

²² Da die Befragungsergebnisse teilweise aus laufenden Forschungsvorhaben stammen, liegen für diese in manchen Fällen noch keine veröffentlichten Ergebnisberichte vor.

Quelle: Präsentation von Zwischenergebnissen im Rahmen des 5. Treffens der sozialwissenschaftlichen Plattform, Modellregionen der BMVBS, am 29.06.2011 in Berlin.

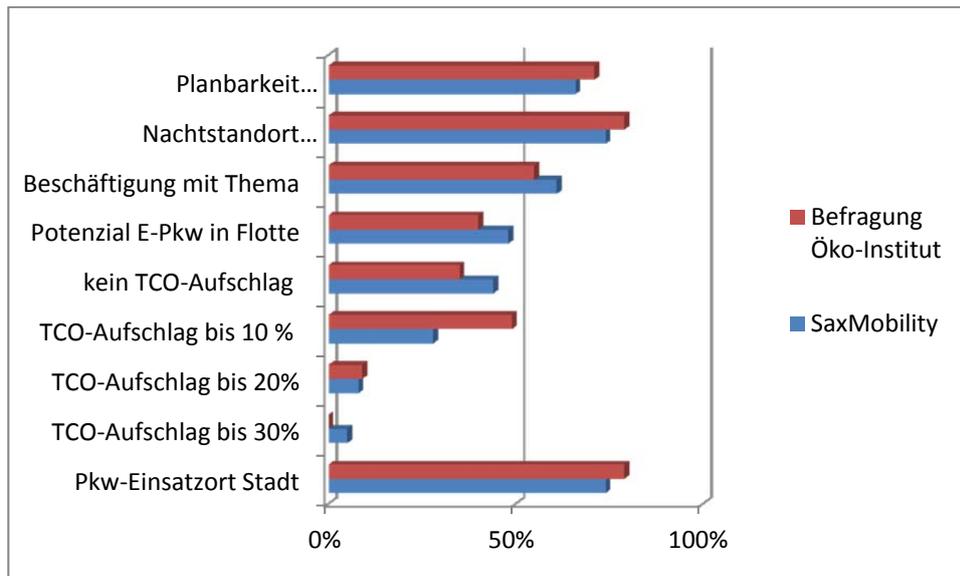


Abbildung 18: Vergleich der Ergebnisse der Unternehmensbefragung im Rahmen dieses Projektes mit einer ähnlichen Erhebung im Rahmen des Forschungsvorhabens SaxMobility

5.3.2 TCO-Modell

Hintergrund

Der Preis eines Fahrzeugs ist beim Fahrzeugkauf ein entscheidendes Kriterium für die Fahrzeugauswahl und stellt eine zentrale Größe für die Akzeptanz und somit für den Markterfolg neuer Fahrzeugkonzepte dar. Der Anschaffungspreis ist aber nicht die alleinige Größe bei einer Kostenbetrachtung für die Nutzung eines Fahrzeugs. Die während des Betriebs anfallenden Kosten unterscheiden sich je nach Größenklasse, Ausstattung und Antriebstyp, so dass sich in der derzeitigen Marktsituation bei hoher Fahrleistung trotz eines höheren Anschaffungspreises vermehrt für Diesel-Fahrzeuge mit geringeren Betriebskosten entschieden wird. Bei der Einführung von elektrischen Fahrzeugen in den Markt verstärkt sich für Fahrzeugkäufer das Spannungsfeld zwischen hohen Ausgaben zur Anschaffung eines elektrischen Pkw und den geringeren Betriebskosten des Fahrzeuges.

Für gewerblich zugelassene Fahrzeuge und Flottenkunden spielt die Gesamtkostenanalyse des Fahrzeugbesitzes und der Fahrzeugnutzung bereits heute eine bedeutende Rolle [15] beim Fahrzeugkauf. Für gewerbliche Servicefahrzeuge ist die Analyse der Gesamtkosten laut der Ergebnisse der Unternehmensbefragung (Abschnitt 5.3.1) sogar das bedeutendste Kriterium bei der Kaufentscheidung. Selbst im privaten Sektor besteht nach [15] vermehrt der Wunsch nach eine Aufschlüsselung der Gesamtkosten der Fahrzeugnutzung.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Unternehmensbefragung zur Bedeutung der Gesamtbetriebskosten und zur zusätzlichen Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge wird im Rahmen der Akzeptanzanalyse für gewerbliche Pkw in diesem Vorhaben zusätzlich eine Vollkostenbetrachtung für die in der Betrachtung konkurrierenden batterieelektrischen und verbrennungsmotorischen Fahrzeugkonzepte durchgeführt und mit den Aussagen der Unternehmen zur Zahlungsbereitschaft gekoppelt. Das dafür verwendete TCO(Total-Cost-of-Ownership)-Modell wird in diesem Abschnitt vorgestellt und betrachtet neben den

Anschaffungs- und Betriebskosten auch die Entsorgung der Fahrzeuge, was im Falle gewerblicher Flottenfahrzeuge dem Weiterverkauf auf dem Gebrauchtwagenmarkt entspricht.

Durch die Berücksichtigung der Entsorgung bzw. des Wiederverkaufswerts des Fahrzeugs in der Analyse unterscheidet sich die TCO-Betrachtung von der Cost-of-Ownership-Definition²³ nach [15], in der die Entsorgung nach der Haltedauer eines Fahrzeugs laut Definition nicht in die Cost-of-Ownership-Betrachtung mit einfließt. Der Wiederverkaufswert wird genauso wie beispielsweise die Versicherungskosten und Reparaturkosten in der Relevant-Cost-of-Ownership-Analyse nach [16] nicht betrachtet, da nach [16] in diesen Kostenkategorien keine relevanten Unterschiede zwischen den Fahrzeugtypen zu erwarten sind. Da der Wiederverkauf eines Fahrzeugs im Kontext gewerblicher Flotten allerdings ein entscheidendes Kriterium in der Kostenbetrachtung darstellt, wird die Gesamtkostenanalyse mit Hilfe eines TCO-Modells – also unter Berücksichtigung des Wiederverkaufswerts – durchgeführt.

Methodik

Die TCO-Modellierung erfolgt für Fahrzeuge unterschiedlicher Antriebstypen. Verbrennungsmotorisch angetriebene Fahrzeuge werden dabei auf der Kostenebene mit rein batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeugen verglichen. Wie bereits erwähnt, sind für diese Fahrzeugtypen stark unterschiedliche Anschaffungs- und Betriebskosten in der Modellierung hinterlegt. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wird in der Modellierung zudem zwischen Otto- und Diesel-Fahrzeugen unterschieden, da diese jeweils unterschiedliche Kostenstrukturen und Restwertentwicklungen aufweisen.

In der TCO-Betrachtung werden die in Abbildung 19 schematisch dargestellten Kostenkategorien für alle betrachteten Fahrzeugtypen berücksichtigt. Zur Berechnung der Total-Cost-of-Ownership werden für alle Kostenkategorien mittels Inflationsbereinigung und Diskontierung reelle Barwerte bestimmt. Über Aufsummierung dieser reellen Barwerte über die Haltedauer des Fahrzeugs und alle Kostenkategorien werden schließlich die Total-Cost-of-Ownership bestimmt. Der Wiederverkaufswert geht dabei als negative Kostenkategorie in die TCO ein, da durch den Verkauf der Fahrzeuge ein Erlös erzielt wird. Wird der so bestimmte Wert durch die Gesamtfahrleistung des betrachteten Fahrzeugs dividiert, ergibt sich eine Kostenbetrachtung pro gefahrenen Kilometer.

Im Folgenden wird detailliert auf die Bestimmung des Wiederverkaufswerts der verschiedenen Fahrzeugtypen eingegangen, da der Wiederverkaufswert der Fahrzeuge eine bedeutende Größe für die TCO-Modellierung von Pkw darstellt und gerade bei der Einführung von neuen Fahrzeugkonzepten einer hohen Unsicherheit unterliegt. Daher sollen an dieser Stelle das Vorgehen und die so getroffenen Annahmen möglichst transparent gemacht werden. Die weiteren Annahmen und Rechenschritte zur Bestimmung weiterer Kostenkategorien sind in Anhang F aufgeführt.

Der Wiederverkaufswert eines Pkw hängt von vielen Faktoren ab. Darunter fallen einerseits eher technische Faktoren wie Antriebstyp, Fahrzeugsegment und Kilometerstand, andererseits aber auch emotionale Faktoren wie das Image der Marke und des Pkw-Modells sowie der Zustand des Fahrzeugs. Eine Abschätzung der eher emotionalen Faktoren für die Bestimmung

²³ „Die Cost-of-Ownership stellt die Summe aller mit der Nutzung eines Automobils verbundenen Kosten für den Käufer dar, d.h. die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb über die ganze Nutzungsdauer.“ [48]

des Wiederverkaufswerts eines Fahrzeugs stellt sich als äußerst schwierig dar und ist für die Zukunft schwer prognostizierbar, weshalb auf eine Berücksichtigung dieser Faktoren verzichtet wird.

	Konventioneller Pkw	Batterieelektrischer Pkw
Anschaffungskosten	Anschaffungspreis	Anschaffungspreis
Variable Kosten	Wartung & Pflege	
	Schmierstoffe	Keine Schmierstoffe
Fixkosten	Versicherungen	
	Kfz-Steuer	Kfz-Steuer-Befreiung
	Haupt- & Abgasuntersuchung	Hauptuntersuchung
Kraftstoffkosten	Benzin/Diesel	Strom
Wiederverkaufswert	Wiederverkaufswert	Wiederverkaufswert

Abbildung 19: Schema TCO-Modell

Für die Abschätzung des Wiederverkaufswerts konventioneller Pkw wird daher ein an [17] orientiertes Vorgehen gewählt. In [17] wird davon ausgegangen, dass zwei Parameter den Wertverlust eines Fahrzeugs bestimmen (Gleichung 1). Einerseits verliert ein Fahrzeug nach [17] dadurch an Wert, dass es kein Neuwagen mehr ist und von einer anderen Person bereits genutzt wurde. Dieser Effekt ist in Gleichung 1 durch den Faktor a abgebildet. Der zweite Parameter b berücksichtigt die Fahrleistung des Fahrzeugs und mindert den Wert des Fahrzeugs gemäß der Fahrleistung während des Besitzes des Fahrzeugs. RW_{CV} und I_{CV} stellen in Gleichung (1) den Wiederverkaufswert und die Investitionskosten bzw. den Anschaffungspreis der konventionellen Fahrzeuge dar. Für M muss die Jahresfahrleistung in der Einheit km angegeben werden und t gibt die Haltedauer des Fahrzeugs in Jahren an.

$$RW_{CV} = a * I_{CV} * \left(1 - b \frac{M}{15.000 [km]}\right)^t \quad (1)$$

Da sich der Wiederverkaufswert je nach Segment und Antriebstyp unterschiedlich entwickelt, wurden die Parameter a und b für die betrachteten Größenklassen und Antriebstypen getrennt voneinander bestimmt. Dafür wurden aus der Datenbank [18] jeweils drei typische Pkw herangezogen und deren Restwerte für verschiedene Haltedauern und Jahresfahrleistungen ausgelesen. Die so ausgelesenen Restwerte wurden mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate zur Parameterbestimmung (Tabelle 3) verwendet. An den dargestellten Parametern ist erkennbar, dass der relative Wertverlust durch die Tatsache, dass das betrachtete Fahrzeug kein Neuwagen mehr ist, mit steigender Pkw-Größenklasse zunimmt. Zudem ist der auf die Fahrleistung bezogene, relative Wertverlust bei Fahrzeugen mit einem Otto-Motor höher als bei Diesel-Pkw. Dies kann damit begründet werden, dass Diesel-Motoren robuster und auf höhere Fahrleistungen ausgelegt sind.

Tabelle 3: Parameter zur Restwertbestimmung

Größenklasse	Otto		Diesel	
	a	b	a	b
2010	0,6193	0,0920	0,62998	0,0844
2020	0,7185	0,0955	0,7004	0,0764
2030	0,6638	0,0829	0,6836	0,07497

Für elektrisch angetriebene Fahrzeuge lässt sich die Restwertentwicklung nicht aus empirischen Daten ableiten, da solche Fahrzeuge bisher nur in sehr geringen Stückzahlen auf den Gebrauchtwagenmarkt gelangt sind. Allgemein ist anzumerken, dass die Restwertbestimmung für elektrisch angetriebene Fahrzeuge daher mit großen Unsicherheiten verbunden ist und beim Kauf eines Fahrzeugs ein großes Investitionsrisiko darstellt.

Zur Bestimmung des Wiederverkaufswerts dieser Fahrzeuge wird daher eine Idee von [2]²⁴ aufgegriffen und davon ausgegangen, dass Zweitwagnutzer beim Kauf eines elektrischen Fahrzeugs bereit sind, die zusätzlichen Anschaffungskosten zu tragen, die sie während der Zweitnutzung gegenüber einem konventionellem Pkw wieder einsparen.

Dafür wird zunächst die Lebensdauer der Fahrzeuge definiert und die Annahme getroffen, dass diese Fahrzeuge nach Ablauf der Lebensdauer keinen Restwert mehr besitzen. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, eine TCO-Betrachtung der Zweitnutzung der Fahrzeuge mit dem definierten Restwert von Null durchzuführen. Somit lässt sich bei vorgegebener Fahrleistung der Zweitnutzung die Differenz der Betriebskosten zwischen einem elektrisch angetriebenen und einem konventionellen Fahrzeug bestimmen. Dieser Wert stellt die Betriebskostensparnis des Zweitwagnutzers beim Besitz eines elektrisch angetriebenen Pkw dar und ist in Gleichung (2) als $\Delta BK_{Zweitnutzer,xEV}$ dargestellt.

$$RW_{xEV} = RW_{CV} + \Delta BK_{Zweitnutzer,xEV} \quad (2)$$

²⁴ Persönliches Gespräch mit Dr. Stefan Pfahl (Daimler AG) am 12.05.2011 in Sindelfingen.

Für die Bestimmung des Wiederverkaufswert von batterieelektrischen Pkw wird als Basis die Mittelung der Restwerte des Otto- und des Diesel-Fahrzeugs der entsprechenden Größenklasse verwendet, zu der die Betriebskostensparnis des Zweitnutzers hinzuaddiert wird (Gleichung 2). Schematisch ist das Vorgehen zudem in Abbildung 20 dargestellt.

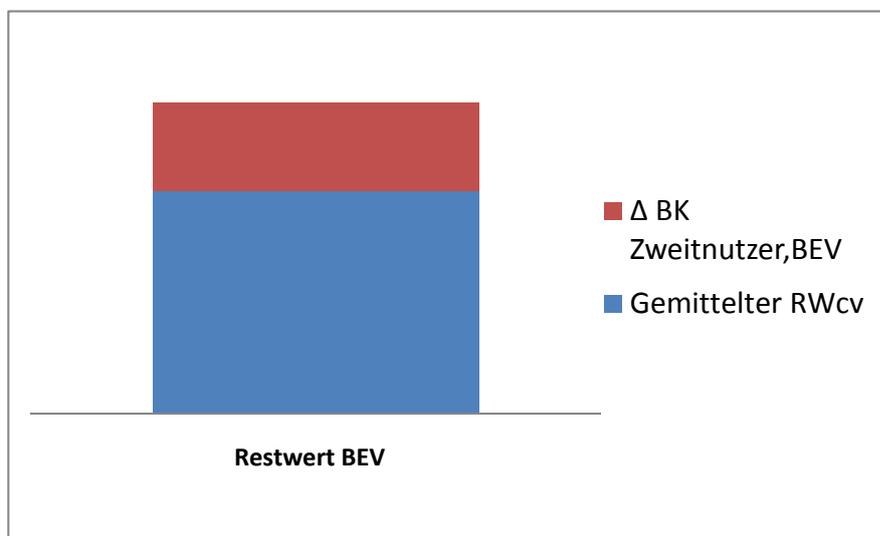


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Restwertbestimmung bei BEV

Anzumerken ist die Tatsache, dass durch das beschriebene Vorgehen für elektrische Fahrzeuge eine ähnliche Entwicklung des relativen Wertverlusts der Fahrzeuge angenommen wird wie bei konventionellen Fahrzeugen. Ein höherer Wiederverkaufswert ergibt sich dabei alleine durch die Betriebskostensparnis des Zweitnutzers. Damit ist angenommen, dass die Batterie während der Nutzung keinen Wertverlust erleidet, da sie bis zum Ende der angenommenen Gesamtbetriebsdauer für die Nutzung des Fahrzeugs eingesetzt werden kann. Es ist also keine stärkere Degradation der Batteriekapazität hinterlegt und eine akzeptable Reichweite wird bis zum Ende der Lebensdauer der Batterie ermöglicht.

Ergebnis der TCO-Betrachtung

Die TCO-Betrachtung wird in diesem Vorhaben für gewerbliche Flottenfahrzeuge differenziert nach Antriebstyp und KBA-Segment durchgeführt. Somit ist gewährleistet, dass die antriebs- und größenklassenspezifischen Eigenschaften der Fahrzeuge, wie beispielsweise die unterschiedliche Restwertentwicklung bzw. Unterschiede in der Jahresfahrleistung, Berücksichtigung finden.

Die Betrachtung der Gesamtkosten stellt jeweils den Vergleich zwischen einem konventionellen und einem batterieelektrischen Pkw für die Betrachtungsjahre 2010, 2020 und 2030 an. Wesentliche Einflussgrößen auf die Gesamtkosten sind die jeweilige Jahresfahrleistung und die Entwicklung der Anschaffungs- und Betriebskosten. Die Jahresfahrleistung ergibt sich aus den KiD-Analysen zum Maximalpotenzial von batterieelektrischen Pkw im jeweiligen KBA-Segment. Wie in Tabelle 4 veranschaulicht, variiert die Jahresfahrleistung der für den Einsatz von batterieelektrischen Pkw geeigneten Nutzungsmuster erheblich zwischen den Größenklassen und Antriebstypen sowie zwischen

den Jahren 2020 und 2030. Für das Jahr 2010 wurden keine eigenständigen Potenzialanalysen durchgeführt; für die TCO-Betrachtung wird daher näherungsweise eine Jahresfahrleistung wie die des Jahres 2020 angenommen. Die Entwicklung der Anschaffungskosten von batterieelektrischen Pkw beruht auf den getroffenen Szenarioannahmen (Kapitel 3). Insbesondere die Annahme zur Minderung der Batteriekosten von 500 €/kWh im Jahr 2010 auf 230 €/kWh im Jahr 2030 (in Anlehnung an die Nationale Plattform Elektromobilität [2]) führt zu einer zunehmenden Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum jeweiligen konventionellen Fahrzeugpendant.

In Anlehnung an die typische Haltedauer von Fahrzeugen im gewerblichen Bereich werden in der TCO-Betrachtung eine Fahrzeughaltedauer des gewerblichen Erstnutzers von durchschnittlich 4 Jahren und eine Gesamtbetriebsdauer des Fahrzeugs von 10 Jahren unterstellt.

Tabelle 4: Durchschnittliche Jahresfahrleistung [km] von gewerblichen Pkw, die für den Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen in Frage kommen, Quelle: [6]

	Otto			Diesel		
	mini	klein	kompakt	mini	klein	kompakt
2010	11.107	12.603	8.491	10.507	10.914	13.574
2020	11.107	12.603	8.491	10.507	10.914	13.574
2030	11.122	15.696	9.313	10.507	16.399	15.472

Das Ergebnis des Gesamtkostenvergleichs von Elektrofahrzeugen und verbrennungsmotorischen Pkw (Abbildung 21) zeigt die zunehmende Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen bis 2030. Hauptursache ist das sich verringernde Kostendelta bei der Fahrzeuganschaffung, welches angesichts sinkender Batteriekosten erzielt werden kann. Aktuell (siehe 2010) sind die Batteriekosten noch so hoch, dass Elektrofahrzeuge trotz geringerer Betriebskosten in allen Fahrzeugsegmenten im Vergleich zu herkömmlichen Vergleichsfahrzeugen zusätzliche Gesamtkosten in der Spannweite von 40 % bis 68 % verursachen. Während der Kostennachteil von Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 – je nach Fahrzeugsegment und Vergleichsantriebstyp – noch 4 % bis 20 % beträgt, überschreiten Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 im Vergleich zu Dieselfahrzeugen – mit tendenziell höherer Fahrleistung – in allen Segmenten die Wirtschaftlichkeitsschwelle und im Vergleich zu Otto-Fahrzeugen im Segment „klein“. Nur in den Segmenten „mini“ und „kompakt“ stellen auch im Jahr 2030 Elektrofahrzeuge angesichts einer relativ geringen Fahrleistung (Tabelle 4) mit einem Kostenaufschlag von 3 % bzw. 7 % keine wirtschaftliche Alternative gegenüber Otto-Pkw dar.

Das Ergebnis veranschaulicht die besondere Bedeutung der Jahresfahrleistung für die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen. Bei hoher Jahresfahrleistung können die Betriebskostenvorteile von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Pkw unter günstigen Rahmenbedingungen so groß ausfallen, dass die höheren Investitionskosten im Laufe der Fahrzeughaltedauer mehr als kompensiert werden können.

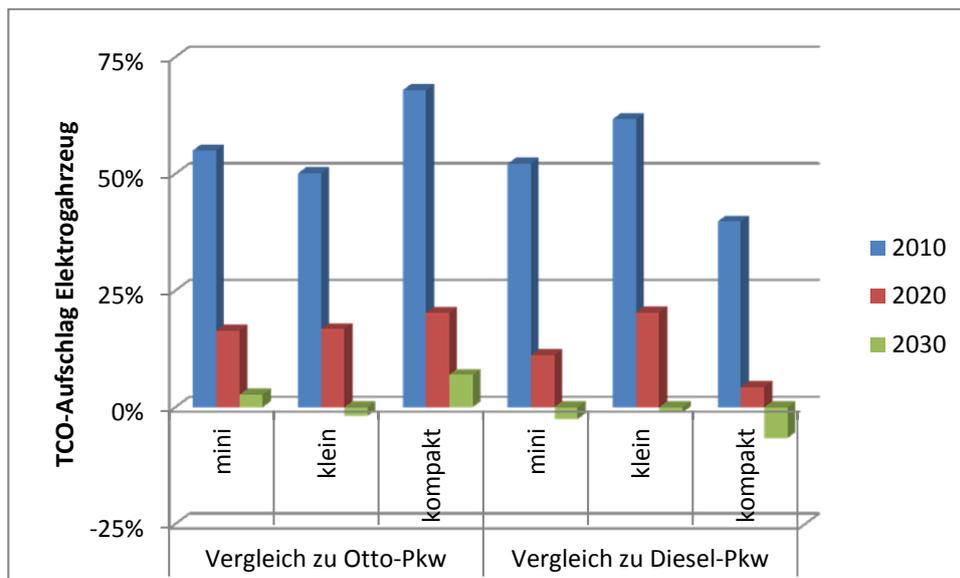


Abbildung 21: Ergebnis der Gesamtkosten(TCO)-Analyse von batterieelektrischen Fahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw (Otto / Diesel) für die Jahre 2010, 2020, 2030

Die grundsätzlichen Unterschiede in der Kostenstruktur und deren Entwicklung über die Zeit werden in Abbildung 22 am Beispiel eines Fahrzeugs des Segments „klein“ im Vergleich eines Otto-Pkw mit einem Elektrofahrzeug veranschaulicht. Während der Gesamtkostennachteil des batterieelektrischen Fahrzeugs aktuell noch 50 % bzw. im Jahr 2020 17 % beträgt, kehrt sich dieser bis zum Jahr 2030 in einen Kostenvorteil von 2 % um. Während der Kraftstoffkostenvorteil des Elektrofahrzeugs über den Betrachtungszeitraum relativ konstant bleibt und bereits heute (2010) etwa 40 % beträgt, hat die Minderung der Anschaffungskosten bis 2030 den höchsten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen. Die besondere Bedeutung der Jahresfahrleistung beim Vergleich von Otto- und batterieelektrischem Pkw zeigt das Ergebnis im Jahr 2030. Wie in Tabelle 4 veranschaulicht, steigt die durchschnittliche Jahresfahrleistung von Elektrofahrzeugen im Segment „klein“, die potenziell herkömmliche Pkw mit Otto-Motorisierung ersetzen, von 2020 bis 2030 um 25 % auf 15.696 Kilometer. Dadurch steigt der absolute Kraftstoffkostenvorteil des Elektrofahrzeugs und es erhöht sich parallel gemäß der Modellierung der Restwert des Elektrofahrzeugs, so dass sich auch die Differenz aus Anschaffungspreis und Wiederverkaufswert gegenüber dem verbrennungsmotorischen Vergleichsfahrzeug verbessert. Würde die Jahresfahrleistung im Jahr 2030 lediglich das Niveau der Jahre 2010 und 2020 von 12.603 Kilometern erreichen, so würde das Elektrofahrzeug im Segment „klein“ weiterhin gegenüber einem Otto-Pkw einen Gesamtkostennachteil von 4 % erzielen. Da generell in den Segmenten „klein“ und „kompakt“ die durchschnittliche Jahresfahrleistung von batterieelektrischen Pkw, welche Fahrzeuge mit Diesel- bzw. Otto-Motorisierung ersetzen, zwischen 2020 und 2030 (mit Ausnahme von Otto-kompakt) deutlich ansteigt, sind auch in diesen Vergleichsfällen ähnliche Effekte auf die Gesamtkosten zu beobachten und erklären Großteils die Kostenvorteile, die in diesen Segmenten im Jahr 2030 erzielt werden können (Abbildung 21).

Das heißt zusammenfassend, dass die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Vergleichsfahrzeugen nur dann erreicht wird, wenn die Batteriekosten – und damit die Zusatzkosten bei der Anschaffung – sinken, gleichzeitig die

Fahrzeuge aber auch eine relativ hohe Jahresfahrleistung haben, die es ermöglicht, mittels der Kostenvorteile im Betrieb die zusätzlichen Investitionskosten im Laufe der Betriebsdauer zu kompensieren.

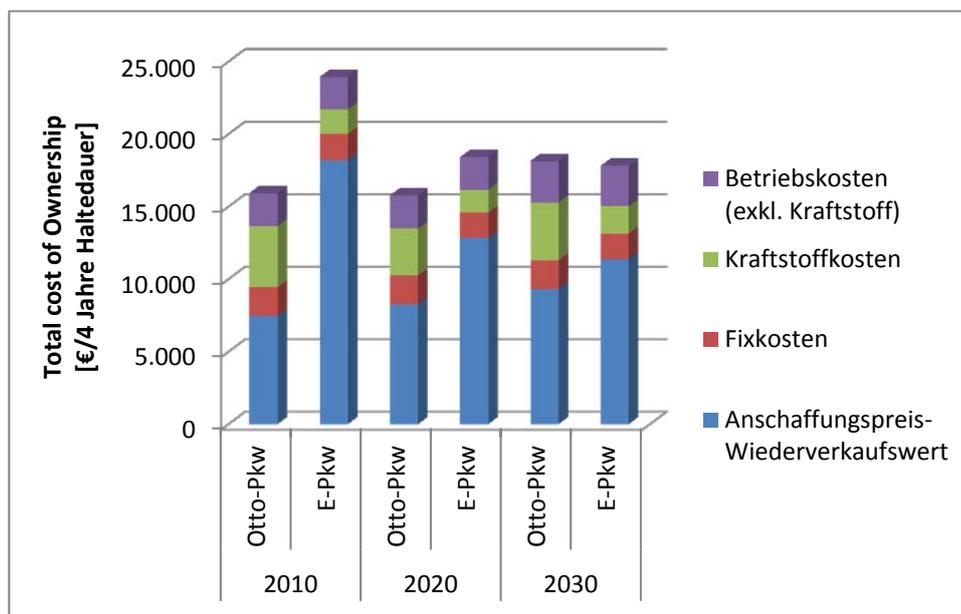


Abbildung 22: Entwicklung der TCO-Struktur und -höhe am Beispiel des Vergleichs eines Otto-Pkw mit einem batterieelektrischen Pkw des Segments „klein“ für den Erstnutzer bei einer Haltezeit von 4 Jahren

5.3.3 Ergebnis der Akzeptanzanalyse

Für die Bestimmung der tatsächlichen Akzeptanz von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Bereich spielen, wie aus der Unternehmensbefragung hervorgeht, Wirtschaftlichkeitsüberlegungen eine zentrale Rolle, sind aber nicht alleiniges Beschaffungskriterium. Entsprechend äußert ein Teil der Unternehmen die Bereitschaft, für die Beschaffung und den Betrieb von Elektrofahrzeugen in ihrem Fuhrpark auch gewisse Zusatzkosten in Kauf zu nehmen.

Um die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2030 zu bestimmen, werden daher in diesem Vorhaben die Ergebnisse der TCO-Betrachtung mit den Aussagen der befragten Unternehmen zur Zahlungsbereitschaft kombiniert.

Abbildung 23 veranschaulicht die geäußerte Bereitschaft zur Übernahme höherer Gesamtkosten beim Einsatz von Elektrofahrzeugen. 38 % der befragten Unternehmen würden keine Zusatzkosten in Kauf nehmen. Von den verbleibenden 62 % würden 34 % einen Kostenaufschlag von 5 % akzeptieren. Die Kostenschwelle von 10 % ist für ein Zehntel der Unternehmen noch akzeptabel. Mehr als 20 % Mehrkosten würde keines der Unternehmen tragen.

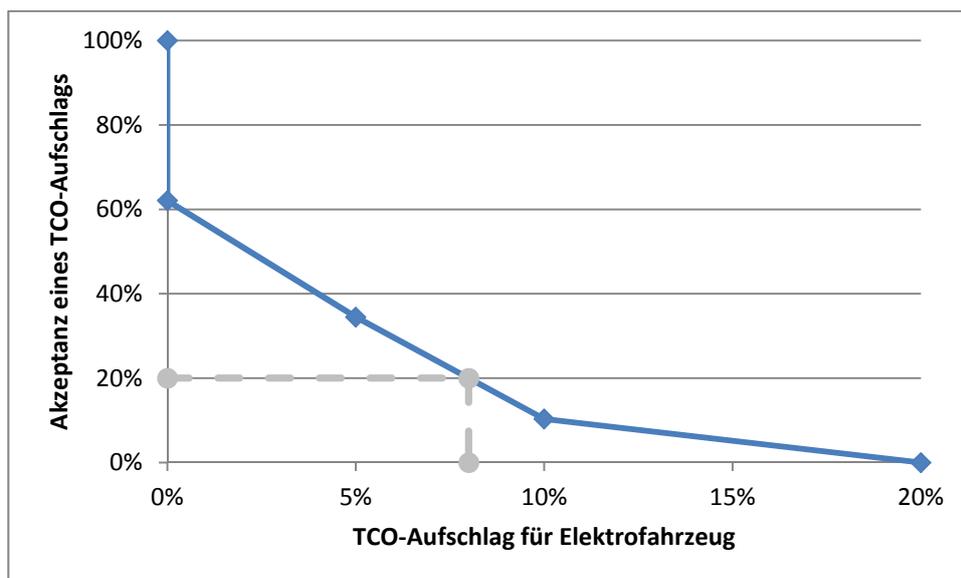


Abbildung 23: Zusätzliche TCO-Zahlungsbereitschaft für Elektrofahrzeuge in gewerblichen Flotten. Illustration des Vorgehens zur Bestimmung der Akzeptanz

In Kopplung mit den Ergebnissen der TCO-Betrachtung ergibt sich daraus für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in den einzelnen Segmenten und für die betrachteten Alternativen Otto- und Diesel-Pkw das in Tabelle 5 zusammengefasst Bild. Heute liegen die Kostennachteile von Elektrofahrzeugen noch deutlich über 20 %. Da kein Unternehmen einen Gesamtkostenaufschlag von über einem Fünftel toleriert, ergibt sich für die aktuelle Situation in keinem KBA-Segment eine Nachfrage nach Elektrofahrzeugen – die Akzeptanz liegt bei 0%. Im Jahr 2020 würde in Segmenten, in welchen Elektrofahrzeuge sich der Wirtschaftlichkeitsschwelle nähern, bereits ein relevanter Anteil an batterieelektrischen Pkw nachgefragt. Da batterieelektrische Fahrzeuge im Jahr 2030 in vier Segmenten Kostenvorteile gegenüber herkömmlichen Pkw erzielen können, steigt in diesen Segmenten die Akzeptanz. Lediglich im Falle einer Substitution von Otto-Fahrzeugen in den Segmenten „mini“ und „kompakt“ bleibt die Akzeptanz angesichts leichter Kostennachteile des Elektrofahrzeugs im Jahr 2030 noch unter 50 %.

Tabelle 5: Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten differenziert nach KBA-Segmenten und Vergleichsantriebstyp

	Vergleich zu Otto-Pkw			Vergleich zu Diesel-Pkw		
	mini	klein	kompakt	mini	klein	kompakt
2010	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2020	4%	3%	0%	9%	0%	38%
2030	47%	100%	25%	100%	100%	100%

Unter Berücksichtigung der Anteile von Pkw mit Otto- bzw. Diesel-Motorisierung am Gesamtbestand an gewerblichen Flottenfahrzeugen der betrachteten KBA-Segmente ergibt sich nach entsprechender Gewichtung die in Abbildung 24 dargestellte Akzeptanz von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Bereich. Das ermittelte Akzeptanzpotenzial bildet – neben dem Maximalpotenzial – die Grundlage für die Bestimmung des in Abschnitt 6.3 diskutierten Marktpotenzials.

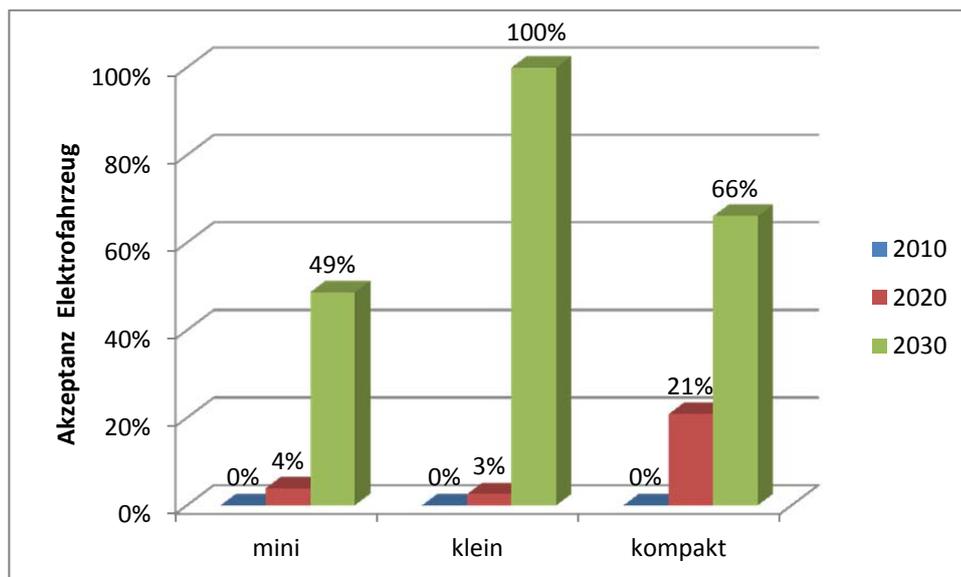


Abbildung 24: Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in gewerblichen Flotten differenziert nach KBA-Segmenten

5.4 Zwischenfazit

Zur Akzeptanz reiner batterieelektrischer Pkw im privaten Bereich kann auf Basis empirischer Erhebungen die Aussage getroffen werden, dass bei Neuwagenkäufern bereits im Jahr 2020 eine Akzeptanz von etwa 20 % im Vergleich zu anderen Antriebsoptionen erreicht wird. Insbesondere die Umwelteigenschaften und die geringen Betriebskosten erscheinen hierbei den potenziellen Käufern besonders attraktiv. Die Reichweitenbeschränkung und der höhere Anschaffungspreis beeinflussen die Kaufentscheidung weniger stark als erwartet. Insbesondere Zielgruppen mit hohem Umweltbewusstsein und guter Anbindung an den öffentlichen Verkehr zeigen eine besonders hohe Affinität zu Elektromobilität.

Bei der gewerblichen Fahrzeugbeschaffung (exklusive Dienstwagen) spielt die Wirtschaftlichkeit (TCO) der Fahrzeuge die mit Abstand größte Rolle und bestimmt maßgeblich die Fahrzeugwahl. Sie muss also mit Aspekten der Akzeptanz zur Bestimmung von Marktpotenzialen gekoppelt werden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde eine Unternehmensbefragung durchgeführt, die gezeigt hat, dass insbesondere Unternehmen, die Umweltaspekten einen hohen Stellenwert beimessen und sich von Elektrofahrzeugen einen Imagegewinn versprechen, trotzdem bereit sind, Zusatzkosten bis zu einem bestimmten Prozentsatz zu tolerieren. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelten und durchgeführten TCO-Betrachtungen haben gleichzeitig gezeigt, dass gewerbliche Flottenfahrzeuge erst im

Jahr 2030 die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreichen oder sich dieser annähern. In Kopplung mit der geäußerten Zahlungsbereitschaft ergibt sich eine Akzeptanz für batterieelektrische Pkw in Fahrzeugflotten im vorwiegend einstelligen Prozentbereich im Jahr 2020, welche jedoch in manchen Fahrzeugsegmenten bis 2030 auf bis zu 100 % ansteigt.

Marktszenario für batterieelektrische Pkw

6.1 Vorgehen

Das Marktszenario für batterieelektrische Pkw stellt die Entwicklung der tatsächlich möglichen Marktdurchdringung von batterieelektrischen Fahrzeugen im deutschen Pkw-Bestand unter den getroffenen Szenarioannahmen dar.

Die Grundlage für die Ableitung des Marktszenarios stellen die Analyseschritte zur Bestimmung von Maximalpotenzial und Akzeptanz von batterieelektrischen Pkw in der privaten und gewerblichen Anwendung (siehe Kapitel 4 & 5) dar. Durch die Kombination der Ergebnisse von Maximalpotenzial und Akzeptanz zu einem sogenannten Marktpotenzial, wird dem Umstand Rechnung getragen, dass sowohl technische Restriktionen, die sich aus den Nutzungsanforderungen ergeben, als auch Kundenpräferenzen bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei der Fahrzeugwahl berücksichtigt werden müssen, um eine realitätsnahe Simulation der Marktnachfrage zu gewährleisten. Das Marktpotenzial wird entsprechend der zuvor diskutierten Arbeitsschritte differenziert nach den betrachteten KBA-Segmenten und separat für privat und gewerblich genutzte Pkw quantifiziert. Das Marktpotenzial bezieht sich auf den Bestand an Fahrzeugen der relevanten KBA-Segmente. Neben der Entwicklung der Marktnachfrage ist auch auf Seiten des Marktangebots mit einer dynamischen Entwicklung von Elektromobilität zu rechnen. Diesem Umstand wird bei der Simulation der tatsächlichen Marktdurchdringung (Abschnitt 6.4) durch die Anwendung einer Technologiediffusionsentwicklung Rechnung getragen.

Auf Grundlage der skizzierten Analyseschritte lassen sich die jährlichen Neuzulassungen an batterieelektrischen Pkw simulieren und die Entwicklung des Bestands an Elektrofahrzeugen für den Betrachtungszeitraum in Form des Marktszenarios für batterieelektrische Pkw quantifizieren.

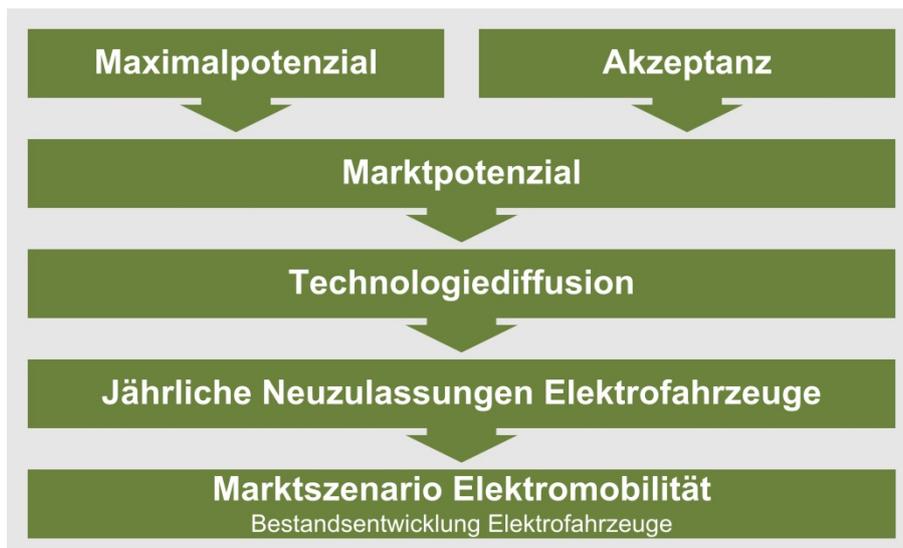


Abbildung 25: Schema zur Bestimmung des Marktszenarios für batterieelektrische Pkw

6.2 Marktpotenzial privat

Das Marktpotenzial von batterieelektrischen Fahrzeugen bei privaten Haltern für die Jahre 2020 und 2030 ergibt sich aus der Kombination der Analysen zum Maximalpotenzial auf Grundlage der privaten Pkw-Nutzung (Kapitel 4) und der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen bei privaten Pkw-Haltern (Kapitel 5), die einer Conjoint-Analyse eines parallel laufenden Forschungsvorhabens entnommen wurde.

Die Potenzialbestimmung erfolgt auf Segmentebene und berücksichtigt zusätzlich die unterschiedliche Affinität zu Elektromobilität bei Fahrzeughaltern mit bzw. ohne eigenen Stellplatz. Bei der Kombination der Potenziale auf Segmentebene bildet das jeweils niedrigere Potenzial die limitierende Größe.

Im Jahr 2020 stellen die begrenzenden Faktoren für die Segmente „mini“ und „klein“ das Maximalpotenzial und für „kompakt“ die Akzeptanz dar. Bis zum Jahr 2030 steigt die Akzeptanz wesentlich stärker als das Maximalpotenzial an, so dass dann in allen Segmenten das Marktpotenzial durch das Maximalpotenzial bestimmt wird.

Im Jahr 2020 ergibt sich ein Marktpotenzial von etwa 2,9 Millionen batterieelektrischen Pkw, bis zum Jahr 2030 steigt dieses auf etwa 3,3 Millionen Fahrzeuge an.

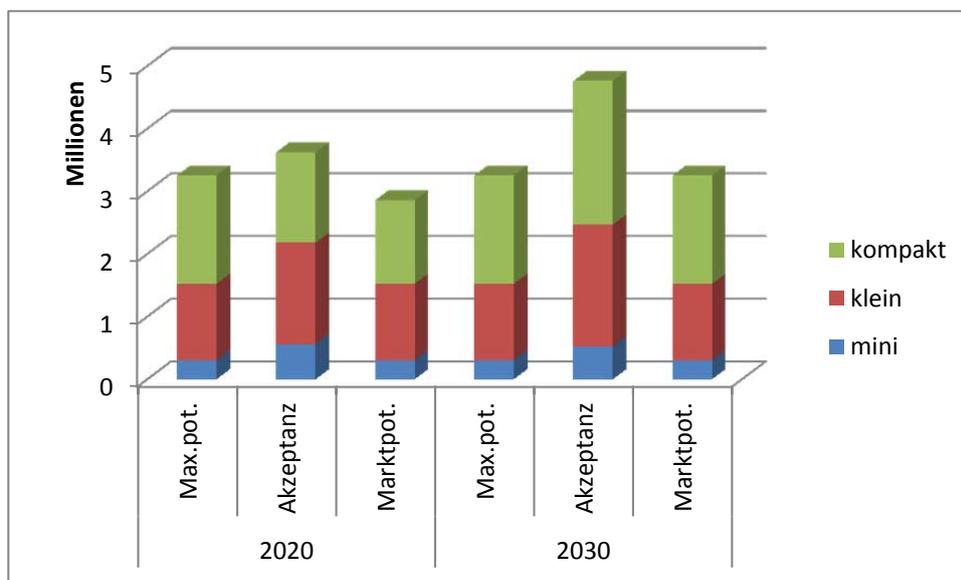


Abbildung 26: Marktpotenzial für batterieelektrische Privat-Pkw in den Jahren 2020 und 2030

6.3 Marktpotenzial gewerblich

Grundsätzlich ergibt sich das Marktpotenzial von batterieelektrischen Pkw in der gewerblichen Anwendung ebenfalls aus einer Kombination der Ergebnisse aus Maximalpotenzial- und Akzeptanzanalyse.

Während das Maximalpotenzial – analog zum Vorgehen für Privat-Pkw – die Einsatzrestriktionen von Elektromobilität auf Grundlage der KiD-Analysen darstellt, ergibt sich

die Akzeptanz aus der zusätzlichen Zahlungsbereitschaft von Unternehmen für die Akzeptanz die Akzeptanz aus der zusätzlichen Zahlungsbereitschaft von Unternehmen für Elektrofahrzeuge in Kopplung mit der Betrachtung der Gesamtbetriebskosten von batterieelektrischen Pkw im Vergleich zu herkömmlichen Vergleichsfahrzeugen (Abschnitt 5.3.2).

Da sowohl das Maximalpotenzial als auch die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen differenziert nach KBA-Segmenten ermittelt wurde, kann das Marktpotenzial segmentspezifisch bestimmt werden.

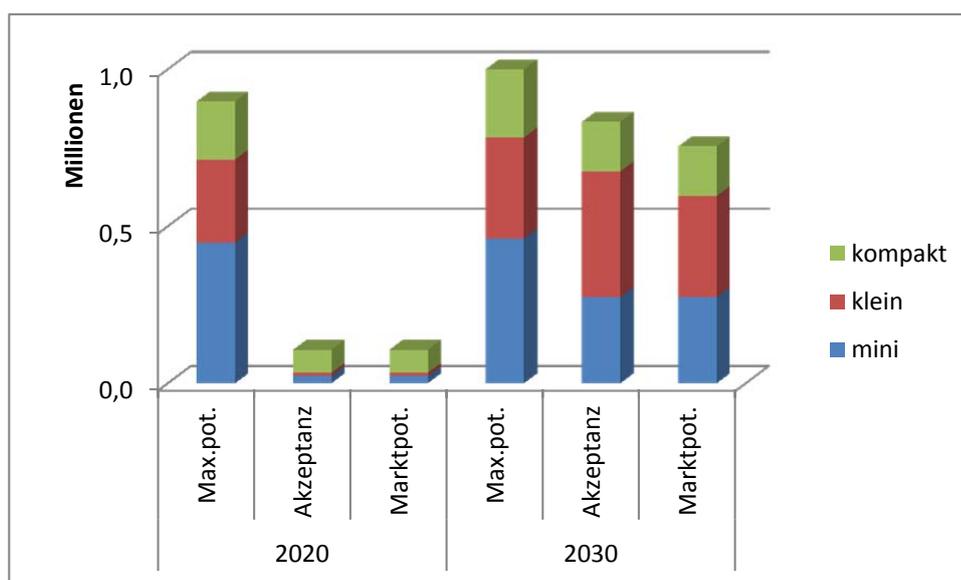


Abbildung 27: Marktpotenzial für gewerbliche, batterieelektrische Pkw in den Jahren 2020 und 2030

Während sich das Maximalpotenzial von 2020 bis 2030 nur um etwa 100.000 Fahrzeuge erhöht, steigt die Akzeptanz auf Grund der zunehmenden Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen, welche sich wiederum mit den sinkenden Anschaffungskosten begründet, von etwa 100.000 Fahrzeugen im Jahr 2020 auf über 800.000 batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 an. Anders als bei Privat-Pkw wird das Marktpotenzial maßgeblich von der Akzeptanz bzw. Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen limitiert. Nur im Segment „klein“ ist die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen größer als das technisch mögliche Maximalpotenzial.

Für gewerbliche Fuhrparks ergibt sich somit im Jahr 2020 ein Marktpotenzial von etwa 100.000 batterieelektrischen Pkw, bis zum Jahr 2030 steigt dieses auf etwa 750.000 Fahrzeuge an.

6.4 Marktszenario für batterieelektrische Pkw 2010-2030

6.4.1 Marktpotenzial im Kontext des Pkw-Bestands

Das Marktpotenzial für batterieelektrische Fahrzeuge in der privaten und gewerblichen Anwendung stellt im Jahr 2020 7 % und im Jahr 2030 8,3 % bezogen auf den gesamten Pkw-Bestand in Deutschland dar. Da das Marktpotenzial jedoch lediglich die mögliche

Marktnachfrage modelliert, das tatsächliche Marktangebot und die jährliche Pkw-Neuzulassungsstruktur jedoch nicht berücksichtigt, kann daraus nicht unmittelbar eine Nachfrageentwicklung für batterieelektrische Pkw abgeleitet werden. Das Marktpotenzial ist zu verstehen als Größe, die das theoretische Potenzial von Elektrofahrzeugen an den Pkw-Neuzulassungen im Betrachtungsjahr quantifiziert. Wie sich daraus eine realisierbare Marktdurchdringung ableiten lässt, wird in den folgenden beiden Abschnitten erläutert.

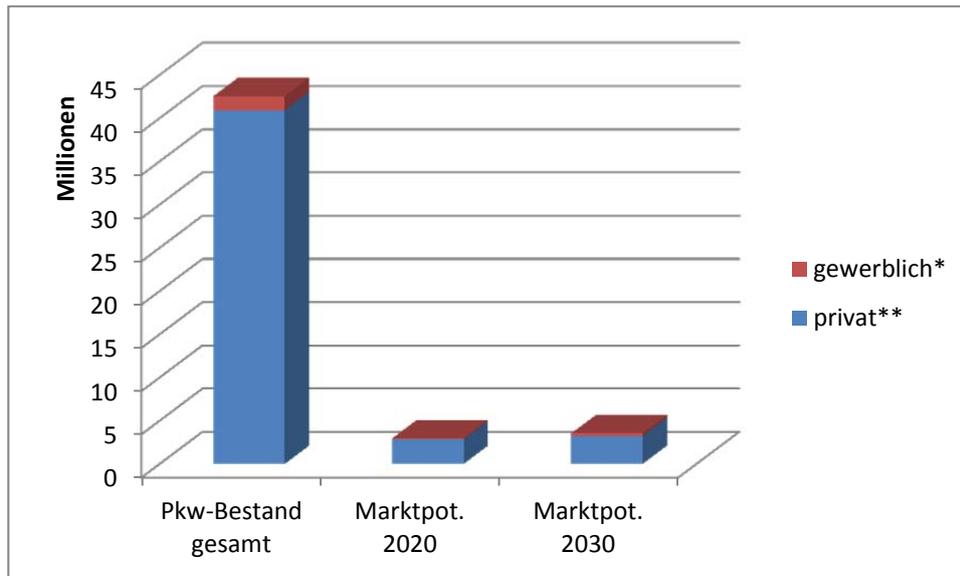


Abbildung 28: Pkw-Bestand in Deutschland und Marktpotenzial von batterieelektrischen Pkw im Jahr 2020 und 2030; *gewerbliche Flottenfahrzeuge, **Privat-Pkw & Dienstwagen

6.4.2 Technologiediffusion

Technische Innovationen, die sich in einem Markt mit konkurrierenden Technologien befinden, können ihr vollständiges Marktpotenzial in der Regel erst mit der Zeit erschließen. In der Technikgeschichte kann diese Entwicklung anhand zahlreicher Beispiele (Abbildung 30) nachvollzogen werden. Die Marktentwicklung von erfolgreiche Technologien nimmt dabei typischerweise einen S-förmigen Verlauf: auf eine Phase der Nischenanwendung nach Beginn der Markteinführung folgt eine Phase der zunehmenden Marktdurchdringung bevor sich das Wachstum wieder abschwächt und die Technologie ihr Sättigungsniveau – also das Marktpotenzial – erreicht.

Die Ursachen für die zeitverzögerte Erschließung des Marktpotenzials können vielfältig sein. Bezogen auf die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen wird die Annahme getroffen, dass sich vor allem das Angebot an Fahrzeugen und das Vertrauen der Kunden in die Technologie erst langsam entwickeln und somit die Marktnachfrage insbesondere in den ersten Jahren stark dämpfen wird. Insbesondere im frühen Marktstadium ist eine geringe Stückzahl und Modellauswahl an Elektrofahrzeugen zu erwarten, da zunächst neue kapitalintensive Produktionskapazitäten aufgebaut und Forschungs- und Entwicklungsmittel investiert werden müssen.

Eine Auswertung historischer Daten zur Entwicklung von Innovationen im Automobilsektor [19] zeigt, dass im Mittel erst nach 10 bis 20 Jahren ein Marktanteil von 5 % erreicht wird. Wie sich die zukünftige Marktentwicklung von Elektromobilität darstellt und ob diese mit der konventioneller Technologien im Fahrzeugbau vergleichbar sein wird, kann zum heutigen Zeitpunkt angesichts der Vielzahl an Einflussfaktoren und Wechselwirkungen nicht abschließend beantwortet werden. Die Absatzentwicklung von Hybrid-Pkw in den USA, welche in den USA innerhalb von 10 Jahren einen Marktanteil von 6 % [20] erreichen konnte, stellt eine besonders positive Entwicklung einer verwandten Technologie in jüngster Vergangenheit dar.

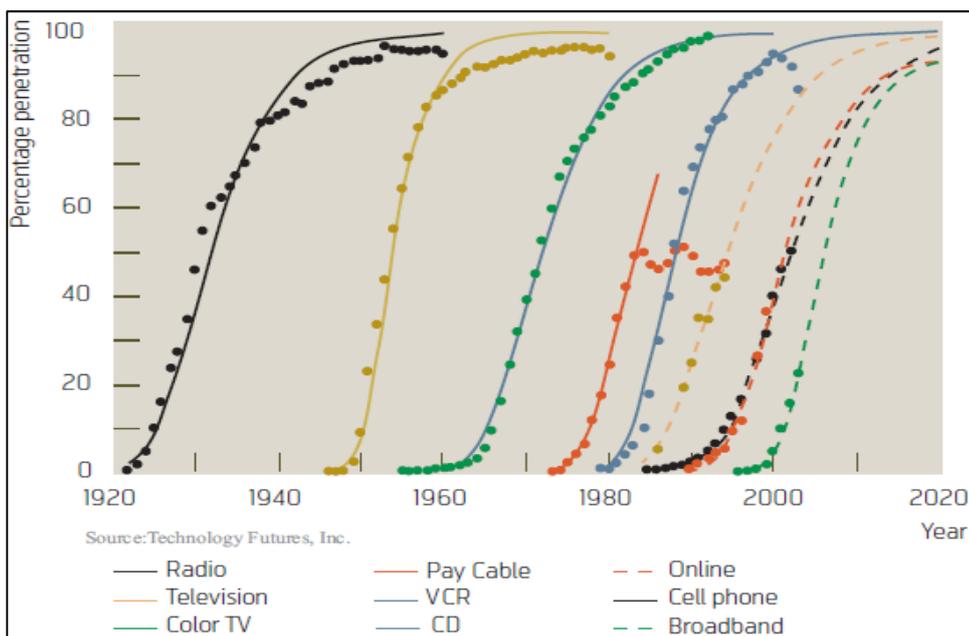


Abbildung 29: Reale Marktentwicklung von Beispieltechnologien und deren Simulation nach Gompertz, Quelle: [21]

Um den zeitlichen Verlauf der Diffusion von innovativen Technologien zu prognostizieren, werden grundsätzlich unterschiedliche nicht-lineare Wachstumsmodelle angewendet. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde das Gompertz-Wachstumsmodell zur Simulation der Marktentwicklung eingesetzt, da es sich insbesondere zur Darstellung des frühen Markthochlaufs eignet und im Automobilsektor häufig als Prognosemodell zur Anwendung kommt. Das Gompertz-Modell wurde vor seiner Anwendung an Realdaten zur Neuzulassung von Hybrid-Pkw in den USA [20], unter der Annahme eines Potenzials am US-Gesamtmarkt von 33 % [22], kalibriert

Die generierte Technologiediffusionskurve (Abbildung 30) stellt eine Dämpfungsfunktion für die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen dar und bezieht sich dabei auf das jeweilige Marktpotenzial im Bezugsjahr. Nach etwa 10 Jahren würden demnach 15 % des Marktpotenzials erschlossen sein, nach 20 Jahren wären bereits mehr als 50 % erreicht.

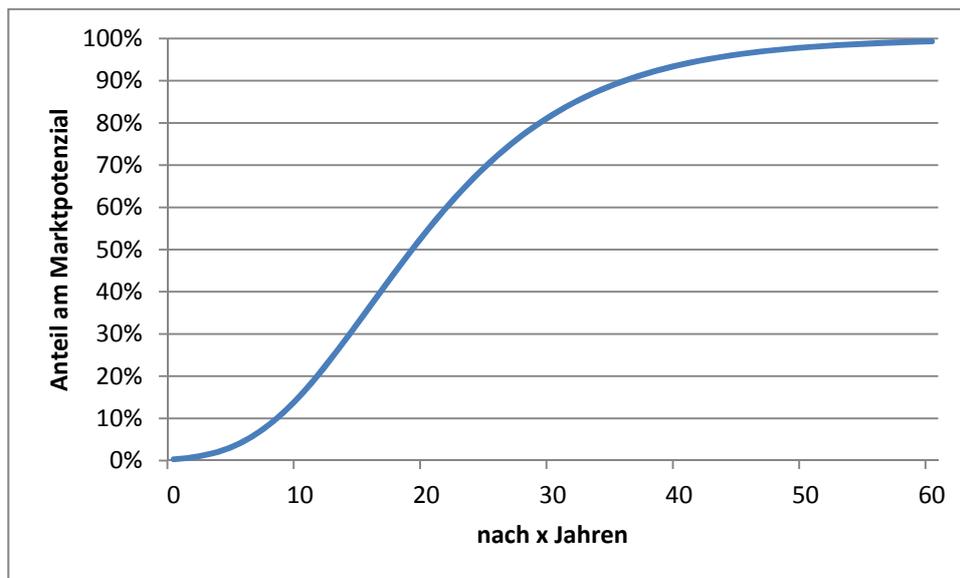


Abbildung 30: Technologiediffusionskurve nach Gompertz (Referenz: Marktentwicklung Hybrid-Pkw in den USA)

6.4.3 Neuzulassungs- und Bestandsentwicklung

Vorgehen

Die Erkenntnisse der Marktpotenzialanalysen und die Simulation der Technologiediffusion ermöglichen es, Rückschlüsse auf die Entwicklung der batterieelektrischen Pkw-Neuzulassungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2030 zu ziehen und die Bestandsentwicklung im Rahmen des Marktszenarios Elektromobilität zu quantifizieren.

Ausgangspunkt der Betrachtung stellen die durchschnittlichen Pkw-Neuzulassungen in Deutschland von etwa 3,2 Millionen Pkw dar. Für die Szenariobetrachtung wird die Annahme getroffen, dass sich sowohl die Zahl als auch die Segmentstruktur der jährlichen Neuzulassungen im Betrachtungszeitraum nicht verändert.

Das Verhältnis des ermittelten Marktpotenzials von Elektrofahrzeugen der Jahre 2020 und 2030 zum Pkw-Gesamtbestand bildet die Grundlage für die Bestimmung des Anteils an möglichen neuzugelassenen Elektrofahrzeugen im jeweiligen Jahr. Die Neuzulassungsstruktur der Zwischenjahre wird über Interpolation ermittelt. Um die tatsächlichen jährlichen Neuzulassungen an batterieelektrischen Pkw zu ermitteln, wird in einem letzten Schritt die erzeugte Technologiediffusionskurve als Dämpfungsfunktion in Jahresschritten angewendet.

Der Verlauf der jährlichen Nachfrage nach Elektrofahrzeugen bildet die Grundlage für die Darstellung der Bestandsentwicklung. Die Simulation des Bestands an Elektrofahrzeugen von 2010 bis 2030 berücksichtigt jahresscharf die Anzahl an batterieelektrischen Neufahrzeugen, wie auch das Ausscheiden von Fahrzeugen am Ende ihrer Lebensdauer – nach etwas mehr als 10 Jahren – aus dem Bestand.

Ergebnis

Für das Marktszenario batterieelektrischer Pkw ergibt sich unter den getroffenen Szenarioannahmen (siehe Kapitel 3) ein Gesamtbestand an batterieelektrischen Pkw von etwa 77.000 Fahrzeugen im Jahr 2020 und etwa 923.000 Fahrzeugen im Jahr 2030. Damit stellen

reine batterieelektrische Fahrzeuge im Jahr 2020 etwa 0,2 % und im Jahr 2030 rund 2,2 % des bundesdeutschen Pkw-Bestands dar. Der überwiegende Anteil dieser Elektrofahrzeuge kommt im privaten Bereich zum Einsatz, nur etwa 4 % im Jahr 2020 und 14 % im Jahr 2030 wird in gewerblichen Fuhrparks eingesetzt. Bis zum Jahr 2030 steigt der Anteil von batterieelektrischen Pkw an den jährlichen Pkw-Neuzulassungen auf fast 5 %.

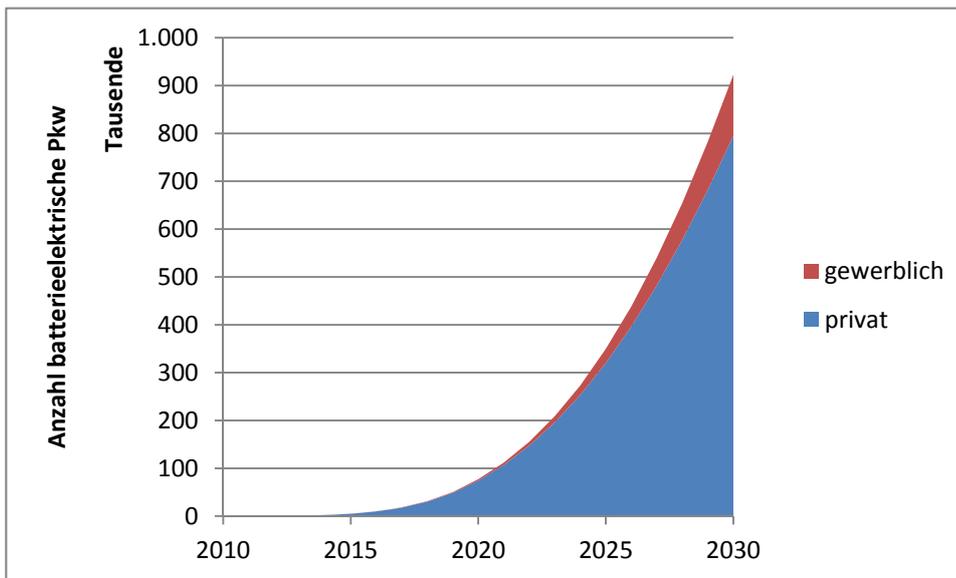


Abbildung 31: Marktszenario - Entwicklung des Bestands an batterieelektrischen Pkw in Deutschland

Bezogen auf den gesamten Pkw-Bestand stellt der ermittelte Bestand an reinen batterieelektrischen Pkw bis 2030 zwar eine untergeordnete Größe dar, dennoch ist die unterstellte Entwicklung im Kontext historischer Marktentwicklungen im Automobilbereich als überdurchschnittlich zu bewerten. Die mittlere jährliche Wachstumsrate der neu zugelassenen Elektrofahrzeuge im Marktszenario beträgt etwa 60 % und liegt damit weit über der historischen Entwicklung anderer Automobiltechnologien. Die in Deutschland besonders erfolgreiche Dieselseltechnologie erreichte beispielsweise in den letzten 20 Jahren ein mittleres Wachstum von 8,5 % p.a. [23], Automatikgetriebe und Vorderradantrieb – als Beispiele für besonders erfolgreiche Automobiltechnologien im US-Markt – erreichten in den USA langfristige mittlere Zuwachsraten von 15 bzw. 16,5 % p.a. [20].

Fahrzeugeinsatzprofile und Stromnachfrage

7.1 Hintergrund

Für die Bestimmung der Stromnachfrage von Elektromobilität und der dazugehörigen CO₂-Emissionen sind neben der Entwicklung des absoluten Fahrzeugbestands (siehe Kapitel 6) Informationen zur Nutzung der Fahrzeuge erforderlich. Grundsätzlich beruht bereits das ermittelte Marktpotenzial auf Fahrzeugen, die aufgrund ihrer Nutzung für den Einsatz von batterieelektrischen Pkw in Frage kommen. Für die Strommarktmodellierung (PowerFlex)²⁵ ist es jedoch notwendig, detaillierte Informationen zu deren Fahrprofil zu erhalten, um mögliche Ladezeitpunkte und -orte zu bestimmen und die Stromnachfrage zeitlich aufgelöst zu simulieren.

Auf Grundlage der Datensätze MiD und KiD wurden daher für den Bestand an Elektrofahrzeugen typische Nutzungsprofile generiert, die detailliert Aufschluss über die Fahrdistanzen, Fahrt- und Standdauern sowie über die jeweiligen Standorte geben. Die Einsatzprofile unterscheiden sich zwischen Privatfahrzeugen (MiD) und gewerblichen Flottenfahrzeugen (KiD) und bilden die Unterschiede zwischen Werktagen und Samstag bzw. Sonntag ab. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen wird für die Simulation der Stromnachfrage in insgesamt 55 unterschiedlichen Wochenprofilen zusammengefasst.

7.2 Vorgehen / Datengrundlage

In den folgenden beiden Abschnitten soll näher auf die Ableitung von typischen Fahrzeugnutzungsprofilen eingegangen werden, die einerseits in hohem Detailgrad in der Strommarktmodellierung zur Abbildung der Fahrzeugnutzung verwendet, andererseits auf aggregierter Ebene zur Ableitung der Fahrleistung der batterieelektrischen Fahrzeuge eingesetzt werden. In der Datenaufbereitung der MiD und der KiD wurden die Fahrten der in den beiden Erhebungen aufgeführten Fahrzeuge zu einzelnen Datensätzen der Fahrzeuge zusammengefasst. In diesem Arbeitsschritt wurden für jedes Fahrzeug u.a.

- » der Start der ersten Fahrt des Tages,
- » die längste Standzeit des Tages inklusive des Standortes,
- » das Ende der letzten Fahrt des Tages,
- » die Tagesfahrleistung

erfasst, die als Eigenschaften für die Darstellung der Fahrzeugnutzung in Fahrzeugnutzungsprofilen dienen. Mit diesem Vorgehen sind die entscheidenden Größen der Fahrzeugnutzung für die Strommarktmodellierung abgebildet und die Gesamtfahrleistung der batterieelektrischen Fahrzeuge kann für die CO₂-Bilanzierung abgeleitet werden.

²⁵ Auf die Strommarktmodellierung wird detailliert in Kapitel 0 eingegangen.

Als Grundlage für die Ableitung der Fahrzeugnutzungsprofile dient in der Betrachtung der mehrheitlich privat genutzten Fahrzeuge der aus den als „normal“ deklarierten Fahrten erzeugte MiD-Fahrzeugdatensatz. Somit ist in den Nutzungsprofilen das typische Alltagsverhalten aller privaten Fahrzeuge abgebildet, welches nach den Erkenntnissen aus der Ableitung des Maximalpotenzials (Abschnitt 4.5.1) mit batterieelektrischen Pkw zumeist unproblematisch abzudecken ist und daher ein wahrscheinliches Nutzungsverhalten für batterieelektrische Fahrzeuge widerspiegelt.

In der Betrachtung der gewerblichen Flottenfahrzeuge wird davon ausgegangen, dass lange Fahrten von konventionellen Fahrzeugen des betrieblichen Fahrzeugpools durchgeführt werden. Daher werden die Fahrzeugnutzungsprofile für batterieelektrische Flottenfahrzeuge aus allen Pkw der KiD abgeleitet, die bei der Bestimmung des Maximalpotenzials als potenzielle batterieelektrische Fahrzeuge deklariert wurden.

Mit der Begrenzung auf vier Eigenschaften bei der Abbildung der Fahrzeugnutzung wird angenommen, dass alle privat genutzten Pkw über Nacht zuhause stehen und die erste und die letzte Fahrt des Tages zu Hause beginnt bzw. endet. Gewerbliche Flottenfahrzeuge können in der Betrachtung dagegen an allen betrachteten Standorten über Nacht abgestellt werden. Zudem werden für alle betrachteten Fahrzeuge pro Tag nur zwei Fahrten und eine Standzeit während des Tages mit der Möglichkeit der Batterieladung dargestellt²⁶. Damit wird für die Strommarktmodellierung die Annahme getroffen, dass in den restlichen, kürzeren Standzeiten des Tages nicht geladen wird.

Generell wird bei der Bestimmung der Fahrzeugnutzungsprofile so vorgegangen, dass für einige Nutzungseigenschaften der Fahrzeuge Kategorien gebildet werden und die einzelnen Fahrzeuge der beiden Datenbanken entsprechend ihrer Eigenschaften in verschiedene Profile eingeteilt werden. Somit lassen sich neben der relativen Verteilung der Nutzungsprofile für alle Profile die oben genannten Eigenschaften über Mittelung der einzelnen Fahrzeugdatensätze bestimmen. Durch dieses Vorgehen wird mit den Fahrzeugnutzungsprofilen ein durchschnittliches Mobilitätsverhalten abgebildet. Extremfälle – wie beispielsweise die Fahrzeugnutzung über Nacht – werden nicht abgebildet, stellen anhand der Analyse der Mobilitätsdaten der MiD und der KiD allerdings auch die Minderheit der Nutzungsgewohnheiten dar.

7.3 Typische Fahrzeugnutzung privat

In diesem Abschnitt wird speziell auf die Fahrzeugnutzungsprofile eingegangen, die für die Abbildung der batterieelektrischen Pkw in der Modellierung der Stromnachfrage und in der Treibhausgasbilanz eingesetzt werden. Durch die Zusammenfassung der Fahrzeugnutzungsprofile der einzelnen Tage (Werktag, Samstag, Sonntag) zu Wochennutzungsprofilen entstehen auf Basis der MiD-Datenaufbereitung insgesamt 99 Wochennutzungsprofile. Da für die Betrachtung in PowerFlex aufgrund der begrenzten Rechenleistung nur 20 Wochennutzungsprofile für mehrheitlich privat genutzte Pkw

²⁶ In der Ableitung des Maximalpotenzials werden dagegen alle Standzeiten und -orte für die Bestimmung des Maximalpotenzials verwendet.

vorgesehen sind²⁷, muss eine Auswahl an Wochennutzungsprofilen getroffen werden, die in den weiteren Schritten alle privat genutzten batterieelektrischen Fahrzeuge repräsentiert.

7.3.1 Nutzungsprofile privat genutzter Pkw

Bevor die Auswahl der weiter genutzten Wochennutzungsprofile erläutert wird, soll an dieser Stelle zunächst auf die Fahrzeugnutzung an den verschiedenen Tagen der Woche eingegangen werden. Bei der Einteilung in die Profile wird dabei aufgrund der sehr unterschiedlichen Nutzung darauf verzichtet, für alle Tage dieselben Kriterien zur Einteilung in Profile zu verwenden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Kriterien zur Einteilung von privat genutzten Pkw in Fahrzeugnutzungsprofile

Profil	Tag	Kriterien			Anteil je Tag [%]	
		Anzahl Fahrten	Zweck	Start der ersten Fahrt		Tagesfahrleistung [km]
1_0	Werktag	0	-	-	-	38
1_1	Werktag	-	-	00:00 – 12:00	> 37,5	19
1_2	Werktag	-	mindestens 1 Fahrt zur Arbeitsstelle	-	< 37,5	18
1_3	Werktag	-	keine Fahrt zur Arbeitsstelle	00:00 – 12:00	< 37,5	16
1_4	Werktag	-	-	12:00 – 24:00	-	9
2_0	Samstag	0	-	-	-	47
2_1	Samstag	2-3	keine Fahrt zur Arbeitsstelle	00:00 – 12:00	< 37,5	15
2_2	Samstag	-	-	12:00 – 24:00	-	14
2_3	Samstag	-	mindestens 1 Fahrt zur Arbeitsstelle + keine Fahrt zur Arbeitsstelle (> 3 Fahrten)	00:00 – 12:00	< 37,5	13
2_4	Samstag	-	-	12:00 – 24:00	> 37,5	11
3_0	Sonntag	0	-	-	-	66
3_1	Sonntag	-	-	12:00 – 24:00	-	14
3_2	Sonntag	-	-	00:00 – 12:00	< 37,5	14
3_3	Sonntag	-	-	00:00 – 12:00	> 37,5	6

²⁷ Insgesamt sind 20 Wochennutzungsprofile für batterieelektrische Pkw vorgesehen. Da Pkw, die eine (semi-) öffentliche Ladeinfrastruktur zur Aufladung benötigen, wenn sie zuhause abgestellt sind, eine Ladesäule mit anderer Ladeleistung benutzen als Pkw, für die ein Stellplatz auf dem eigenen Grundstück zur Verfügung steht, werden diese Profile getrennt betrachtet. Batterieelektrische Pkw mit Stellplatz auf dem eigenen Grundstück werden durch zwölf Fahrzeugnutzungsprofile repräsentiert, die restlichen mit acht.

Wie in Tabelle 6 erkennbar ist, wird – wenn das alltägliche Mobilitätsverhalten der privat genutzten Pkw betrachtet wird – an allen Tagen ein großer Teil der Fahrzeuge überhaupt nicht bewegt. Die Nicht-Nutzung der Pkw ist am Wochenende verständlicherweise stärker ausgeprägt, da an diesen Tagen nur wenige Fahrten unternommen werden, um zur Arbeit zu gelangen. Fahrten zu Einkaufs- und Freizeitzwecken überwiegen daher an den Wochenendtagen, so dass sich für die betrachteten Tage eine stark unterschiedliche Nutzung der Pkw ergibt. Zur Veranschaulichung sind die Eigenschaften der Nutzungsprofile in Abbildung 32 bis Abbildung 34 für die jeweiligen Tage graphisch dargestellt. In Anhang G sind sie zudem tabellarisch aufgeführt.

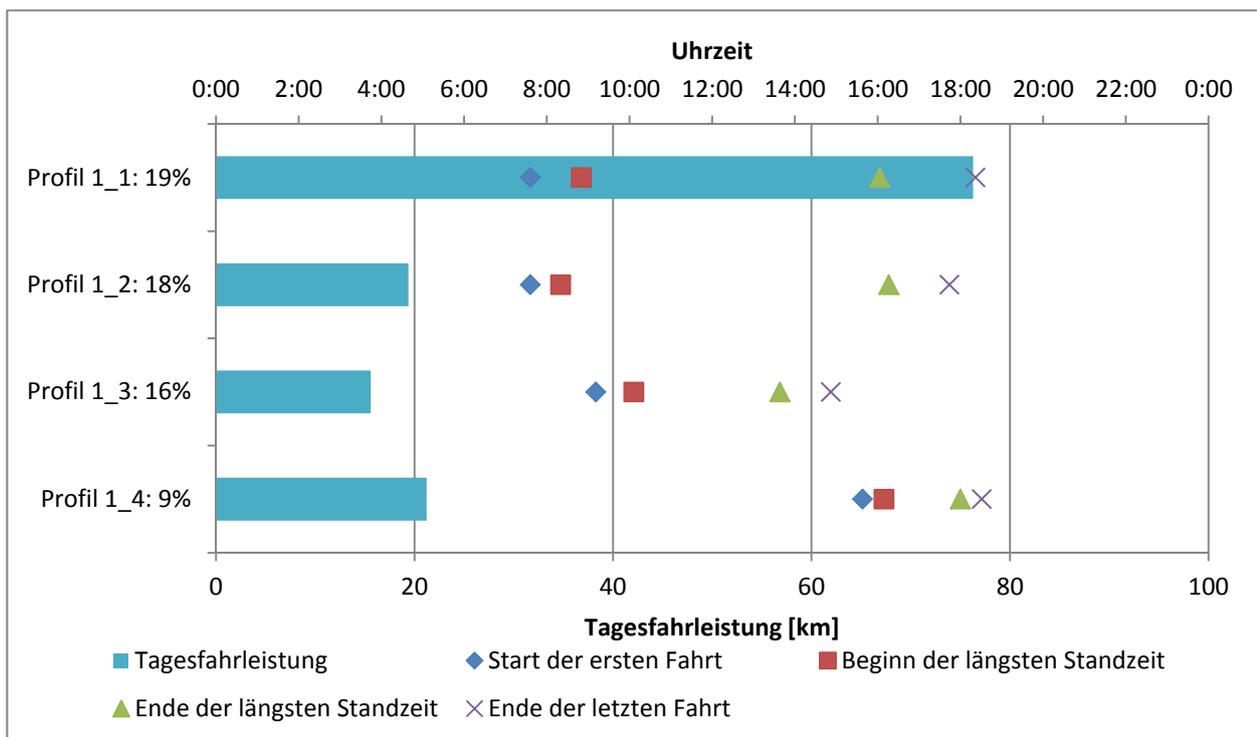


Abbildung 32: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Werktagen – privat genutzte Pkw

Wie bereits erwähnt, ist die Fahrzeugnutzung an Werktagen maßgeblich durch Fahrten zur Arbeit geprägt. In den beiden Profilen 1_1 und 1_2 stehen die Fahrzeuge während der längsten Standzeit des Tages zu einem großen Teil beim Arbeitsplatz und stellen somit typische Pendlerprofile dar. Im Vergleich zu den anderen beiden ermittelten Profilen 1_3 und 1_4, die vor allem Einkaufs-, Freizeit- und Begleitfahrten repräsentieren, beginnt bei diesen Pendlerprofilen die erste Fahrt des Tages früher und die längste Standzeit des Tages vergrößert sich auf annähernd acht Stunden. Auffallend ist zudem, dass die Fahrzeuge der Profile 1_3 und 1_4 deutlich länger zu Hause abgestellt sind und eine geringe Fahrleistung aufweisen.

Einkaufs- und Freizeitfahrten dominieren die Fahrzeugnutzung an Samstagen. Generell ist zu erkennen, dass die Fahrten an Samstagen im Vergleich zu Werktagen später gestartet werden und die Pkw wieder eher zuhause abgestellt werden. Dadurch verringert sich im Vergleich zu den Pendlerprofilen am Werktag die längste Standzeit während der Fahrzeugnutzung

erheblich. Mit den Profilen 2_1 und 2_3 sind vor allem Fahrten zu Einkaufszwecken abgebildet und weisen im Vergleich zu den Profilen 2_2 und 2_4, mit denen mehrheitlich Fahrten für Freizeitzwecke dargestellt sind, eine kürzere Tagesfahrleistung²⁸ auf.

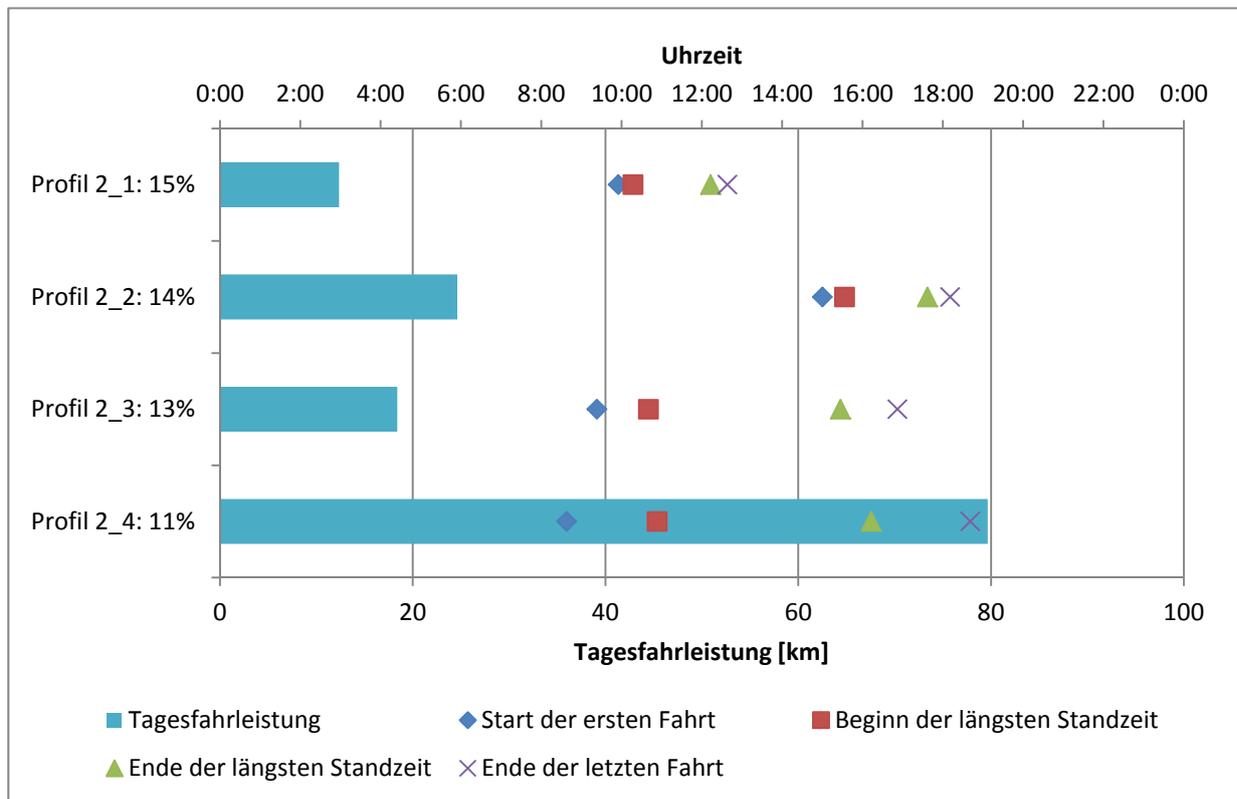


Abbildung 33: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Samstagen – privat genutzte Pkw

An Sonntagen finden fast ausschließlich Fahrten zu Freizeitzwecken und Begleitfahrten statt. Die Änderung der Fahrzwecke im Vergleich zu den anderen Tagen wird in der durchschnittlichen Fahrleistung der einzelnen Profile sichtbar, da sich die Tagesfahrleistungen im Vergleich zu den entsprechenden Profilen der anderen Tage erhöhen. Ähnlich wie an Samstagen werden die Pkw „erst“ gegen 9 Uhr morgens gestartet und sind generell nur für kurze Zeit nicht zu Hause abgestellt.

7.3.2 Auswahl von repräsentativen Wochennutzungsprofilen und weitere Verwendung

Die in diesem Abschnitt präsentierten Fahrzeugnutzungsprofile wurden durch Kombination von Tagesprofilen zu Wochennutzungsprofilen zusammengefasst (Abschnitt 4.2.2), um sie in der Potenzialanalyse, aber auch zur Ableitung der Stromnachfrage und der Jahresfahrleistung von

²⁸ Dieser Effekt ist übrigens auch in den für die Werkzeuge abgeleiteten Profilen 1_3 und 1_4 zu erkennen. In den Daten des Profils 1_3 ist ein höherer Anteil an Einkaufsfahrten als an Freizeifahrten hinterlegt, für Profil 1_4 stellt sich dies in umgekehrter Weise dar. Die Fahrleistung von Profil 1_4 ist dementsprechend höher als diejenige von Profil 1_3.

Elektrofahrzeugen verwenden zu können. Aufgrund von Restriktionen bezüglich der Rechenleistung, muss für die Integration von Wochennutzungsprofilen in das Strommarktmodell PowerFlex für privat genutzte Pkw eine Auswahl von 20 Wochennutzungsprofilen getroffen werden.

Dafür werden die Fahrzeuge der MiD 2008 genutzt, die bei der Betrachtung des alltäglichen Mobilitätsverhaltens als potenziell batterieelektrische Fahrzeuge deklariert wurden und somit gemäß der Fahrzeugnutzung als batterieelektrische Fahrzeuge in Frage kommen. Da die Betrachtung des Maximalpotenzials ebenfalls auf der Ebene der wochenweisen Nutzung von Pkw beruht, kann für diese Fahrzeuge die relative Verteilung der Wochennutzungsprofile bestimmt werden, die als Grundlage für die Auswahl der Wochennutzungsprofile dient.

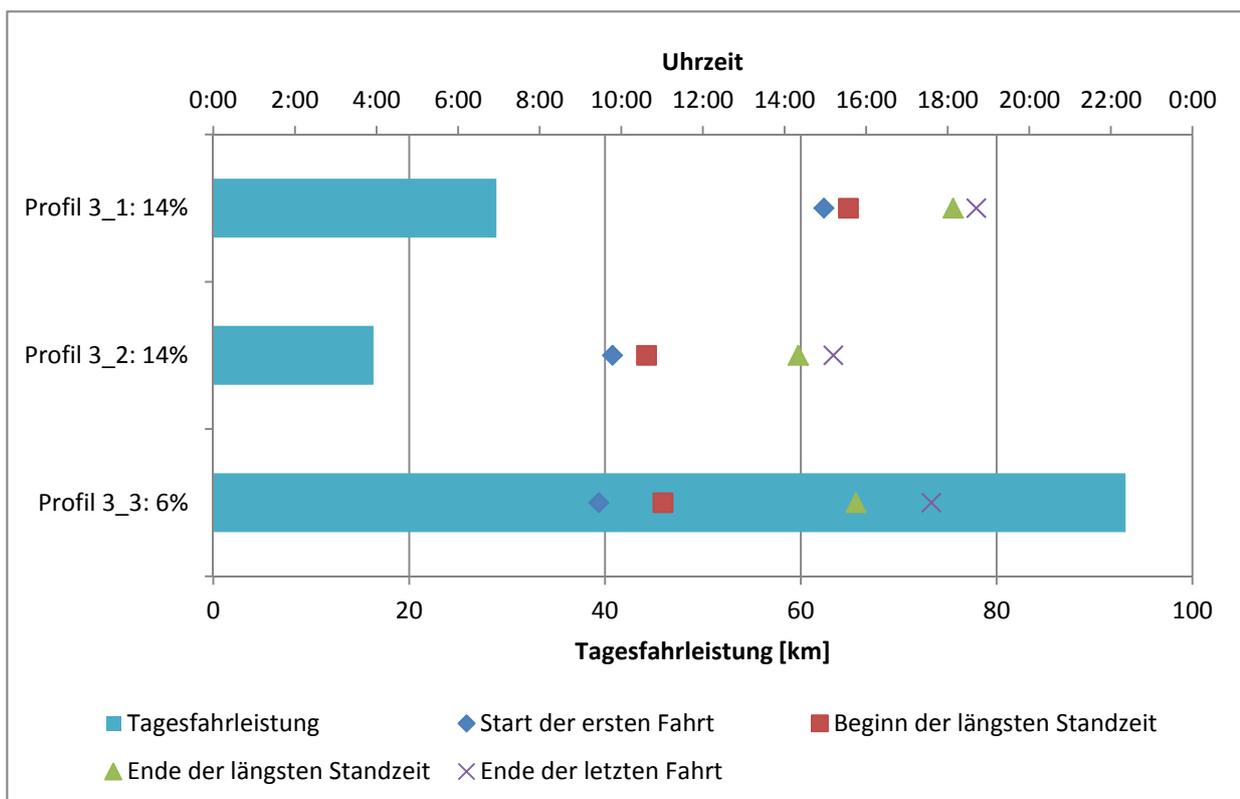


Abbildung 34: Fahrzeugnutzungsprofile für das alltägliche Mobilitätsverhalten an Sonntagen – privat genutzte Pkw

Durch die Beschränkung auf 20 Wochennutzungsprofile entsteht bei jeder Auswahl der Profile eine Verzerrung gegenüber der Abbildung des Mobilitätsverhaltens mit allen Profilen, so dass durch Bevorzugung von einigen Nutzungsprofilen und durch die Verwendung von Korrekturfaktoren die Verzerrung durch die Auswahl einiger Nutzungsprofile gering gehalten wird.

Neben der Verwendung in der Strommarktmodellierung werden die bestimmten Nutzungsprofile privat genutzter batterieelektrischer Pkw für die in Kapitel 9 folgende CO₂-Bilanzierung benötigt. Daher wird die Annahme getroffen, dass die batterieelektrischen Fahrzeuge über das Jahr gleich genutzt werden und somit dieselben wöchentlichen Profile aufweisen.

Aus den ausgewählten Profilen lässt sich eine durchschnittliche Jahresfahrleistung privat genutzter batterieelektrischer Pkw von 7.900 km bzw. 8.000 km ableiten. Im Vergleich mit der durchschnittlichen Fahrleistung aller in der MiD 2008 aufgeführten Fahrzeuge²⁹ bedeutet dies eine um über 40 % reduzierte Fahrleistung. Damit wird unmittelbar klar, dass mit dem für privat genutzte batterieelektrische Pkw abgeleiteten Mobilitätsverhalten eine geringere Fahrleistung dargestellt wird, als typischerweise in solchen Fahrzeugkategorien zurückgelegt wird.

7.4 Typische Fahrzeugnutzung gewerblich

In diesem Abschnitt wird auf die Ableitung von Wochennutzungsprofilen gewerblich zugelassener Pkw eingegangen, mit denen batterieelektrische Servicefahrzeuge in der Strommarktmodellierung und in der folgenden CO₂-Bilanzierung abgebildet werden. Diese Wochennutzungsprofile werden aus der Kombination von typischen Nutzungsprofilen für Werktag, Samstag und Sonntag abgeleitet, die aus der Fahrzeugnutzung der in der KiD 2002 als mögliche batterieelektrische Fahrzeuge identifizierten Pkw ermittelt werden. Aus der Kombination der Tagesnutzungsprofile ergeben sich 124 mögliche Wochennutzungsprofile, von denen fünf für die weitere Verwendung und Abbildung aller gewerblichen, batterieelektrischen Pkw verwendet werden.

7.4.1 Nutzungsprofile gewerblich zugelassener Pkw

Entsprechend der Darstellung der Nutzungsprofile privat zugelassener Pkw wird zunächst auf die ermittelten Tagesnutzungsprofile eingegangen, bevor die Auswahl der Wochennutzungsprofile erläutert wird. Für die Einteilung der potenziellen, batterieelektrischen Fahrzeuge der KiD 2002 in Nutzungsprofile werden andere Nutzungskriterien angesetzt als bei der Betrachtung der privat zugelassenen Pkw. Nach der Analyse detaillierter Nutzungsprofile wurde entschieden, für die aggregierte Darstellung der Fahrzeugnutzung in wenigen Nutzungsprofilen für alle Tage dieselben Kriterien anzusetzen (Tabelle 7).

Tabelle 7: Kriterien zur Einteilung gewerblicher Pkw in Fahrzeugnutzungsprofile

Profil	Anzahl Fahrten	Kriterien		Anteil [%] (2020 / 2030)		
		Tagesfahrleistung [km]	Anteil privater Fahrten [%]	Werktag	Samstag	Sonntag
0	0	-	-	26 / 26	62 / 62	69 / 69
1	-	< 80	< 50	30 / 28	17 / 16	3 / 3
2	-	> 80	< 50	15 / 18	1 / 1	1 / 1
3	-	< 80	> 50	26 / 26	19 / 19	26 / 26
4	-	> 80	> 50	3 / 3	2 / 2	2 / 2

²⁹ Jahresfahrleistung: 13.672 km

Da für alle Tage dieselben Kriterien zur Einteilung in Profile angewendet werden, ist an Tabelle 7 die unterschiedliche Nutzung gewerblich zugelassener Fahrzeuge an den verschiedenen Tagen gut zu erkennen. Am Wochenende steigt die Nicht-Nutzung solcher Fahrzeuge erheblich an, wobei sich vor allem die Nutzungszwecke der Fahrten ändern. Während am Samstag noch ein beträchtlicher Anteil der Fahrzeuge hauptsächlich für dienstliche Zwecke eingesetzt wird, sinkt der Anteil solcher Nutzungsprofile am Sonntag erheblich.

Anzumerken ist nach Analyse dieser Nutzungsprofile, dass bei gewerblich zugelassenen Pkw der KiD 2002 die Fahrzeugnutzung von Flottenfahrzeugen betrachtet werden soll, in den hier aufgeführten Nutzungsprofilen allerdings auch ein hoher Anteil an Nutzungsprofilen gezeigt wird, in denen mehrheitlich private Fahrten durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass ein gewisser Anteil gewerblich zugelassener Pkw sowohl in der MiD 2008 als auch in der KiD 2002 dargestellt ist und es Überschneidungen zwischen diesen beiden Datenerhebungen gibt. Da aber auch Servicefahrzeuge ein Nutzungsprofil mit einem höheren Anteil an privaten Fahrten besitzen können und kein eindeutiges Merkmal zur Unterscheidung von Flottenfahrzeugen und Dienstwagen im Datensatz verfügbar ist, wird darauf verzichtet, bestimmte Fahrzeuge aufgrund ihrer Fahrzeugnutzung aus der Analyse auszuschließen.

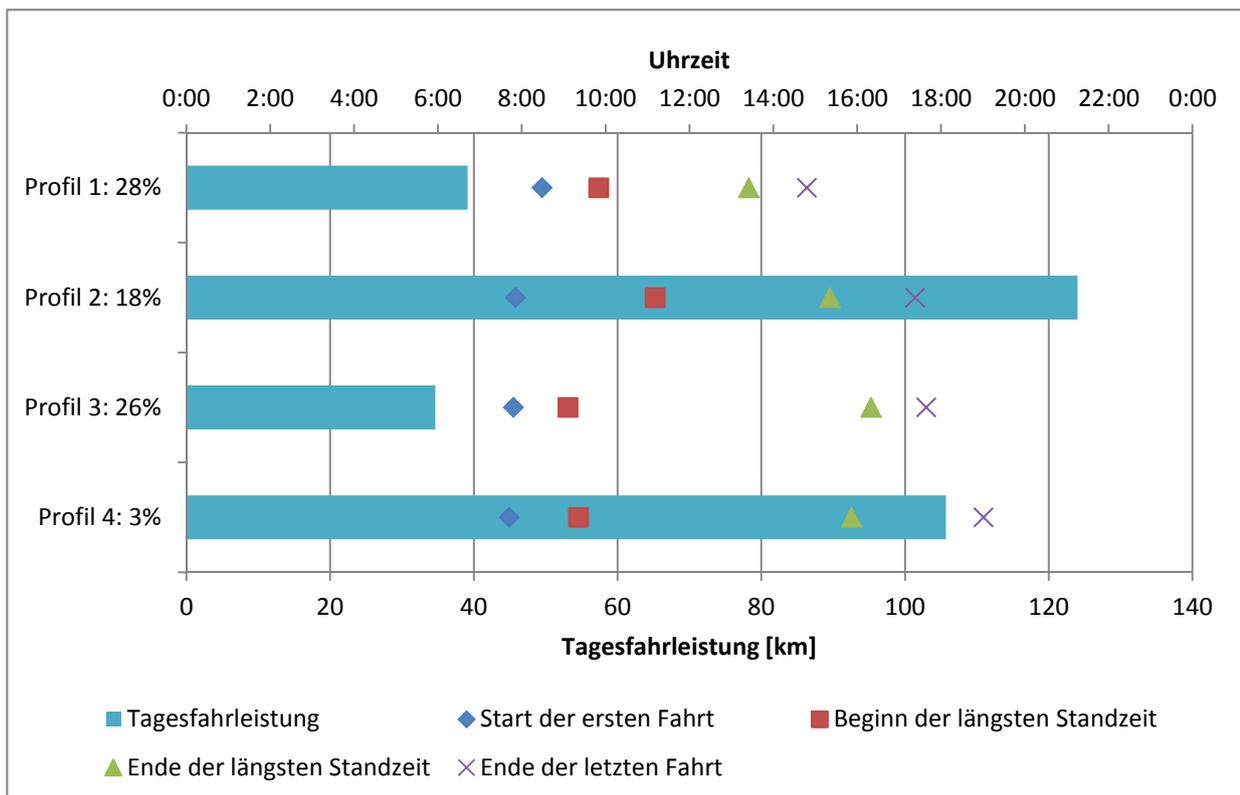


Abbildung 35: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Werktagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030

Da sich die ermittelten Nutzungsprofile für die Jahre 2020 und 2030 in den wesentlichen Merkmalen nicht auf bedeutende Art und Weise unterscheiden, sind an dieser Stelle nur die ermittelten Tagesnutzungsprofile für das Jahr 2030 dargestellt. Werden mit einem gewerblich zugelassenen Pkw werktags vor allem Dienstfahrten durchgeführt, kann zwischen Fahrzeugen

mit hoher (Profil 2) und niedriger Fahrleistung (Profil 1) unterschieden werden. Auffällig ist dabei die Tatsache, dass die Fahrzeuge bei hoher Fahrleistung im Schnitt die maximal nutzbare Reichweite³⁰ der batterieelektrischen Fahrzeuge erreichen. Das zeigt, dass bei der Maximalpotenzialbestimmung bei einigen Fahrzeugen davon ausgegangen worden ist, dass diese Fahrzeuge während des Tages zumindest einen Teil der Batteriekapazität wieder aufladen müssen. Zudem lässt sich aus den Daten der KiD erstaunlicherweise ableiten, dass die Fahrzeuge von Profil 1 trotz geringerer Tagesfahrleistung im Durchschnitt mehr Fahrten aufweisen als die Fahrzeuge in Profil 2.

Werden werktags mit gewerblich zugelassenen Fahrzeugen vor allem private Fahrten durchgeführt (Profil 3 und 4), ergibt sich ein anderes Nutzungsmuster als in den Profilen 1 und 2. Die Fahrzeuge stehen länger an einem Standort und können – wenn die Ladeinfrastruktur dafür vorhanden ist – daher problemlos während des Tages die Fahrzeugbatterie beladen. Weiterhin steht ein Großteil der Fahrzeuge, die mit Profil 1 und 2 repräsentiert werden, über Nacht auf dem Betriebsgelände, während die stärker privat genutzten Fahrzeuge vor allem zuhause abgestellt werden.

Profil 3 und 4 unterscheiden sich werktags dennoch nicht nur in der Fahrleistung voneinander. Während die längste Standzeit für Fahrzeuge von Profil 3 fast ausschließlich zuhause stattfindet, werden Fahrzeuge in Profil 4 auch oft auf dem Betriebsgelände abgestellt. Zudem werden mit den Fahrzeugen von Profil 4 ähnlich viele Fahrten durchgeführt wie mit den hauptsächlich dienstlich genutzten gewerblich zugelassenen Pkw.

Die Nutzung von gewerblichen Pkw an Samstagen unterscheidet sich neben der Verteilung auf die einzelnen Profile gegenüber der werktäglichen Nutzung vor allem in den Nutzungszeiten der Fahrzeuge. Die Fahrzeuge werden im Schnitt am Wochenende erst später das erste Mal am Tag genutzt. Damit verschiebt sich das Ende der letzten Fahrt bei den Profilen mit hoher Fahrleistung auch leicht auf spätere Uhrzeiten. Die sonstigen Eigenschaften der einzelnen Profile ähneln allerdings den bereits beschriebenen Eigenschaften für die Nutzung an Werktagen, wobei sich die Fahrleistung aller ermittelten Profile im Vergleich zur Nutzung an Werktagen verringert.

Der einzige erhebliche Unterschied bei den hauptsächlich dienstlich genutzten Pkw stellt die starke Reduktion der Anzahl der Fahrten in Profil 1 dar, was sich auch in einer reduzierten Fahrleistung widerspiegelt. Zudem ändert sich die Nutzung, wenn die Pkw hauptsächlich für private Zwecke verwendet werden, da diese Fahrzeuge im Gegensatz zu Werktagen wahrscheinlich für Besorgungs- und Freizeitfahrten genutzt werden.

³⁰ Die maximal nutzbare Reichweite ergibt sich aus der nominellen Reichweite (160 km), dem Zusatzverbrauch von Nebenaggregaten / Realverbrauch (10 % erhöhter Energieverbrauch) und der Mindestreserve der Batterie (20 km). Die maximale, nutzbare Reichweite beträgt somit 124 km.

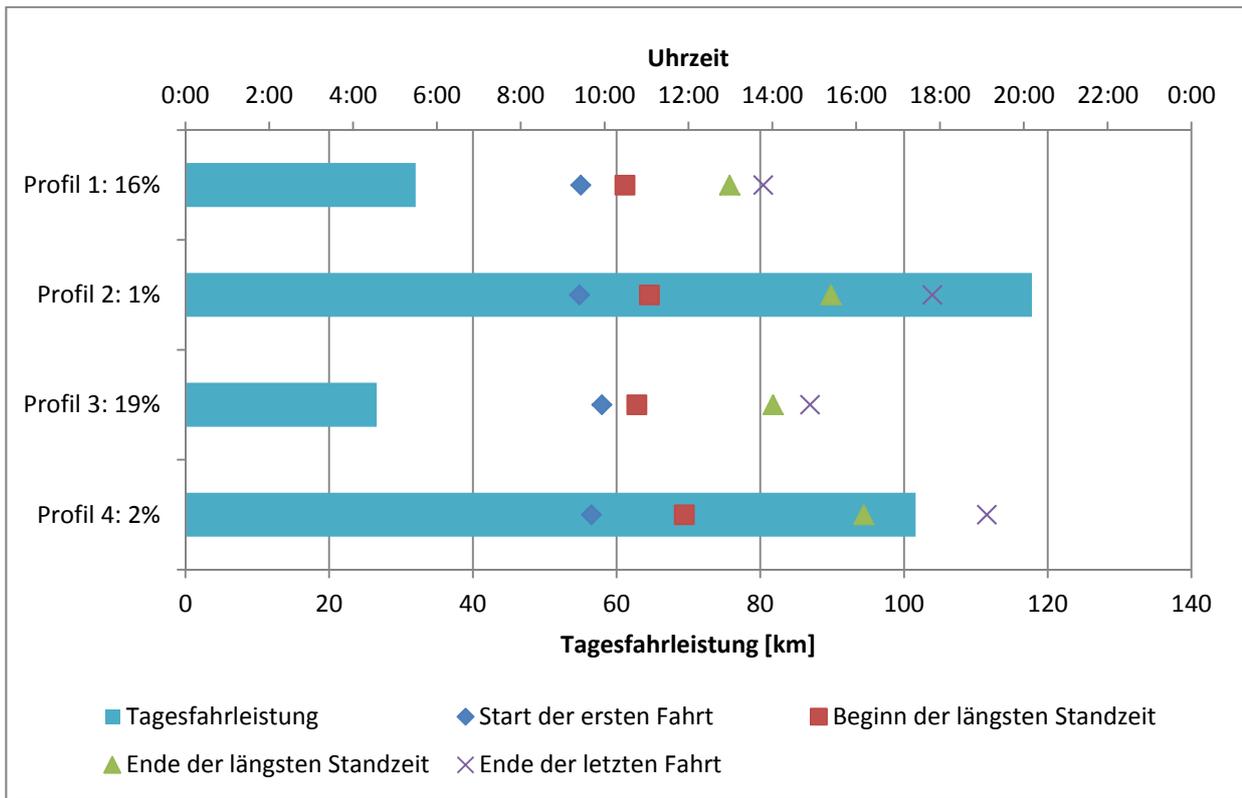


Abbildung 36: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Samstagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030

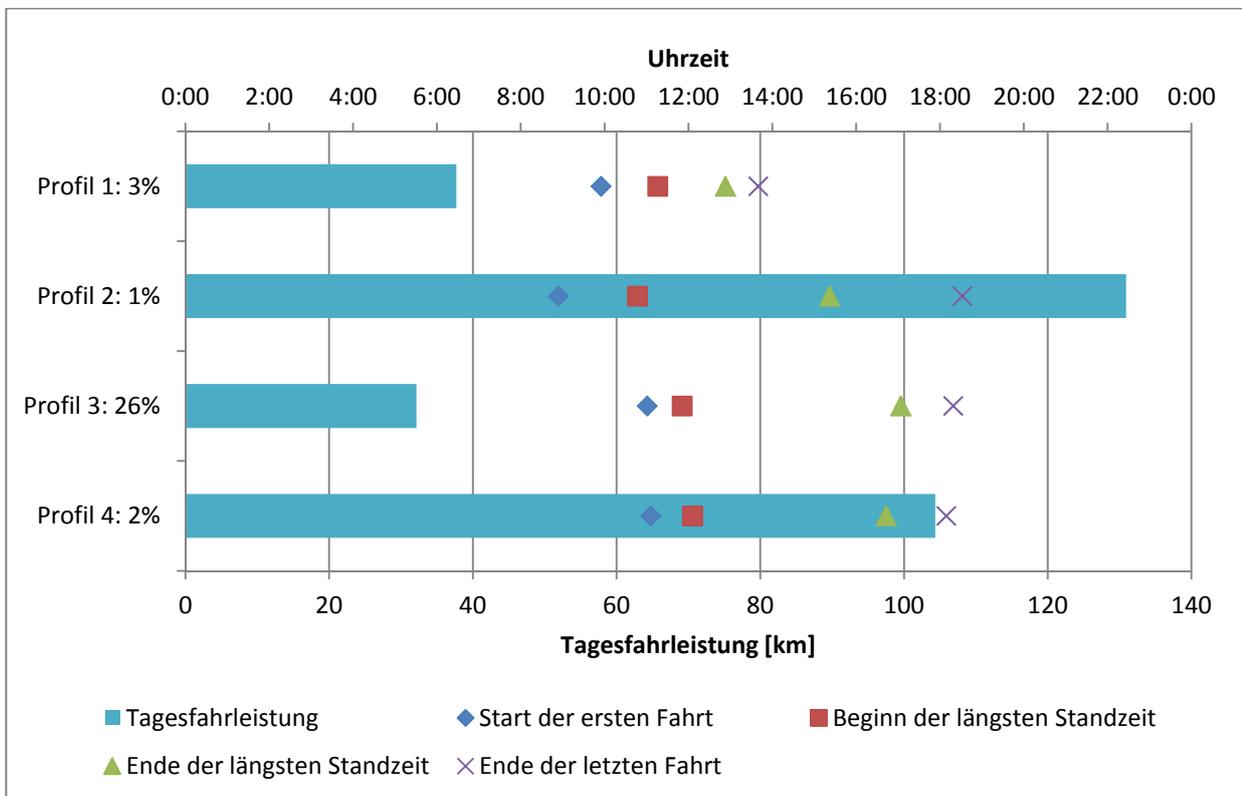


Abbildung 37: Fahrzeugnutzungsprofile potenzieller batterieelektrischer Pkw an Sonntagen – gewerblich zugelassene Pkw 2030

Die Nutzung gewerblicher Fahrzeuge verschiebt sich an Sonntagen auf noch spätere Zeiten, wobei wieder ähnliche Tagesfahrleistungen wie während der Werktage mit diesen Fahrzeugen zurückgelegt werden. Erstaunlich ist die durchschnittliche Fahrleistung von Profil 2, da diese über der maximal nutzbaren Reichweite liegt. Das zeigt, dass bei der Maximalpotenzialbestimmung für einen erheblichen Teil der Fahrzeuge angenommen wurde, dass sie während des Tages eine Möglichkeit zur Aufladung der Batterie besitzen.

Erstaunlich ist weiterhin, dass sich die Anzahl der Fahrten bei hauptsächlich dienstlich genutzten Fahrzeugen am Wochenende erheblich erhöht. Dagegen sinkt die Zahl der Fahrten bei vor allem privat genutzten Pkw. Die restlichen Eigenschaften der Fahrzeugnutzungsprofile entsprechen zumindest in der Größenordnung der Fahrzeugnutzung von gewerblichen Pkw an Werktagen.

7.4.2 Auswahl von repräsentativen Wochennutzungsprofilen und weitere Verwendung

Die gewerblichen Servicefahrzeuge stellen in dem betrachteten Szenario (siehe Kapitel 3) im Gegensatz zu den mehrheitlich privat genutzten Pkw, deren Nutzungsprofile über die Betrachtung der MiD 2008 ermittelt werden, nur einen geringen Anteil der batterieelektrischen Pkw dar. Daher werden diese Fahrzeuge in der Strommarktsimulation nur mit fünf Nutzungsprofilen berücksichtigt.

Da für die Betrachtung des Maximalpotenzials für gewerblich zugelassene Fahrzeuge in der Datenaufbereitung der KiD 2002 keine Kombination von Stichtagsprofilen zu Wochennutzungsprofilen einzelner Fahrzeuge durchgeführt wurde, ist das in Kapitel 7.3.2 für die Daten der MiD 2008 beschriebene Vorgehen nicht möglich. Da die potenziell batterieelektrischen Pkw die Grundlage der beschriebenen Fahrzeugnutzungsprofile bilden, ist die relative Verteilung dieser Nutzungsprofile für batterieelektrische Pkw bei der Erstellung dieser Profile bereits implizit berücksichtigt.

Daher wurde für die Kombination der Profile zu Wochennutzungsprofilen ein einfacheres Vorgehen gewählt. Über eine zufällige Kombination der vorgestellten Profile, bei der für die jeweiligen Tage die Häufigkeit ihres Auftretens berücksichtigt wird, werden 5 Wochennutzungsprofile bestimmt (Tabelle 8), die im weiteren Vorgehen alle gewerblichen batterieelektrischen Pkw repräsentieren.

Tabelle 8: Wochennutzungsprofile gewerblich zugelassener, batterieelektrischer Pkw

Wochen- nutzungsprofil	Anteil 2020 / 2030 [%]	Tagesnutzungsprofil		
		Werktag	Samstag	Sonntag
1	26 / 26	0	3	3
2	30 / 28	1	0	0
3	15 / 18	2	1	0
4	26 / 26	3	0	0
5	3 / 3	4	4	1

Bei dieser zufälligen Kombination der Tagesnutzungsprofile wird zusätzlich darauf geachtet, dass alle für die Fahrzeugnutzung an Werktagen bestimmten Nutzungsprofile in den Wochennutzungsprofilen aufgeführt sind. Die relative Verteilung der so bestimmten Wochennutzungsprofile entspricht dabei der Verteilung der Nutzungsprofile an Werktagen. Dazu wird entsprechend der Betrachtung der restlichen Fahrzeuge angenommen, dass die Fahrzeuge über das Jahr dieselben Nutzungsmuster und somit dieselben Wochennutzungsprofile besitzen.

Aus den ausgewählten Nutzungsprofilen lässt sich für die weitere Verwendung bei der CO₂-Bilanzierung zudem die durchschnittliche Fahrleistung der gewerblichen batterieelektrischen Pkw bestimmen, welche in den Jahren 2020 und 2030 bei 11.500 km bzw. 13.000 km liegt. Im Vergleich mit allen in der KiD aufgeführten gewerblichen Pkw der entsprechenden Größenklassen ist somit eine um 36 % (2020) bzw. 27 % (2030) reduzierte Jahresfahrleistung für die batterieelektrischen Pkw angenommen. Dennoch ergibt sich für die gewerblich genutzten, batterieelektrischen Fahrzeuge eine, im Vergleich zu den privat zugelassenen batterieelektrischen Pkw, erheblich höhere Fahrleistung, da über die Ermittlung der Nutzungsprofile im Jahr eine um 46 % (2020) bzw. 63 % (2030) höhere Fahrleistung von gewerblich zugelassenen gewerblichen Pkw abgeleitet wird.

EXKURS: Berücksichtigung von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden die Potenziale und Umwelteffekte von batterieelektrischen Pkw detailliert untersucht. Insbesondere in Hinblick auf die Effekte auf den Strommarkt ist jedoch zu berücksichtigen, dass weitere Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb – insbesondere Plug-In-Hybridfahrzeuge – im Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030 vermutlich eine zunehmende Bedeutung gewinnen und die Stromnachfrage für Pkw weiter erhöhen werden.

Da das Strommarktmodell PowerFlex lediglich eine Aussage zur Wirkung des Gesamtsystems Elektromobilität auf die Stromwirtschaft treffen kann, batterieelektrische Fahrzeuge jedoch nur eine Teilmenge darstellen, muss zumindest für diese Betrachtung auch der Einfluss von Plug-In-Hybridfahrzeugen adäquat berücksichtigt werden. Die Grundlage für die Berücksichtigung von Plug-In-Hybridfahrzeugen im Rahmen dieser Untersuchung bilden die Detailanalysen aus dem Forschungsvorhaben OPTUM des Öko-Instituts, welche sowohl die mögliche Zulassungsstruktur als auch typische Nutzungsprofile von Plug-In-Hybridfahrzeugen betrachten [1].

Die Grundannahme für dieses, hier um Plug-In-Hybridfahrzeuge erweiterte, Szenario ist, dass die Ziele der Bundesregierung von einer Million Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 und sechs Millionen Fahrzeugen im Jahr 2030 genau erreicht werden [11]. Dargestellt wird dies im Modell, indem das bestehende Marktszenario für batterieelektrische Pkw um die zur Zielerreichung notwendige Anzahl an Plug-In-Hybridfahrzeugen ergänzt wird. In Zahlen bedeutet dies im Jahr 2020 eine Anzahl von 922.000 und im Jahr 2030 von über 5 Millionen Plug-In-Hybridfahrzeugen in verschiedenen Größenklassen.

Der Einsatz der Plug-In-Hybridfahrzeuge wird im Modell analog zu batterieelektrischen Pkw für 30 typische Wochenprofile simuliert, die es ermöglichen, die Stromnachfrage stundenscharf abzubilden und die Wechselwirkungen mit dem Strommarkt zu modellieren. Im Vergleich zu batterieelektrischen Pkw zeichnen sich die Plug-In-Hybridfahrzeugprofile durch eine höhere Jahresfahrleistung aus, die sich am Durchschnittswert von herkömmlichen Pkw orientiert.

Neben der alltäglichen Nutzung werden in den Plug-In-Hybridfahrzeugprofilen zusätzlich unregelmäßige lange Fahrten, wie beispielsweise Urlaubsfahrten oder Dienstreisen, berücksichtigt. Angesichts einer elektrischen Reichweite von 50 Kilometern wird daher nur ein Anteil von 60 % bis 70 % der Jahresfahrleistung elektrisch zurückgelegt, da insbesondere bei längeren Fahrten der Verbrennungsmotor verstärkt zum Einsatz kommt.

7.5 Integration der Fahrzeugnutzung in die Strommarktmodellierung

In den Abschnitten 7.3.2 und 7.4.2 wurde bereits kurz auf die Herleitung der durch die Fahrzeugnutzungsprofile dargestellten Nutzungsmuster von elektrischen Fahrzeugen für das Strommarktmodell PowerFlex eingegangen. Durch die Verbindung der in den Szenarioannahmen hinterlegten spezifischen Energieverbräuche der elektrischen Fahrzeuge mit den Fahrleistungen der einzelnen Nutzungsprofile ergibt sich der zeitlich aufgelöste Energieverbrauch der elektrischen Fahrzeuge beim Fahren.

Wird in der Strommarktmodellierung von der Batterieladung ohne Lademanagement³¹ ausgegangen, lässt sich aus den in den Nutzungsprofilen hinterlegten Fahrten und Standorten die zeitlich aufgelöste, zusätzliche Stromnachfrage durch Elektromobilität problemlos als Input für PowerFlex generieren. Im Falle der Strommarktmodellierung mit Lademanagement³² für die elektrischen Fahrzeuge ergibt sich die zeitlich aufgelöste Stromnachfrage unter Berücksichtigung der Fahrzeugnutzungsprofile aus der Strommarktsimulation. Daher werden für diese Betrachtung die Energieverbräuche beim Fahren sowie die Standzeiten und -orte, für die mit den Szenarioannahmen eine bestimmte maximale Ladeleistung definiert ist, an PowerFlex übergeben.

³¹ Ohne Lademanagement: Die Fahrzeugnutzer verbinden das Fahrzeug nach Fahrtende unverzüglich mit einer Ladestation und die Fahrzeuge werden sofort mit der maximalen Ladeleistung dieser Ladestation geladen.

³² Mit Lademanagement: Die Ladung der Fahrzeuge wird unter Berücksichtigung der Restriktionen durch die Fahrzeugnutzung in preisgünstige Stunden verschoben.

Modellierung des Kraftwerksparks und Emissionsfaktoren Elektromobilität

8.1 Vorgehen

8.1.1 Methodischer Ansatz

Um die Emissionsfaktoren für Elektromobilität zu berechnen, wurde analysiert, wie sich die Stromerzeugung ändert, wenn Elektrofahrzeuge als zusätzliche Verbraucher ins Stromversorgungssystem kommen. Dazu wurde der Kraftwerkeinsatz mit dem Strommarktmodell PowerFlex modelliert (Modellbeschreibung siehe Anhang I). Das Modell minimiert die Kosten für die Stromerzeugung und bildet so den Einsatz der Kraftwerke auf dem Strommarkt ab. Damit ergeben sich für jede Stunde des Jahres der Brennstoffmix und die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung.

Die detaillierten Fahrzeugnutzungsprofile wurden an das Modul Elektromobilität des PowerFlex-Modells übergeben, wobei im Rahmen dieses Projekts die Abbildung und Auswertung insbesondere für batterieelektrische Fahrzeuge erweitert wurde, so dass eine große Anzahl von Fahrzeugnutzungsprofilen verarbeitet werden kann.

Der Verbrauch der Elektrofahrzeuge kann dabei entweder ohne Lademanagement oder mit Lademanagement modelliert werden. Im ungesteuerten Fall, ohne Lademanagement, addiert sich die Nachfrage für die Batterieladung als vorgegebenes, stündliches Profil zu der herkömmlichen Stromnachfrage. Mit Lademanagement kann das Modell über den Zeitpunkt der Batterieladung entscheiden. Dabei werden weiterhin die Kosten für die Stromerzeugung minimiert. Dies führt dazu, dass das Lademanagement die Ladung der Elektrofahrzeuge innerhalb der durch die Fahrzeugnutzung vorgegeben Zeiträumen in Stunden mit möglichst geringen Stromerzeugungskosten verschiebt.

Wie sich diese zeitliche Verschiebung auf einzelne Fahrzeugnutzungsprofile auswirkt, ist in Abschnitt 8.2.2 dargestellt.

Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren (Abschnitt 8.2.3) wurde für Stromerzeugung und CO₂-Emissionen die Differenz zwischen einem Szenario mit Elektromobilität und einem Basisszenario ohne Elektromobilität gebildet.

8.1.2 Szenarien

Für die Jahre 2020 und 2030 wurden verschiedene Szenarien mit der Strommarktmodellierung abgebildet: Nach einem Basislauf ohne Elektromobilität wurden Modellrechnungen mit Elektromobilität auf Basis der übergebenen Fahrzeugnutzungsprofile durchgeführt. Dabei wurde ein Szenario ohne Lademanagement und ein Szenario mit Lademanagement berechnet.

In einem zweiten Schritt wurden dem Modell zusätzlich zur Elektromobilität auch zusätzliche erneuerbare Energieanlagen zur Verfügung gestellt, deren Stromproduktion genau dem Jahresenergieverbrauch der Elektrofahrzeuge entspricht. Dabei stammen 75 % dieses zusätzlichen erneuerbaren Stroms aus Windkraftanlagen an Land und 25 % aus Biogasanlagen. Dies bildet beispielhaft eine Kombination von fluktuierender und steuerbarer Einspeisung erneuerbarer Energien ab, die zusätzlich zum Ausbaupfad im Basisszenario für den Verbrauch der Elektromobilität bereitgestellt werden könnte. Andere Kombinationen sind natürlich ebenfalls denkbar.

Insgesamt wurden für 2020 und für 2030 die folgenden fünf Szenarien modelliert:

- » Basisszenario ohne Elektromobilität
- » Szenario mit Elektromobilität ohne Lademanagement („ohne LM / ohne EE-Zubau“)
- » Szenario mit Elektromobilität mit Lademanagement („mit LM / ohne EE-Zubau“)
- » Szenario mit Elektromobilität und zusätzlichen erneuerbaren Energien (75 % Wind onshore, 25% Biogas) ohne Lademanagement („ohne LM / mit EE-Zubau“)
- » Szenario mit Elektromobilität und zusätzlichen erneuerbaren Energien (75 % Wind onshore, 25% Biogas) mit Lademanagement („mit LM / mit EE-Zubau“).

8.2 Ergebnisse

8.2.1 Zeitaufgelöste Darstellung des Kraftwerkseinsatzes

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen den Kraftwerkseinsatz aus der Strommarktmodellierung für die Elektromobilitäts-Szenarien ohne und mit Lademanagement im Jahr 2030 („ohne LM / ohne EE-Zubau“ und „mit LM / ohne EE-Zubau“) in stündlicher Auflösung für eine ausgewählte Woche.

Sie beginnt mit einem Wochenende, an dem eine niedrigere Stromnachfrage erkennbar ist. An den folgenden Wochentagen steigt die Nachfrage an. Negative Werte zeigen den Verbrauch der Pumpspeicherkraftwerke und der Elektrofahrzeuge. Wo sie Strom verbrauchen, weicht die Stromerzeugung (dicke Linie „Erzeugung insgesamt“) von der exogen vorgegebenen Stromnachfrage aller anderen Verbraucher (dünne Linie „Stromverbrauch“) ab. Im ungesteuerten Fall ohne Lademanagement im Szenario „ohne LM / ohne EE-Zubau“ (Abbildung 38) zeigen die Elektrofahrzeuge deutliche, regelmäßig auftretende Verbrauchsspitzen. Diese finden sich im dargestellten Stromerzeugungsprofil als ausgeprägte Abendspitzen auf der Erzeugungssseite wieder.

Mit Lademanagement (Abbildung 39) verschiebt sich die Nachfrage der Elektrofahrzeuge hingegen in andere Stunden, in denen die Stromerzeugung kostengünstiger ist. Dabei gilt: Je weniger konventionelle Kraftwerkskapazität in einer Stunde zur Deckung der Nachfrage benötigt wird, desto niedriger ist der Strompreis. Eine Senkung der benötigten konventionellen Kraftwerkskapazität ergibt sich durch zwei Faktoren: eine niedrige Stromnachfrage und eine hohe Einspeisung erneuerbarer Energien.

An den dargestellten Werktagen verschiebt sich der Ladezeitraum zum Teil vom Abend in die Nachttäler, weil in diesen Stunden kostengünstigerer Strom zur Verfügung steht als bei hoher Nachfrage tagsüber. Ist überschüssiger Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien vorhanden, wie zu Beginn der abgebildeten Woche (schraffiert dargestellt), wird dieser soweit wie möglich zur Ladung der Fahrzeugbatterien genutzt, denn dieser Strom steht kostenlos am Strommarkt zur Verfügung.

In beiden Fällen, mit und ohne Lademanagement werden dabei dieselben Fahrten durchgeführt. Daraus und aus der begrenzten Speicherkapazität der Batterien ergeben sich Restriktionen, die dazu führen, dass auch mit Lademanagement die vorhandenen erneuerbaren Überschüsse nur zum Teil genutzt werden können.

Stehen keine erneuerbaren Überschüsse zur Verfügung, sorgt das Lademanagement für eine Verschiebung hin zur nächstgünstigen Stromerzeugungsoption. Ein Beispiel dafür ist in dem kreisförmig markierten Bereich in Abbildung 38 und Abbildung 39 erkennbar. Gegenüber dem Szenario ohne Lademanagement zeigt sich im Szenario mit Lademanagement eine Abflachung der Erzeugung aus Steinkohle und Erdgas. Der im ungesteuerten Fall vorhandene Einschnitt in der Braunkohlestromerzeugung wird durch das Lademanagement teilweise gefüllt.

Im folgenden Abschnitt 8.2.2 wird zunächst analysiert, wie sich die Verschiebung des Ladezeitraums durch das Lademanagement für ausgewählte Fahrzeugnutzer auswirkt. In Abschnitt 8.2.3 folgt am Beispiel einer Woche eine quantitative Auswertung der veränderten Brennstoffeinsätze für das gesamte Jahr.

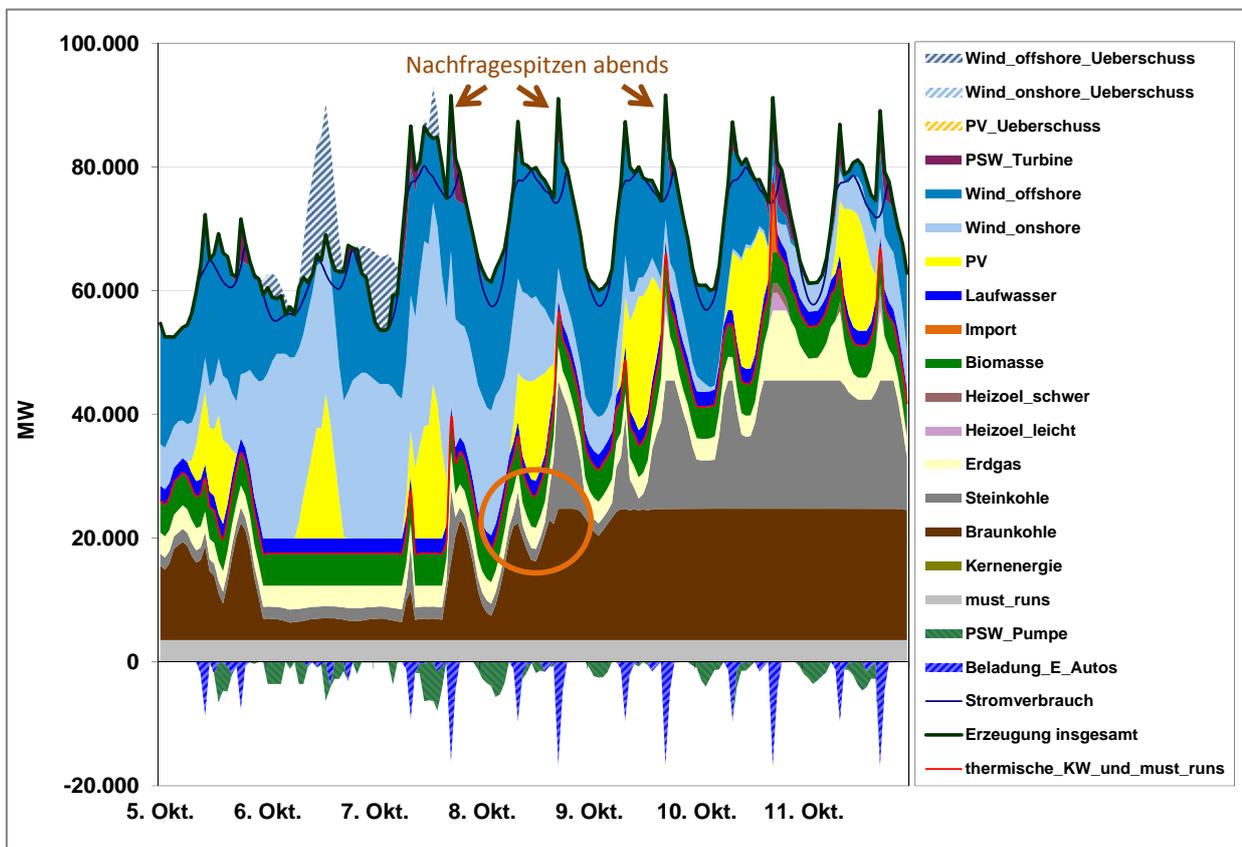


Abbildung 38: Kraftwerkseinsatz in einer ausgewählten Woche in stündlicher Auflösung im Elektromobilitäts-Szenario „ohne LM / ohne EE-Zubau“ für 2030

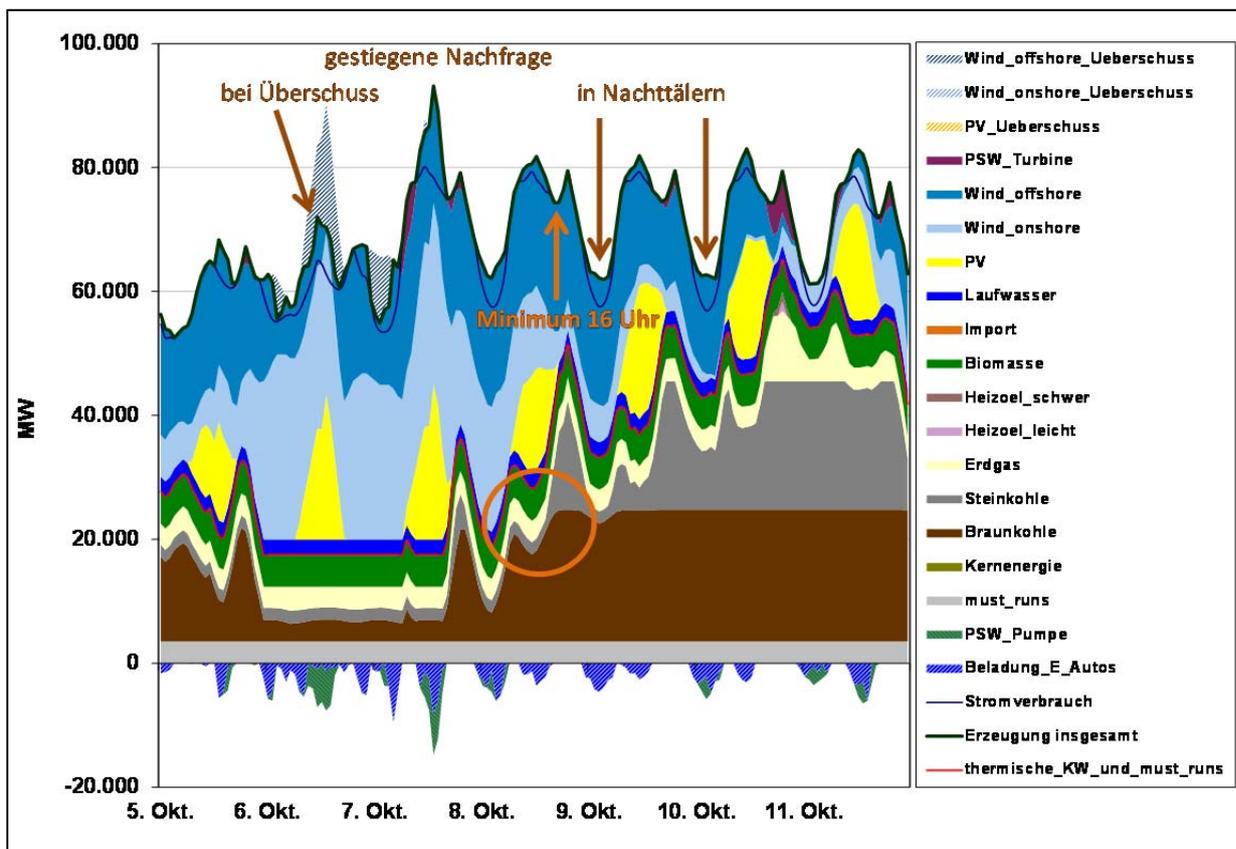


Abbildung 39: Kraftwerkseinsatz in einer ausgewählten Woche in stündlicher Auflösung im Elektromobilitäts-Szenario „mit LM / ohne EE-Zubau“ für 2030

8.2.2 Auswertung des Lademanagements für ausgewählte Fahrzeugnutzungsprofile

In den folgenden Abbildungen ist dargestellt, wie sich das Verschieben des Ladezeitraums durch Lademanagement für einzelne BEV-Fahrzeugnutzungsprofile auswirkt. Dabei werden zwei private Fahrzeugnutzungsprofile („BEV 22“ und „BEV 27“) und zwei gewerbliche Fahrzeugnutzungsprofile („BEV 3“ und „BEV 5“) ausgewertet. Der Betrachtungszeitraum ist die im vorigen Abschnitt dargestellte Woche, in der am zweiten und dritten Tag überschüssige fluktuierende erneuerbare Energien vorhanden sind. In den folgenden Tagen ist mit Lademanagement vor allem eine Verschiebung von Abendspitzen in die Nachttäler erkennbar. Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils für ein Fahrzeugnutzungsprofil in Rot im negativen Wertebereich die regelmäßig auftretenden Fahrten, bei denen die Batterie entladen wird. Blau umrandet ist die Stromnachfrage für die Batterieladung ohne Lademanagement dargestellt, die sich stets unmittelbar an die Fahrt anschließt. In grün ist die Stromnachfrage abgebildet, die durch das Lademanagement verschoben wurde.

Abbildung 40 zeigt dies für den privaten Nutzer „BEV 22“, der am Werktag bereits um 14 Uhr nach Hause kommt. Während im Fall ohne Lademanagement der Nutzer regelmäßig an allen Tagen nach der Fahrt sein Fahrzeug lädt, ist die Verteilung der Ladezeiträume mit Lademanagement ungleichmäßiger: An den letzten drei Wochentagen lädt das Lademanagement die Batterie überhaupt nicht. Dafür verschiebt es das Laden hauptsächlich auf den zweiten und dritten Tag der dargestellten Woche, also in den Zeitraum, in dem überschüssige erneuerbare Energien zur Verfügung stehen. Am dritten und vierten Tag findet

sowohl ohne Lademanagement als auch mit Lademanagement eine Batterieladung nach der letzten Fahrt um 15 Uhr statt, also kurz vor dem Nachmittags-Minimum um 16 Uhr, das in Abbildung 39 markiert ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die Stromproduktion wegen vorhandener freier Braunkohle-Kapazitäten vergleichsweise günstig.

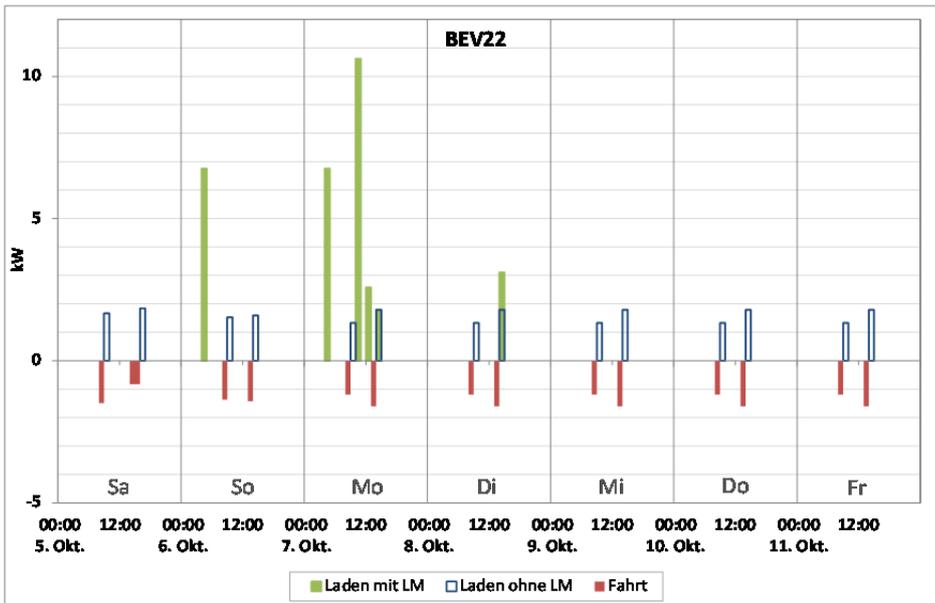


Abbildung 40: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 22“

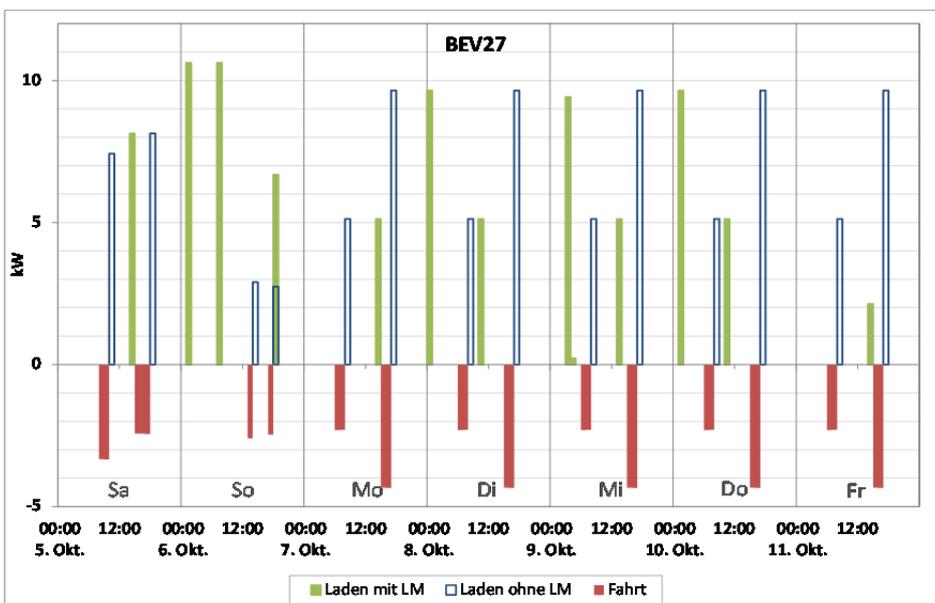


Abbildung 41: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 27“

Der ebenfalls private Nutzer „BEV 27“ (Abbildung 41) kommt später nach Hause und fährt tagsüber relativ viel. Auch bei diesem Nutzer verschiebt das Lademanagement die Ladezeiträume in andere Stunden. Auch hier ist der zweite Tag offensichtlich aufgrund der kostengünstigen erneuerbaren Energien für das Lademanagement attraktiv. Weil dieser Nutzer jedoch mehr fährt als „BEV 22“, kann das Lademanagement hier an den anderen Wochentagen nicht auf die Batterieladung verzichten, sondern sie lediglich in andere Stunden des Tages verschieben. Dabei wird der Zeitraum zwischen Mitternacht und der ersten Fahrt bevorzugt zum Laden verwendet, also eine Uhrzeit, zu der die sonstige Nachfrage am Strommarkt und daher auch die Strompreise tendenziell niedrig sind. Auch auf die Zwischenladung tagsüber zwischen den beiden Fahrten, die bei diesem Nutzer möglich ist, kann das Lademanagement aufgrund der häufigeren Fahrten nicht verzichten, bevorzugt aber andere Zeitpunkte, als sie der Nutzer mit seinem Muster „Laden nach der Fahrt“ wählt, weil die Verschiebung eine kostengünstigere Stromproduktion ermöglicht.

Die folgenden Fahrzeugnutzungsprofile stehen für gewerbliche Nutzer. „BEV 3“ fährt werktags sehr viel und kann nachmittags zwischen den beiden Fahrten auf eine Lademöglichkeit mit hoher Anschlussleistung (knapp 11 kW) zugreifen. Diese wird auch vom Lademanagement genutzt, teilweise auch zum selben Zeitpunkt wie im Fall ohne Lademanagement (fünfter und sechster Tag), weil eine Verschiebung keine Kostenminimierung mit sich bringen würde. Der Ladevorgang am Abend nach der letzten Fahrt wird auch hier regelmäßig auf die Stunden nach Mitternacht verschoben.

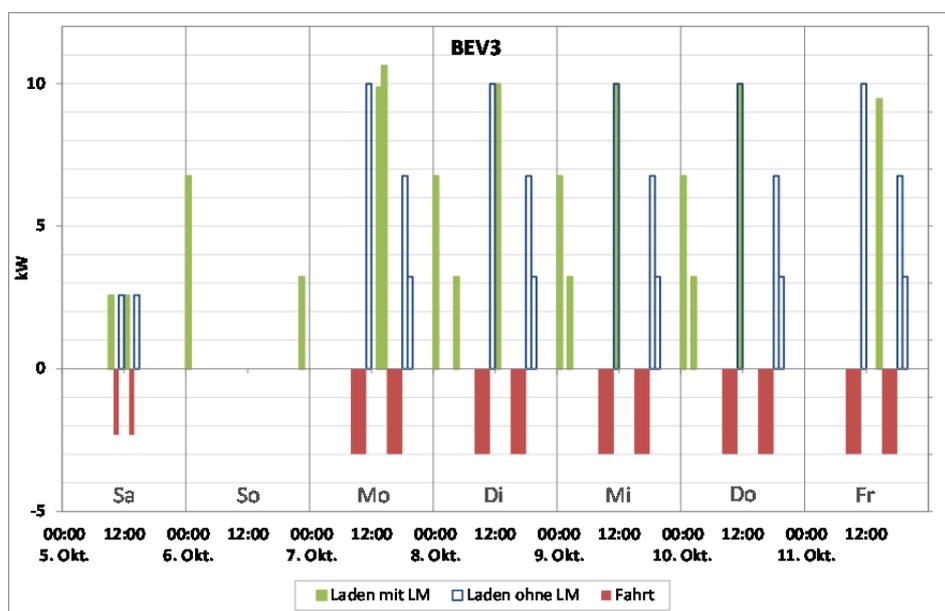


Abbildung 42: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 3“

Ähnliches lässt sich bei dem gewerblichen Nutzer „BEV 5“ beobachten. Er fährt ebenfalls viel, kommt aber erst spät am Tag zurück und fährt auch am Wochenende. Auch hier werden die Ladevorgänge, die tagsüber zwischen den Fahrten stattfinden, teilweise um wenige Stunden verschoben, die abendliche Ladung verlagert sich in den Zeitraum nach Mitternacht. In den Tagen mit erneuerbaren Überschüssen wird mit Lademanagement vermehrt geladen.

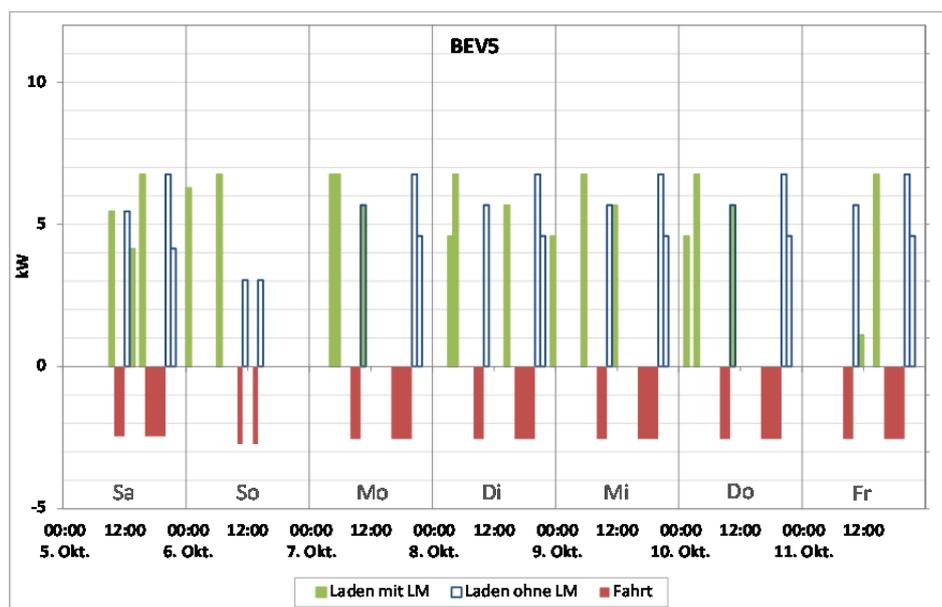


Abbildung 43: Batterieladung mit und ohne Lademanagement, sowie Batterieentladung beim Fahren in einer ausgewählten Woche 2030 für Fahrzeugnutzungsprofil „BEV 5“

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ladezeiträume sich in der Modellierung bei Einsatz des Lademanagements deutlich von den Ladezeiträumen unterscheiden, die der Nutzer mit dem hier unterstellten Verhaltensmuster „Laden direkt nach der Fahrt“ wählen würde. Auffällig ist, dass mit Lademanagement in keinem der vier betrachteten Profile an Werktagen ein Ladevorgang zwischen der letzten Fahrt des Tages und Mitternacht stattfindet. Während mit dem Muster „Laden direkt nach der Fahrt“ in diesem Zeitraum ein Großteil der Stromnachfrage stattfindet, ist der Strompreis in diesem Abendzeitraum für das Kalkül des Lademanagements in der hier betrachteten Woche immer zu hoch. Attraktiv sind dagegen die Nachtstunden zwischen Mitternacht und 4 Uhr morgens.

Falls also in der Realität ein Lademanagement zum Einsatz käme, sollte in diesen Nachtstunden ein Anschluss zur Verfügung stehen. Die Modellierung zeigt, dass auch die Möglichkeit, tagsüber zwischen den Fahrten zu laden, vom Lademanagement genutzt wird, obwohl der Strom tendenziell tagsüber teurer ist als nachts, und obwohl die Ladung rechnerisch nicht immer unbedingt für die nächste Fahrt notwendig ist. Im Rahmen der Gesamtoptimierung ist ein Laden in diesen Slots aber trotzdem sinnvoll.

8.2.3 Brennstoffmix und CO₂-Emissionsfaktoren der zusätzlichen Stromerzeugung

Um zu quantifizieren, welche Änderungen das Hinzukommen der Elektrofahrzeuge in der Stromerzeugung verursacht, wurde für jeden Energieträger die Differenz zwischen einem Szenario mit Elektromobilität und dem Basisszenario ohne Elektromobilität gebildet. In Abbildung 44 und Abbildung 45 ist die gegenüber dem Basisszenario zusätzliche Stromerzeugung in allen vier Elektromobilitätsszenarien (vgl. Abschnitt 8.1.2) jeweils für die betrachteten Szenariojahre 2020 und 2030 dargestellt. Die zugrunde liegenden Daten finden sich in Anhang H.

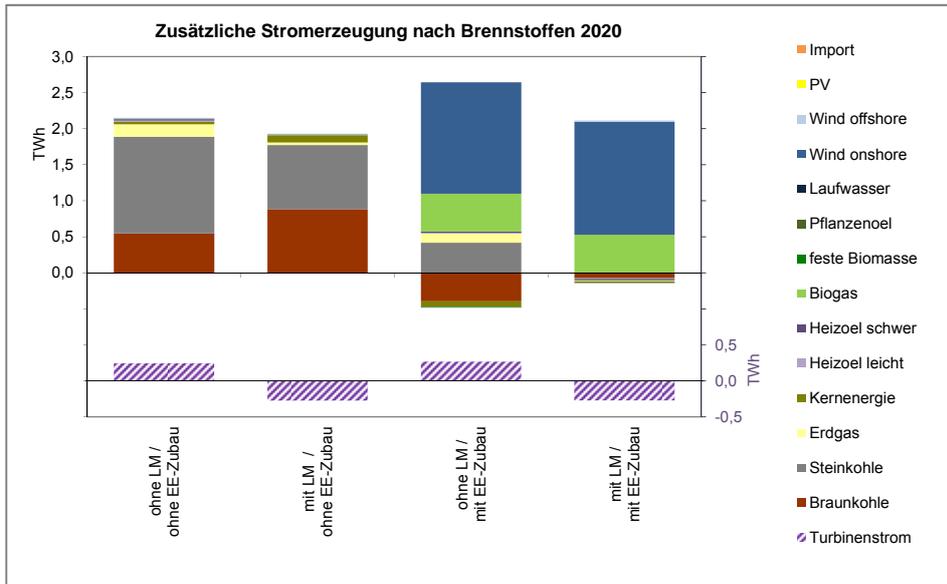


Abbildung 44: Für Elektrofahrzeuge zusätzlich erzeugter Strom nach Brennstoffen für verschiedene Szenarien 2020

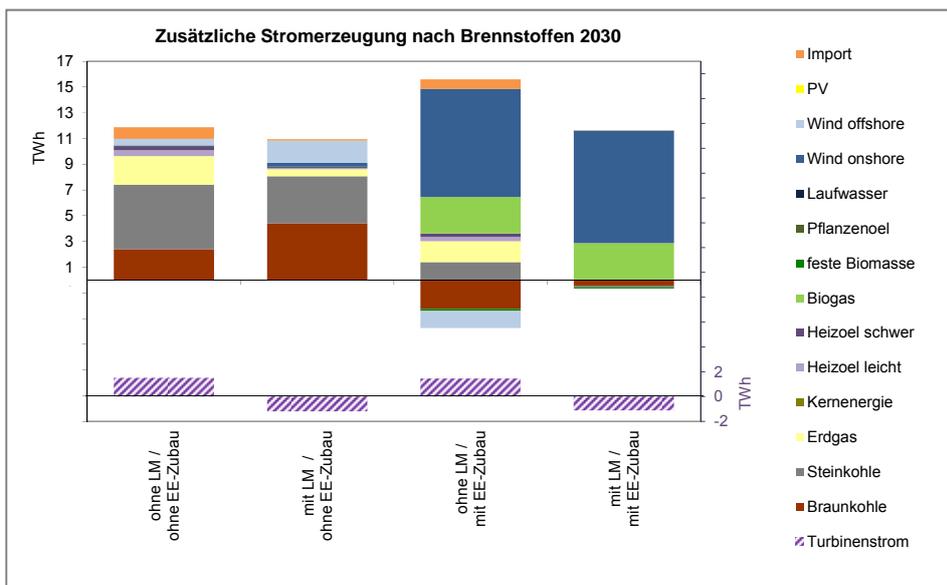


Abbildung 45: Für Elektrofahrzeuge zusätzlich erzeugter Strom nach Brennstoffen für verschiedene Szenarien 2030

In beiden Jahren zeigt der Vergleich der beiden links dargestellten Szenarien „ohne LM / ohne EE-Zubau“ und „mit LM / ohne EE-Zubau“, dass das Lademanagement zu einer Verlagerung von Steinkohle- und Erdgasstrom hin zu Braunkohlestrom führt. Dies ist auch zu erwarten, da eine Kilowattstunde Strom aus Braunkohle kostengünstiger erzeugt werden kann, als eine Kilowattstunde Strom auf Basis von Steinkohle oder dem noch teureren Erdgas. Im Jahr 2030 zeigt der Vergleich zwischen den Szenarien „ohne LM / ohne EE-Zubau“ und „mit LM / ohne EE-Zubau“ ebenfalls eine Steigerung des Stroms aus erneuerbaren Energien in der zusätzlichen Stromerzeugung. Der Anteil steigt im Jahr 2030 durch das Lademanagement

(Szenarien ohne EE-Zubau) von 5 auf 19 % (Abbildung 47). Bei diesen zusätzlich nutzbaren Strommengen aus erneuerbaren Energien handelt es sich um Strom, der bisher überschüssig war, und nun durch das Verschieben der Batterieladung genutzt werden kann.

Auf den Emissionsfaktor wirken die beiden beschriebenen Effekte „mehr Braunkohle“ und „mehr erneuerbarer Strom“ gegenläufig: Die Stromerzeugung aus Braunkohle ist besonders CO₂-intensiv, während die erneuerbaren Energien besonders wenige CO₂-Emissionen verursachen. Insgesamt führt dies dazu, dass der CO₂-Emissionsfaktor des zusätzlich erzeugten „Fahrstroms“ in den Szenarien „ohne LM / ohne EE-Zubau“ und „mit LM / ohne EE-Zubau“ im Jahr 2030 etwa gleich hoch ist (Abbildung 47). Er liegt in beiden Jahren über dem durchschnittlichen Emissionsfaktor der gesamten Stromerzeugung. Der zusätzlich für die Elektromobilität erzeugte Strom ist also besonders CO₂-intensiv.

Für die Szenarien mit zusätzlichen erneuerbaren Energien („ohne LM / mit EE-Zubau“ und „mit LM / mit EE-Zubau“) wird ebenfalls die Differenz zum Basisszenario gebildet. Hier kommen zusammen mit der Elektromobilität auch zusätzliche erneuerbare Energien ins Stromerzeugungssystem. Diese dominieren auch den Brennstoffmix in der Differenzbildung (Abbildung 44 und Abbildung 45). Wie in Abschnitt 8.1.2 dargestellt, entspricht diese zusätzliche erneuerbare Jahresstromproduktion dem jährlichen Verbrauch der Elektrofahrzeuge und stammt zu 75 % aus zusätzlichen Onshore-Windkraftanlagen und zu 25 % aus zusätzlichen Biogas-Anlagen. Diese neue Stromerzeugung verdrängt in der Jahresbilanz im Fall ohne Lademanagement konventionellen Strom, hauptsächlich aus Braunkohle (negativer Wert in Abbildung 44 und Abbildung 45). Im Jahr 2030 wird auch fluktuierende Stromerzeugung gegenüber dem Basisszenario verdrängt. Auf der anderen Seite erfordert das fest vorgegebene Nachfrageprofil der Elektrofahrzeuge in einigen Stunden den zusätzlichen Einsatz von Steinkohle- und Erdgaskraftwerken, wenn diese die nächstgünstigen freien Kapazitäten sind, so dass ihre Produktion gegenüber dem Basisszenario zunimmt.

Dennoch steigt der Anteil der erneuerbaren Energien am zusätzlich erzeugten Fahrstrom im Szenario „ohne LM / mit EE-Zubau“ auf 95 % (2020) bzw. 82 % (2030).

Mit Lademanagement steigt der Anteil erneuerbarer Energien sogar auf über 100 %. Dies liegt daran, dass gegenüber dem Basisszenario durch das Lademanagement einerseits bisher überschüssiger, fluktuierender erneuerbarer Strom integriert werden kann und andererseits zusätzlicher erneuerbarer Strom in Höhe des zusätzlichen Verbrauchs zur Verfügung steht. In diesem Szenario ist die zusätzliche Fahrstromerzeugung für die Elektromobilität also vollständig erneuerbar und verdrängt darüber hinaus in geringem Umfang konventionelle Stromerzeugung. Der Emissionsfaktor des zusätzlichen Stroms, in dem für die erneuerbaren Energien nur die niedrigen Emissionen aus den vorgelagerten Prozessen eingehen, wie zum Beispiel aus dem Anlagenbau, ist in diesem Szenario mit 17 g/kWh (2030) entsprechend niedrig. Im Jahr 2020 sorgt die Verdrängung von konventionellem Strom sogar rechnerisch für einen negativen Emissionsfaktor nahe Null (Abbildung 46 und Abbildung 47).

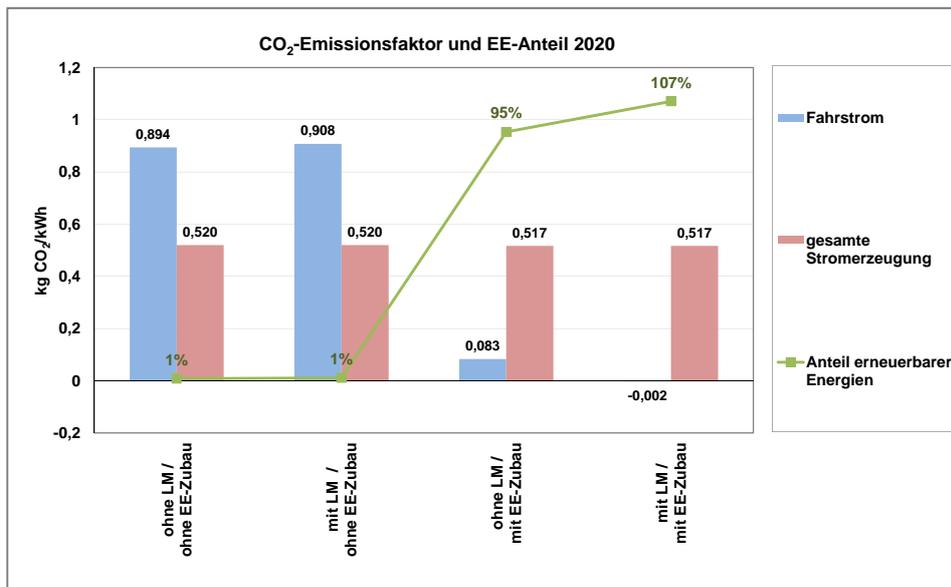


Abbildung 46: CO₂-Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien an der zusätzlichen Stromerzeugung für verschiedene Szenarien 2020

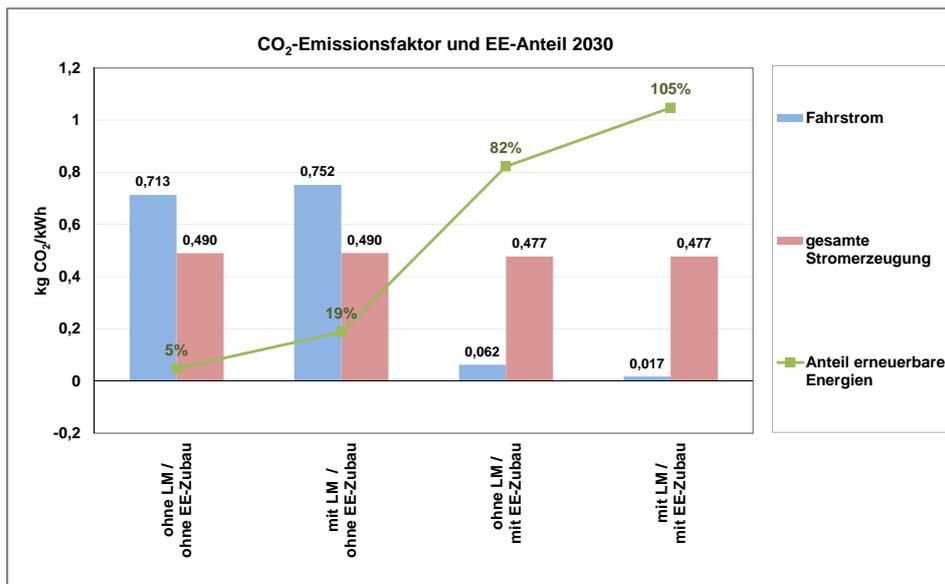


Abbildung 47: CO₂-Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien an der zusätzlichen Stromerzeugung für verschiedene Szenarien 2030

8.3 Zwischenfazit

Die Strommarktmodellierung zeigt, wie Kraftwerkseinsatz und Elektromobilität interagieren. Eine wichtige Rolle dabei spielt das Lademanagement. Wenn die Elektrofahrzeuge ohne Lademanagement mit dem hier unterstellten Muster „Laden direkt nach der Fahrt“ als Verbraucher am Strommarkt auftreten, so verursachen sie, vor allem am Abend, deutliche Nachfragespitzen. Schon aus diesem Grund ist ein Lademanagement sinnvoll. Ein solches

bedeutet allerdings für den Nutzer, dass sich die Ladezeiträume in andere Stunden verschieben, als die, in denen er sonst das Fahrzeug laden würde. Insbesondere in den Stunden zwischen Mitternacht und früh morgens sollte ein Anschluss für die Batterieladung zur Verfügung stehen.

Unabhängig vom Lademanagement ist der zusätzlich erzeugte Strom CO₂-intensiver als die gesamte Stromerzeugung im Durchschnitt. Ein preisoptimiertes Lademanagement, wie es hier modelliert wurde, führt jedoch im Betrachtungsjahr 2030 dazu, dass bisher überschüssiger erneuerbarer Strom teilweise genutzt werden kann. Da jedoch die Fahrzeuge Nutzungsrestriktionen unterliegen, wie zum Beispiel für die nächsten Fahrten einsatzbereit sein zu müssen, kann nur ein kleiner Teil der vorhandenen Überschüsse genutzt werden. Eine vollständig erneuerbare zusätzliche Stromerzeugung für den Bedarf der Elektrofahrzeuge wird nur bei Zubau von erneuerbaren Energieanlagen erreicht, die im Basisszenario ohne Elektromobilität nicht vorhanden wären. In diesem Fall sinkt auch der Emissionsfaktor der zusätzlichen Stromerzeugung auf einen Wert nahe Null.

Umweltentlastungspotenziale von batterieelektrischen Pkw

9.1 Vorgehen

Um die Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen zu quantifizieren, müssen die Analysen zu den Marktpotenzialen und dem Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen mit den Erkenntnissen zu möglichen Effekten auf den Strommarkt zusammengeführt werden.

Im Folgenden wird zwischen der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen auf Fahrzeugebene und einer Gesamtbetrachtung für das Marktszenario batterieelektrischer Pkw unterschieden. Die Vergleichsgrundlage stellen herkömmliche verbrennungsmotorische Pkw bzw. eine Entwicklung des Fahrzeugbestands ohne Elektromobilität im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2030 dar. Für den Vergleich auf Einzelfahrzeugebene werden die Ergebnisse der Strommarktmodellierung genutzt und die Treibhausgasintensität der Strombereitstellung mit der Stromnachfrage entsprechend der erstellten Nutzungsprofile für private und gewerbliche Pkw gekoppelt. Um zu einer Gesamtaussage hinsichtlich der Umweltentlastungspotenziale von Elektromobilität bis zum Jahr 2030 zu gelangen, wird der Vergleich zwischen dem Marktszenario für batterieelektrische Pkw auf Basis der getroffenen Annahmen und einem Referenzfall ohne Elektrofahrzeuge angestellt.

Die Treibhausgasbilanz umfasst jeweils sowohl die direkten als auch die indirekten Emissionen (Well-to-Wheel-Ansatz), da bei Elektrofahrzeugen Emissionen ausschließlich bei der Stromerzeugung und Brennstoffbereitstellung entstehen, der Fahrzeugbetrieb hingegen emissionsfrei erfolgt, wäre eine Beschränkung auf den Vergleich der direkten Emissionen nicht aussagekräftig. Ferner sind in allen hier präsentierten Bilanzen der Anlagenbau sowie die Anlagenentsorgung für die Kraftstoff- bzw. Stromherstellung mit in der Bilanzierung berücksichtigt. Wie in Kapitel 8 ausführlich diskutiert, beziehen sich die ermittelten Emissionsfaktoren der, durch Elektromobilität generierten, Stromnachfrage jeweils auf die CO₂-Intensität dieser zusätzlich erzeugten Strommenge. Damit werden alle Emissionen durch die zusätzliche Stromnachfrage dem Einsatz von Elektrofahrzeugen zugesprochen. Alternativ könnte eine CO₂-Bilanz theoretisch auch mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktor der Gesamtstromerzeugung berechnet werden. In diesem Fall würde die Stromnachfrage der Elektrofahrzeuge genauso wie andere Stromverbraucher behandelt werden. Zur Bewertung des möglichen Umweltnutzens wird allerdings die zuerst angesprochene Variante verwendet, um explizit die Auswirkungen des Einsatzes von Elektrofahrzeugen durch die **zusätzliche** Stromnachfrage aufzuzeigen.

Mögliche Wechselwirkungen mit regulatorischen Rahmenbedingungen werden bei der Bilanzierung zunächst nicht berücksichtigt. Im Rahmen des europäischen CO₂-Zertifikatehandels sind die CO₂-Emissionen europaweit bis ins Jahr 2020 begrenzt. Auch für die Jahre nach 2020 ist mit einer Weiterführung des Zertifikatehandels zu rechnen. Die Verschiebung von Emissionen aus dem Verkehrssektor in den Stromsektor führt zumindest bis 2020 zu verstärkten Emissionseinsparungen in anderen Sektoren, die mit in den europäischen Emissionsrechtehandel involviert sind. Auch hier wird darauf verwiesen, dass durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen zunächst technisch zusätzliche Emissionen entstehen, eine ausführliche Diskussion über die Interaktion mit regulatorischen Rahmenbedingungen erfolgt separat in Kapitel 10.

9.2 Treibhausgasbilanz auf Fahrzeugebene

Die Treibhausgasbilanzierung auf Fahrzeugebene veranschaulicht die CO₂-Minderung, die durch den Einsatz eines batterieelektrischen Fahrzeugs anstelle eines herkömmlichen verbrennungsmotorischen Pkw realisiert werden kann. Die Betrachtung für die Jahre 2020 und 2030 berücksichtigt – ausgehend von heutigen Elektrofahrzeugen – eine weitere Minderung des spezifischen Energieverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen. Auch für konventionelle Vergleichsfahrzeuge wird gegenüber 2010 eine durchschnittliche Kraftstoffverbrauchs-minderung von 28 % bis 2020 und 36 % bis 2030 unterstellt, welche sich an den Vorgaben des EU-Flottengrenzwerts für Pkw-Neuzulassungen gemäß der Annahmen in TREMOD orientiert [24]. Da der Energieverbrauch von Pkw im Alltagsbetrieb in der Regel über den Verbrauchsangaben nach dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) liegt, wird ein Realverbrauchsaufschlag von 10 % für alle Fahrzeugtypen pauschal unterstellt.

Bei der Simulation der Treibhausgasemissionen für Elektrofahrzeuge wird zwischen zwei Ladestrategien (ohne und mit Lademanagement) und zwei Varianten des Kraftwerksparks (ohne und mit Ausbau zusätzlicher Erneuerbare-Energien-Anlagen) unterschieden. Die in Tabelle 9 dokumentierten Emissionsfaktoren der vier möglichen Kombinationen für die Jahre 2020 und 2030 sind das Ergebnis der Strommarktmodellierung (Kapitel 8). Ferner liegt den Betrachtungen die Annahme zu Grunde, dass Fahrzeuge mit Zugang zu einer Ladestation auch tagsüber von dieser Gebrauch machen. Ein entsprechendes Ladeverhalten wurde auch im Flottenversuch „E-Mobility Berlin“ vorwiegend beobachtet (Abschnitt 5.1.2).

Tabelle 9: Emissionsfaktoren der für Elektromobilität erzeugten Strommenge im Jahr 2020 und 2030. Ergebnis der Strommarktmodellierung (PowerFlex)

Jahr	2020				2030			
	ohne zusätzl. EE-Anlagen		mit zusätzl. EE-Anlagen		ohne zusätzl. EE-Anlagen		mit zusätzl. EE-Anlagen	
Lade-management	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Emissionsfaktor [g CO ₂ /kWh]	894	908	83	0	713	752	62	17

Das Beispiel eines Fahrzeugs des KBA-Segments „klein“ in Abbildung 48 veranschaulicht die Emissionssituation von Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 für unterschiedliche Optionen der Strombereitstellung und im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug mit Otto-Motor derselben Größenklasse. Zu beachten ist, dass sich der jeweilige Emissionsfaktor auf die zusätzlich bereitgestellte Strommenge bezieht und nicht die durchschnittliche CO₂-Intensität der gesamten Stromerzeugung abbildet. Der Realverbrauch der dargestellten Fahrzeuge beträgt 4,4 l/100 km Benzin im Falle des konventionellen Pkw und 16 kWh/100 km Strom beim Elektrofahrzeug.

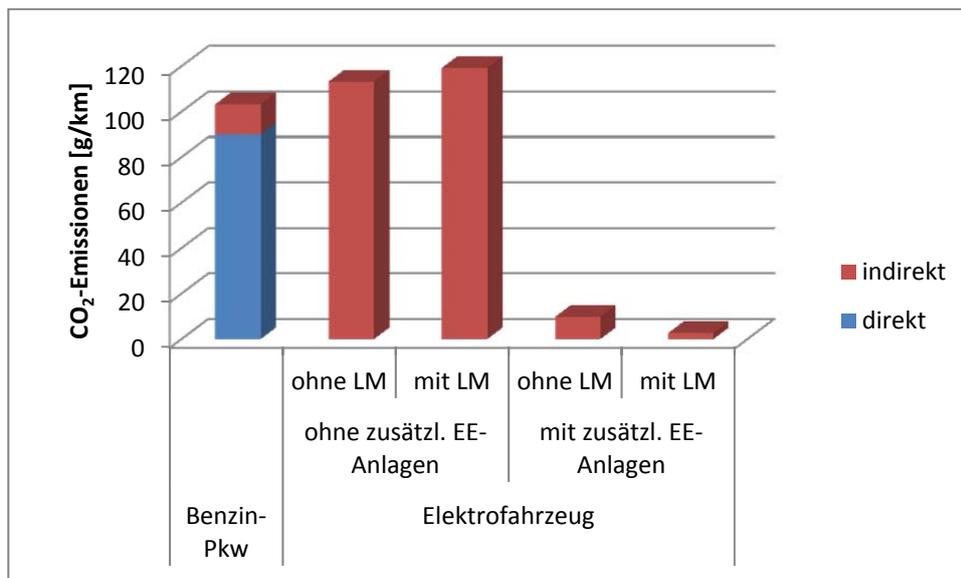


Abbildung 48: Treibhausgasbilanz 2030 - Vergleich der spezifischen CO₂-Emissionen eines konventionellen Benzinfahrzeugs des KBA-Segments „klein“ mit einem batterieelektrischen Fahrzeugpendant. Betrachtung eines Szenarios mit und ohne zusätzlichen Ausbau erneuerbarer Energien (EE), sowie mit und ohne Lademanagement (LM)

Wie die Analysen zeigen, kann ein Elektrofahrzeug im Jahr 2030 im Falle eines zusätzlichen Ausbaus von erneuerbaren Energien eine Minderung der spezifischen Emissionen von 90 % bis 97 % im Vergleich zu einem konventionellen Pkw erreichen. Bei unverändertem Kraftwerkspark ergeben sich andererseits durch den Einsatz besonders CO₂-intensiver Kraftwerke jedoch spezifische Emissionen, die 10 % bis 16 % über denen eines vergleichbaren Benzin-Pkw liegen.

Tabelle 10: Überblick der WtW-Treibhausgasbilanz [g CO₂/km] von konventionellen und batterieelektrischen Pkw für unterschiedliche Stromerzeugungsoptionen

Jahr	2020					2030				
	Benzin-Pkw	ohne zusätzl. EE-Anlagen		mit zusätzl. EE-Anlagen		Benzin-Pkw	ohne zusätzl. EE-Anlagen		mit zusätzl. EE-Anlagen	
		ohne	mit	ohne	mit		ohne	mit	ohne	mit
mini	108	137	139	13	0	95	100	106	9	2
klein	118	153	155	14	0	103	113	119	10	3
kompakt	144	186	189	17	0	126	139	147	12	3

Ein ähnliches Bild zeigt sich für die Emissionssituation in den Fahrzeugsegmenten „mini“ und „kompakt“ (Tabelle 10). Im Jahr 2020 führen der technologisch ältere Kraftwerkspark und die tendenzielle höheren Emissionen, die bei der Erzeugung des Strombedarfs von Elektromobilität entstehen, ohne zusätzlichen Ausbau von erneuerbaren Energien sogar zu einem um bis zu 50 % höheren Emissionsniveau von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu

verbrennungsmotorischen Fahrzeugpendants, während im Falle eines Zubaus zusätzlicher Erneuerbare-Energien-Anlagen die Gesamtbilanz ein ähnliches Emissionsniveau wie 2030 erreicht wird.

Die im vorangegangenen Abschnitt diskutierten kilometerspezifischen Emissionen von Elektrofahrzeugen lassen erst in Kopplung mit Annahmen zur Fahrleistung Rückschlüsse auf das absolute Emissionsniveau zu. Der tatsächliche CO₂-Minderungseffekt kann daher nur unter Berücksichtigung des jeweiligen Nutzungsprofils quantifiziert werden. Wie bereits in Kapitel 7 diskutiert, zeichnen sich für Elektromobilität geeignete Einsatzmuster tendenziell durch eine unterdurchschnittliche Jahresfahrleistung und große Unterschiede zwischen Privat-Pkw und gewerblichen Flottenfahrzeugen aus.

Am Beispiel eines batterieelektrischen Pkw des KBA-Segments „klein“ und für den Fall eines zusätzlichen Ausbaus der erneuerbaren Energien ist der Effekt der unterschiedlichen durchschnittlichen Jahresfahrleistung im privaten und gewerblichen Bereich für das Jahr 2030 veranschaulicht.

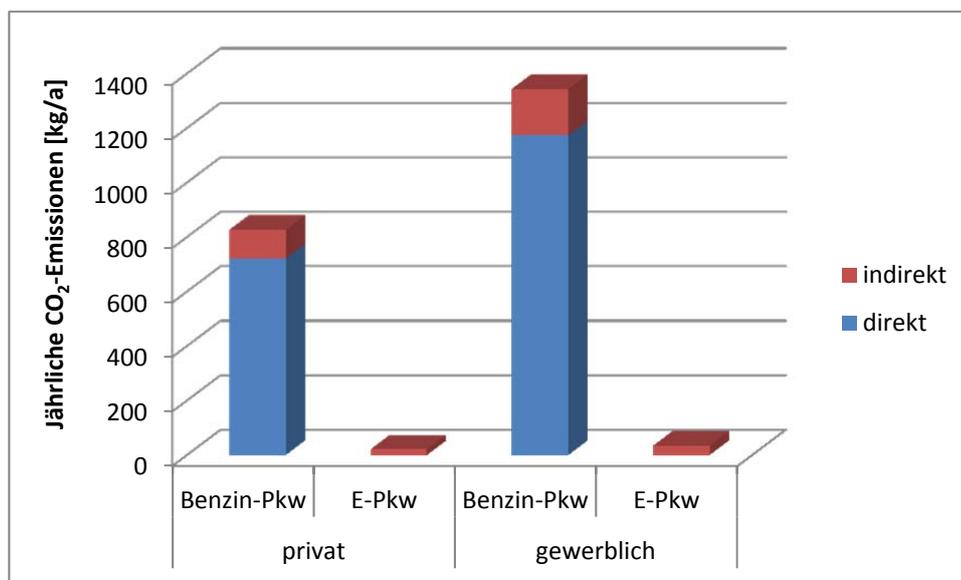


Abbildung 49: Vergleich der jährlichen CO₂-Emissionen von konventionellen und batterieelektrischen Pkw im privaten und gewerblichen Bereich im Jahr 2030. (Emissionsfaktor der Stromerzeugung bei zusätzlichem Ausbau erneuerbarer Energien und bei Lastmanagement)

Während im privaten Bereich Fahrzeuge mit einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung von etwa 8.000 km durch batterieelektrische Pkw substituiert werden können, liegt die Fahrleistung der im gewerblichen Bereich geeigneten Fahrzeuge mit 13.000 km um mehr als 60 % höher. Ein verbrennungsmotorischer Privat-Pkw verursacht unter diesen Rahmenbedingungen etwa 820 kg CO₂-Emissionen im Jahr, aus der höheren Fahrleistung des gewerblichen Pkw ergibt sich ein Emissionsjahressaldo von etwa 1.340 kg CO₂. Angesichts der nahezu emissionsfreien Energiebereitstellung unter der Maßgabe eines Zubaus zusätzlicher Erneuerbare-Energien-Anlagen folgt daraus für die absoluten CO₂-Emissionen eine im Vergleich zu Privat-Pkw um über 60 % höhere Minderung bei gewerblichen Fahrzeugen.

9.3 Gesamtbilanz für den Pkw-Bestand

Für die Betrachtung der Effekte von Elektromobilität auf den gesamten Fahrzeugbestand und die Quantifizierung der daraus resultierenden Veränderungen der Emissionsbilanz, wurde ein Pkw-Bestandsmodell entwickelt. Dieses simuliert den bundesdeutschen Pkw-Bestand bis zum Jahr 2030 unter Berücksichtigung von drei Größenklassen (klein, mittel, groß) und drei verschiedenen Antriebstypen (konventionelle Pkw mit Otto- und Dieselmotor sowie batterieelektrische Fahrzeuge). Das Modell simuliert über die jährlichen Pkw-Neuzulassungen die dynamische Entwicklung des Fahrzeugbestands.

Die Referenzentwicklung ohne Elektromobilität orientiert sich hinsichtlich der Effizienzentwicklung der Fahrzeugneuzulassungen, sowie der Entwicklung von Fahrleistung und absolutem Fahrzeugbestand bis zum Jahr 2030 an TREMOD [24] und der Verkehrsprognose 2025 [25]. Das Marktszenario für batterieelektrische Pkw wird durch das Bestandsmodell simuliert, in dem batterieelektrische Pkws konventionelle Fahrzeuge und deren Fahrleistung im Bestand substituieren. Die Bestandsmodellierung quantifiziert die Gesamtfahrleistung und den Energiebedarf von batterieelektrischen Fahrzeugen und ermöglicht – in Kopplung mit den Emissionsfaktoren der Strombereitstellung – Rückschlüsse auf die Emissionsbilanz von Elektrofahrzeugen im Gesamtkontext des Pkw-Bestands in Deutschland.

Grundlage für die Simulation der Effekte von Elektromobilität auf den Gesamtfahrzeugbestand sind die Entwicklung der Anzahl an batterieelektrischen Pkw im privaten und gewerblichen Sektor (Kapitel 6) sowie die assoziierten Fahrzeugeinsatzprofile (Kapitel 7). Gemäß dem Marktszenario für batterieelektrische Pkw befinden sich bis 2020 etwa 77.000 und bis 2030 etwa 923.000 Elektrofahrzeuge im Bestand. Der Großteil der Fahrzeuge kommt im privaten Bereich zum Einsatz. Wie aus den Analysen auch hervorgeht, liegt die Jahresfahrleistung von batterieelektrischen Pkw deutlich unter dem Durchschnitt des jeweiligen Fahrzeugsegments. Grundsätzlich zeichnen sich gewerbliche Elektrofahrzeuge im Vergleich zu privat zugelassenen Pkw durch eine um etwa 60 % höhere Fahrleistung aus.

Unter diesen Rahmenbedingungen ergibt sich für den Bestand an batterieelektrischen Pkw eine Gesamtfahrleistung im Jahr 2020 von etwa 620 Millionen und im Jahr 2030 von über 8 Milliarden Kilometern. Dies entspricht bezogen auf die Gesamtfahrleistung aller Pkw in Deutschland 0,1 % (2020) bzw. 1,2 % (2030). Der Anteil an der Gesamtfahrleistung von batterieelektrischen Pkw ist – auf Grund der geringeren Jahresfahrleistung je Fahrzeug – damit geringer als ihr Anteil am Fahrzeugbestand. Im Jahr 2020 dominieren Privat-Pkw mit 95 % die elektrisch erbrachte Fahrleistung. Von 2020 bis 2030 steigt der Anteil der gewerblichen Flottenfahrzeuge an der elektrischen Fahrleistung von zunächst 5 % auf über 20%.

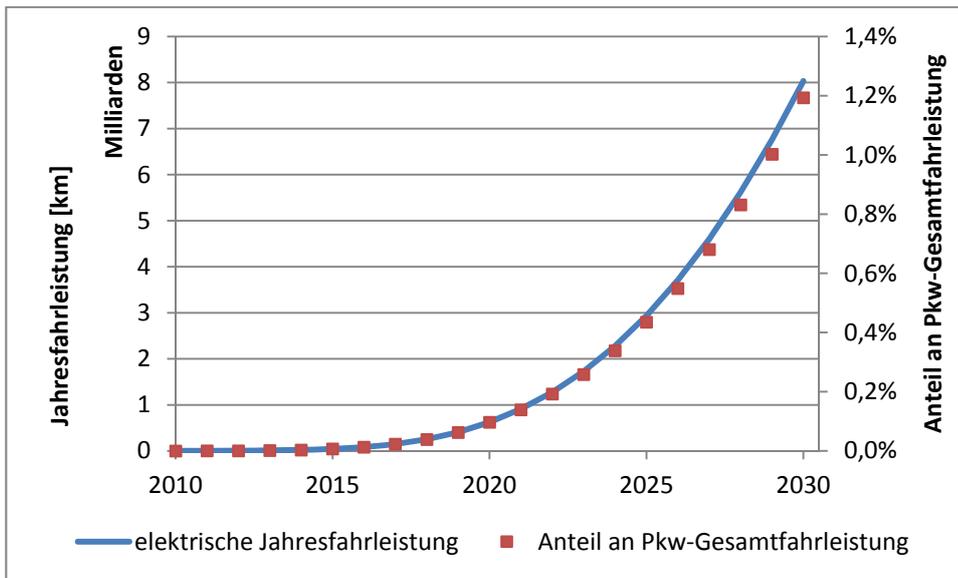


Abbildung 50: Entwicklung der elektrischen Jahresfahrleistung und Anteil an der Pkw-Gesamtfahrleistung in Deutschland

Im Pkw-Bestand entsteht durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen eine zusätzliche Stromnachfrage von etwa 0,1 TWh (2020) bzw. etwa 1,4 TWh (2030). Gleichzeitig wird durch die Substitution von herkömmlichen Pkw der mineralölbasierte Energieeinsatz und die damit verbundenen CO₂-Emissionen verringert. In Abhängigkeit von der jeweiligen Strombereitstellung für Elektromobilität ergeben sich unterschiedliche Nettoemissionseffekte.

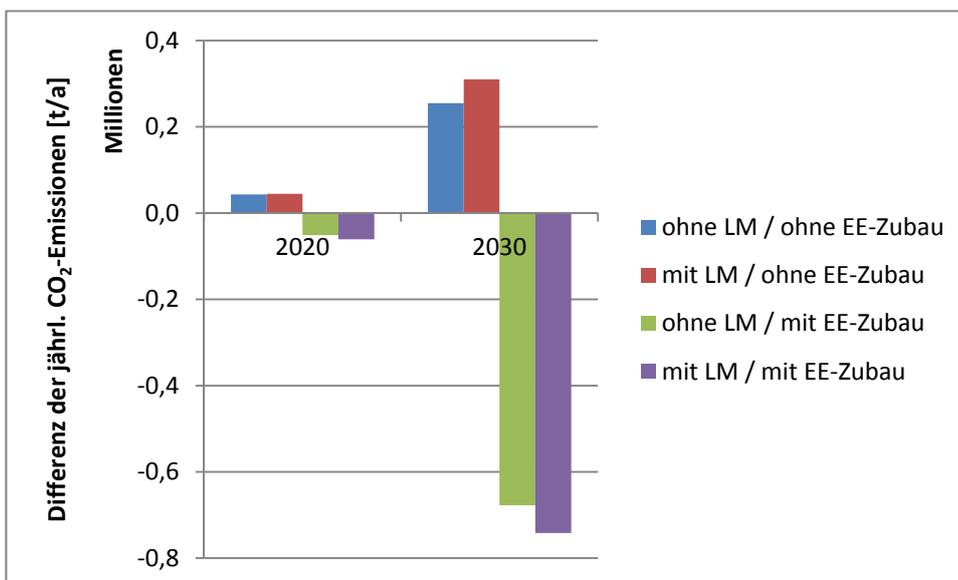


Abbildung 51: Effekt des Marktszenarios für batterieelektrische Pkw auf die CO₂-Bilanz des Pkw-Bestands unter Berücksichtigung von Lademanagement (LM) und dem zusätzlichen Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Zubau)

Wie in Abbildung 51 veranschaulicht können im Optimalfall – bei Lademanagement und einem zusätzlichen Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Jahr 2020 etwa 70.000 Tonnen und im Jahr 2030 über 740.000 Tonnen CO₂ durch reine batterieelektrische Pkw vermieden werden. Im Falle, dass für den zusätzlichen Strombedarf keine zusätzlichen Kapazitäten für regenerative Stromerzeugung gebaut werden und Lademanagement nicht zum Einsatz kommt, steigen die Emissionen im Vergleich zu einer Entwicklung ohne batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 um mehr als 300.000 Tonnen CO₂ an.

Für den dargestellten Optimalfall bedeutet dies, dass knapp eine Million batterieelektrische Pkw im Jahr 2030 die Gesamtemissionen des Pkw-Bestands um etwa 0,9 % verringern würden. In den für batterieelektrische Pkw geeigneten KBA-Segmenten mini bis kompakt würden sich damit die Emissionen um etwa 1,5 % reduzieren.

9.4 Zwischenfazit

Es konnte gezeigt werden, dass eine deutliche CO₂-Minderung durch den Einsatz von batterieelektrischen Pkw nur bei einem zusätzlichen Ausbau von Erneuerbaren-Energien-Anlagen auftritt. Diese liegt dann bei bis zu 740 000 Tonnen im Jahr 2030. Bezogen auf Einzelfahrzeug hat sich gezeigt, dass gewerbliche Pkw aufgrund der deutlich höheren Fahrleistung ein höheres Minderungspotenzial haben als private.

Für die absolute Emissionsminderung sind vor allem drei Faktoren entscheidend: die spezifischen Emissionen, die Fahrleistung und die Anzahl der substituierten Fahrzeugen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden alle Aspekte berücksichtigt. Und es hat sich gezeigt, dass der Einsatz reiner batterieelektrischer Pkw aufgrund der geringen elektrische Fahrleistung bezogen auf die Pkw-Gesamtfahrleistung (1,2 % im Jahr 2030) sowie auf Grund der Substitution von effizienten konventionellen Fahrzeugen selbst bei fast emissionsfreier Strombereitstellung durch erneuerbare Energien im Jahr 2030 nur zu einer Emissionsminderung um knapp 1 % im Pkw-Bestand führt.

Das regulatorische Umfeld von Elektromobilität

10.1 Hintergrund

In Kapitel 8 und 9 wurde ausführlich beschrieben, welchen Einfluss die zusätzliche Stromnachfrage auf den Kraftwerksparkinsatz haben kann und welche zusätzlichen CO₂-Emissionen dadurch im Gesamtsystem Elektromobilität entstehen. Aber nicht nur die tatsächlichen Wechselwirkungen sind ausschlaggebend für die Gesamtbilanz, sondern auch das regulatorische Umfeld, in dem sich die Elektromobilität befindet, kann einen wesentlichen Einfluss auf den Beitrag von Elektrofahrzeugen zum Klimaschutz haben.

Mit dem Beschluss des Energie- und Klimapakets im Dezember 2008 haben sich die EU und die Mitgliedsstaaten verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen um 20 % bis 2020 im Vergleich zum Jahr 1990 zu verringern. Das Energie- und Klimapaket der EU besteht aus einer Reihe von Rechtsakten, die gemeinsam beschlossen wurden:

- » Die Emissionshandelsrichtlinie [26] stellt sicher, dass die Emissionen aus der energieintensiven Industrie und der Stromerzeugung um 21 % bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 2005 reduziert werden.
- » Die Effort-Sharing-Entscheidung [27] legt absolute Emissionsminderungsziele für die einzelnen Mitgliedsstaaten für die nicht vom Emissionshandel erfassten Bereiche fest. Im Durchschnitt sollen die Emissionen im Nicht-Emissionshandelssektor in der EU zwischen 2005 und 2020 um 10 % sinken. In Deutschland beträgt das Reduktionsziel 14%.
- » In der EU-Richtlinie zur Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (EU-Richtlinie 2009/28/EG, im Folgenden Erneuerbare-Energien-Richtlinie) [28] wird ein Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch von 20 % im Jahr 2020 festgelegt.

Die Aufteilung der Emissionsminderung zwischen dem Emissionshandelssektor und den übrigen Sektoren wurde unter Berücksichtigung des Zieles für erneuerbare Energien so festgelegt, dass die Klimaschutzziele in der EU kostenoptimal erreicht werden können (siehe Abschnitt 10.2.2). Dies bedeutet, dass ökonomische Modelle eingesetzt wurden, um zu berechnen bei welcher Höhe des Caps sich die CO₂-Vermeidungskosten im Emissionshandelssektor und den übrigen Sektoren angleichen [29].

Sowohl die Emissionshandelsrichtlinie als auch die Effort-Sharing-Entscheidung enthalten einen Mechanismus zur Anpassung (Verschärfung) der Ziele, sofern sich die EU international zu einem anspruchsvolleren Ziel als dem 20 %-Ziel verpflichtet.

Vielfach wird zur Begründung der Umweltfreundlichkeit von Elektromobilität davon ausgegangen, dass die zusätzlich benötigte Stromerzeugung auf Basis zusätzlicher erneuerbarer Energien stattfindet und damit auch keine zusätzlichen CO₂-Emissionen produziert werden. Erst hierdurch entsteht eine Umweltentlastungswirkung durch den zukünftigen Ausbau der Elektromobilität. Dies wurde in Kapitel 8 ausführlich beschrieben. In Anbetracht der derzeit gültigen Rahmenbedingungen ist jedoch nicht unbedingt sichergestellt, inwiefern eine entsprechend ausgestaltete Elektromobilität zum Klimaschutz beiträgt.

10.1.1 Rolle der Elektromobilität

Bei der Elektromobilität handelt es sich um ein Schnittstellenthema, das eine Vielzahl unterschiedlicher energierelevanter Politikbereiche berührt, welche häufig unabhängig voneinander reguliert werden. Für die Ausgestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen stellt dies eine Herausforderung dar, da sich beispielsweise bei der Elektromobilität die nach Top-Down-Ansätzen ausgestalteten Mengenregulierungen für die Stromerzeugung (Emissionshandel und Förderung erneuerbaren Energien) mit den eher am Nutzer ansetzenden Bottom-Up-Ansätzen des Verkehrssektors (z.B. CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw) überschneiden.

Dies ist insbesondere deshalb relevant, weil sich ein Großteil der monetären Anreize für die Elektromobilität aus verkehrssektorspezifischen Regulierungen ergeben (z.B. CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw, Energiesteuer, Kfz-Steuer), die Entwicklung der Elektromobilität jedoch Implikationen vor allem im Stromsektor hat. Aus diesem Grund ist für die ökologische Integrität notwendig, dass mittelfristig bei einer zunehmenden Bedeutung der Elektromobilität die Regulierungen im Stromsektor sowie sektorübergreifende Instrumente so ausgestaltet sind, dass die zusätzlich benötigte Stromerzeugung nicht aus zusätzlichen konventionellen Kraftwerken stammt und die Emissionen insgesamt sinken.

Vor diesem Hintergrund werden in diesem Kapitel die einzelnen relevanten regulatorischen Rahmenbedingungen beschrieben, ihr Bezug zur Elektromobilität dargestellt und eine Bewertung in Bezug auf die ökologische Integrität durchgeführt. Insbesondere sollen dabei die folgenden Fragen beantwortet werden:

- » Welchen Einfluss hat ein Ausbau der Elektromobilität unter den jeweiligen Regularien auf die emittierten CO₂-Emissionen sowie auf den Ausbau der erneuerbaren Energien innerhalb des Verkehrssektors sowie insgesamt?
- » Inwiefern haben die unterschiedlichen regulatorischen Rahmenbedingungen einen Einfluss auf die Nutzung der Elektromobilität und dienen somit als Anreiz für Elektromobilität?
- » Wie kann der regulatorische Rahmen ausgestaltet werden, damit der Ausbau der Elektromobilität mit zusätzlicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie mit CO₂-Minderungen einhergeht?

Abschließend werden jeweils mögliche bzw. notwendige Maßnahmen dargestellt, um den Umweltnutzen von Elektrofahrzeugen sicherzustellen. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den allgemeinen regulatorischen Rahmenbedingungen. Die Optimierung des operativen Betriebs z.B. durch intelligentes Lademanagement hat keinen direkten Effekt auf die Höhe von EE-Ausbau und Emissionsminderungen, sondern führt vielmehr zu einer besseren und kostengünstigeren Integration der EE-Erzeugung in das Gesamtsystem. Zu weiteren Analysen sei auch auf die Strommarktmodellierung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens (Kapitel 8) verwiesen.

Die Rolle des einzelnen Verbrauchers insbesondere durch Wahlmöglichkeiten des Strombezugs für sein Elektrofahrzeug wird nicht vertieft behandelt. Jedoch soll grundsätzlich dargestellt werden, welche unterschiedlichen Effekte hinsichtlich ihrer ökologischen

Zusätzlichkeit unterschiedliche Strombezugsoptionen haben, und wie dies durch unterschiedliche regulatorische Rahmenbedingungen beeinflusst wird (Abschnitt 10.1.2).

In Abschnitt 10.2 werden die relevanten Gesetze und Richtlinien vorgestellt, die von der Elektromobilität berührt werden. Neben einer Beschreibung der regulatorischen Rahmenbedingung wird jeweils der Bezug zur Elektromobilität dargestellt und darauf aufbauend eine Bewertung durchgeführt, wie sich diese Wechselwirkung auf die Treibhausgasemissionen auswirkt. Abschnitt 10.3 enthält die Schlussfolgerungen.

10.1.2 Die Frage der ökologischen Zusätzlichkeit

Unter ökologischer Zusätzlichkeit versteht man den ökologisch positiven Effekt einer Maßnahme oder eines Instruments im Vergleich zu einer Referenzentwicklung, wie sie sich ohne diese Maßnahme oder dieses Instrument einstellen würde. Im Rahmen dieser Analyse fokussiert sich die Betrachtung auf die ökologisch relevanten Parameter CO₂-Emissionen sowie den Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Referenzentwicklung kann insbesondere durch politische und rechtliche Zielvorgaben vorgegeben sein. Dabei kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die gesetzten Ziele durch Maßnahmen des Gesetzgebers und der weiteren betroffenen Akteure in jedem Fall erreicht werden.³³ Dementsprechend ist in diesem Fall die Unterscheidung sinnvoll, ob Elektromobilität diese Ziele entkräftet (z.B. durch Verlagerungseffekte in nicht regulierte Bereiche), einen Beitrag zum Erreichen dieser ohnehin gesetzten Ziele leistet („weiche Zusätzlichkeit“) oder sogar einen Beitrag dazu leisten kann, diese Ziele überzuerfüllen und damit einen ökologischen Zusatznutzen zu generieren („harte Zusätzlichkeit“).

Häufig wirken politische Ziele gleichzeitig als faktisches Cap, da z.B. öffentliche Fördermaßnahmen aus Kostengründen in der Regel so definiert werden, dass die Ziele möglichst genau erreicht werden. Zusätzliche Anstrengungen eines Akteurs oder eines von der Zielvorgabe betroffenen Teilbereiches führen dazu, dass bei gleichbleibendem Gesamtziel kein zusätzlicher ökologischer Nutzen erzielt wird, sondern lediglich die sonstigen verpflichteten Teilbereiche in ihren notwendigen Maßnahmen entlastet werden. Man kann hier also argumentieren, dass eine solche „weiche“ Zusätzlichkeit aus ökologischer Sicht nutzlos ist. Nichtsdestotrotz kann ein starkes Engagement aller beteiligten Akteure in spezifischen Bereichen dennoch gefordert werden. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn die Zielvorgaben so ambitioniert sind, dass die Zielvorgabe nicht allein durch die weiteren verpflichteten Bereiche oder Akteure oder zumindest nicht zu vergleichbaren Kosten erreicht werden kann. Als Kosten können dabei nicht nur unmittelbare monetäre Kosten betrachtet werden, sondern auch sonstige politisch und gesellschaftlich relevante Aspekte, z.B. Arbeitsplatzeffekte, sonstige ökologische Aspekte (z.B. Humantoxizität), allgemeine Ressourceneffizienz oder langfristige Technologieentwicklung.

Bei einer harten Zusätzlichkeit hingegen führen verstärkte Anstrengungen in einem Segment auch tatsächlich zu einem zusätzlichen ökologischen Nutzen gegenüber dem Business-as-usual-Szenario. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der entsprechende Bereich keinen mengensteuernden Instrumenten unterliegt. Der Begriff der ökologischen Zusätzlichkeit ist schematisch in Abbildung 52 am Beispiel der EE-Erzeugung dargestellt.

³³ Dies gilt bspw. dann, wenn der Gesetzgeber durch völkerrechtlich verbindliche Abkommen dazu verpflichtet ist, gewisse Ziele z.B. zum EE-Ausbau zu erreichen und daher deren Erfüllung sicherstellen muss.

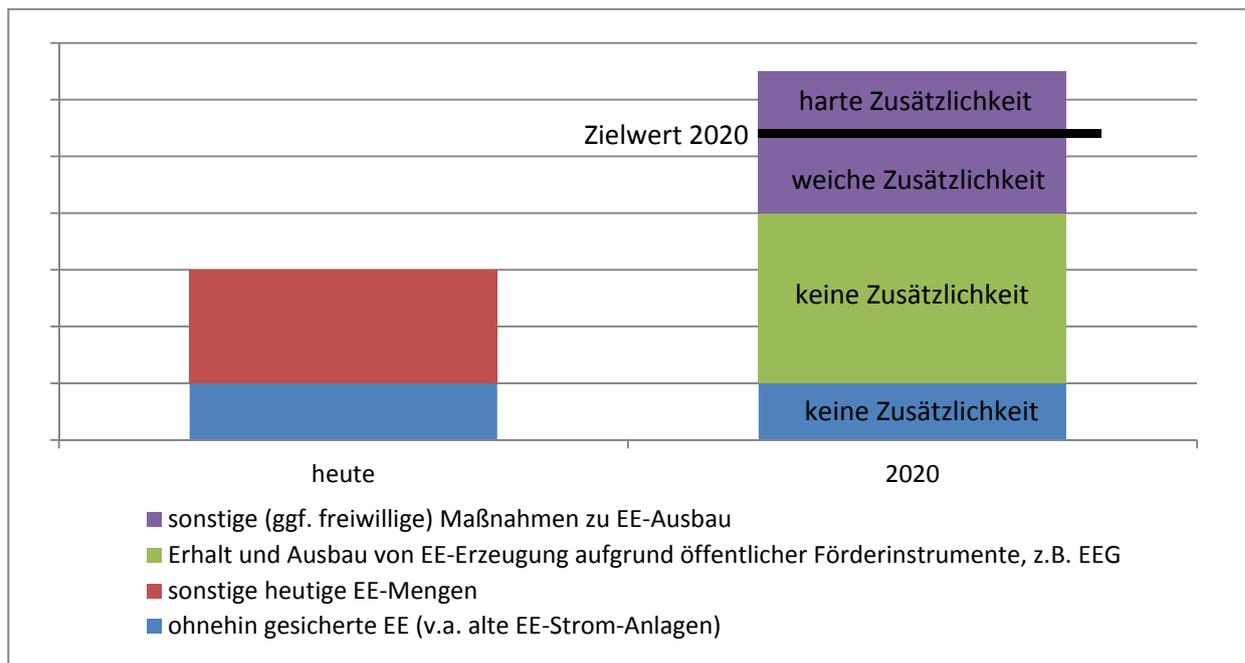


Abbildung 52: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Formen der ökologischen Zusätzlichkeit am Beispiel der EE-Erzeugung.

10.2 Relevante regulatorische Rahmenbedingungen

10.2.1 Energie- und Stromsteuergesetz

Beschreibung des Instruments

Energie- und Stromsteuer sind bundesgesetzlich geregelte Verbrauchsteuern auf Energieerzeugnisse bzw. elektrischen Strom.

Das Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 hat das bis dahin geltende Mineralölsteuergesetz abgelöst [30]. Mit der Energiesteuer wird nur der Verbrauch von Energieerzeugnissen als Kraft- oder Heizstoff belastet. Energieerzeugnisse sind insbesondere Benzin, Dieselmotortreibstoff, leichtes und schweres Heizöl, Flüssiggas, Erdgas und Kohle sowie bei einer Bestimmung als Kraft- oder Heizstoff auch Biodiesel und Pflanzenöl. Kraftstoffe stellen die größte und für das Steueraufkommen bedeutendste Gruppe der steuerpflichtigen Energieerzeugnisse dar. Die Steuersätze betragen beispielsweise für

- » unverbleites Benzin mit einem Schwefelgehalt von höchstens 10 mg/kg: 654,50 €/1.000 Liter
- » Dieselmotortreibstoff mit einem Schwefelgehalt von höchstens 10 mg/kg: 470,40 €/1.000 Liter
- » Flüssiggas bis 31. Dezember 2018: 180,32 €/1.000 kg und für
- » Erdgas bis 31. Dezember 2018: 13,90 €/MWh

Am 1. Januar 2003 ist die fünfte Stufe der ökologischen Steuerreform in Kraft getreten. Mit dem Mehraufkommen stehen dem Bundeshaushalt Mittel zur Verfügung, um durch eine Senkung und Stabilisierung der Rentenversicherungsbeiträge den Faktor Arbeit zu entlasten.

Die Stromsteuer wurde am 1. April 1999 im Rahmen der ökologischen Steuerreform eingeführt. Auch mit dieser Steuer stehen mit den zusätzlichen Einnahmen im Bundeshaushalt Mittel zur Verfügung, um so den Faktor Arbeit zu entlasten [31]. Die Stromsteuer beträgt derzeit 20,50 Euro je Megawattstunde (2,05 Cent je Kilowattstunde).

Im Stromsteuergesetz ist eine Reihe von Steuerbegünstigungen vorgesehen, um unter anderem umweltfreundliche Energieträger und Verkehrsmittel zu fördern. Zudem gibt es Vergünstigungen für die Wirtschaft, damit es nicht zu Wettbewerbsnachteilen gegenüber ausländischen Konkurrenten kommt. Von der Stromsteuer befreit ist beispielsweise Strom, der ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt und aus Netzen oder Leitungen entnommen wird, die ausschließlich mit Strom aus solchen Energieträgern gespeist werden („Ökostrom“-Netz). Um die Wettbewerbsposition des umweltschonenden Verkehrsträgers Schiene und des öffentlichen Personennahverkehrs zu verbessern, wird Strom für den Fahrbetrieb im Schienenbahnverkehr und im Verkehr mit Oberleitungsbussen nur mit 11,42 Euro je Megawattstunde besteuert.

Wie jede Steuer dienen auch die Energie- und Stromsteuer zur Finanzierung der allgemeinen staatlichen Aufgaben. Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Bemessung der Steuerhöhe:

- » Aus finanzwissenschaftlicher Perspektive und dem Grundsatz der Steuergerechtigkeit sollte grundsätzlich jeder Energieträger gleich besteuert werden.
- » Aus umweltökonomischer Perspektive ist es sinnvoll, die Steuerhöhe an Hand der externen Kosten zu differenzieren. Externe Kosten sind Lärm, Straßenbau, Straßenabnutzung, Kosten für Verkehrsunfälle, klassische Luftverschmutzung und CO₂-Emissionen.

Die Kommission hat einen Vorschlag für eine Änderung der Energiesteuerrichtlinie veröffentlicht [32]. Der Mindeststeuersatz für Energieerzeugnisse soll in zwei Komponenten gegliedert werden:

- » Die CO₂-abhängige Besteuerung auf Basis der CO₂-Emissionen des Energieerzeugnisses wird auf 20 Euro je Tonne CO₂ festgesetzt. Diese Besteuerung verschafft CO₂-armen Energiequellen einen technologieneutralen Vorteil.
- » Die allgemeine Energieverbrauchssteuer auf Basis des in Gigajoule gemessenen Energieinhalts ist unabhängig vom Energieerzeugnis und gibt so Anreize, Energie zu sparen. Die Steuer spiegelt wider, wie viel Energie das Erzeugnis generiert; ein energieeffizienter Verbrauch würde automatisch belohnt.

Bezug zur Elektromobilität

Wenn für den Fahrstrom die gleiche Steuer wie derzeit für elektrischen Strom erhoben wird, ergibt sich folgendes Bild am Beispiel eines kleinen batterieelektrischen Pkw:

Er verbraucht 0,16 kWh/km und die Stromsteuer beträgt 2,05 Cent/kWh. Es fallen damit 32,2 Cent/100 km Steuern an.

Der konventionelle kleine Benzin-Pkw verbraucht auf 100 km 4 Liter, die Energiesteuer beträgt 65,45 Cent/Liter. Somit fallen für den Benziner pro 100 km 2,62 Euro an Steuern an.

Derzeit ist damit ein elektrisch betriebener Pkw bezüglich der Energieverbräuche steuerlich mit rund 2,30 Euro pro 100 km deutlich begünstigt. Zum einen wegen der im Vergleich mit den Mineralölprodukten geringen Stromsteuer, zum anderen aber auch wegen der hohen Effizienz des Elektromotors gegenüber dem Verbrennungsmotor.

Betrachtet man alle Kosten, die über ein Pkw-Leben (Annahmen: Kompaktklasse, Jahresfahrleistung 7.900 km, Lebensdauer 10 Jahre, Spezifikationen für 2020) für den Fahrzeugbesitzer anfallen, so zeigt sich, dass die Energiekosten bei einem konventionellen Otto-Pkw insgesamt knapp 15 % aller Ausgaben ausmachen, beim batterieelektrischen Pkw sind es nur 6 %. Auch bei dieser Betrachtung zeigt sich, dass sich das Verhältnis von Investitions- zu Energiekosten deutlich Richtung Energiekosten verschiebt, hier also mit niedrigen Strompreisen und -steuern durchaus eine Anreizwirkung erzielt werden kann.

Tabelle 11: Ausgaben für einen Otto- und einen batterieelektrischen Pkw über ein Fahrzeugleben

	Otto-Pkw		Batterieelektrischer Pkw	
	Ausgaben [€]	Anteil [%]	Ausgaben [€]	Anteil [%]
Investition	24.400	65	33.920	78
Kfz-Steuer	460	1	0	0
Kraftstoffkosten	5.379	14	2.538	6
Restliche Kosten	7.315	19	7.209	17
Summe über die Lebensdauer des Pkw	37.554	100	43.667	100

Bewertung

Die ökologische Steuerreform hatte u. a. zum Ziel, dass die maßvolle Verteuerung von Energie einen Anreiz für sparsamen Umgang mit wertvollen Ressourcen und damit zur Schonung der Umwelt gibt. Sie soll eine Lenkungswirkung hinsichtlich des Energieverbrauchs der Fahrzeuge und der gefahrenen Kilometer bewirken. Die Stromsteuer wird diesem Ansatz bei Fahrstrom bisher nicht gerecht.

Durch die niedrigeren Energiesteuersätze auf Strom im Vergleich zu fossilen Flüssigkraftstoffen ergibt sich ein Steuervorteil von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren. Aufgrund der wesentlich höheren Investitionskosten für Elektrofahrzeuge wird derzeit diskutiert, dass dieser kilometerbezogene Kostenvorteil ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanz und damit die breite Markteinführung von Elektrofahrzeugen ist.

Ein Aspekt muss unter Klimaschutzgesichtspunkten langfristig, also bei einer nennenswerten Stückzahl von Elektro-Pkw im deutschen Fahrzeugbestand, jedoch auf jeden Fall im Auge behalten werden: Elektromobilität kann die Kostenstruktur des motorisierten Individualverkehrs ändern – Elektro-Pkw haben höhere Investitionskosten und niedrigere variable Kosten pro gefahrenen Kilometer. Durch die niedrigeren variablen Kosten der Elektromobilität kann es jedoch zu Rebound-Effekten kommen, also zu einer höheren Fahrleistung der Elektrofahrzeuge. Also auch um Rebound-Effekte zu vermeiden, sollte mittel- und langfristig die Frage gestellt werden, inwiefern die Steuer auf Strom für Elektrofahrzeuge auf das Niveau von mineralölbasierten Kraftstoffen erhöht werden sollte.

Würde der Vorschlag der Kommission zur Änderung des Energiesteuergesetzes umgesetzt, so wird weiterhin das Elektrofahrzeug für die variablen Kosten pro Kilometer weniger Steuern zahlen als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor: Zum einen da dessen Energieeffizienz deutlich höher liegt – und energieeffiziente Technologien sollen ja mit dieser Steueränderung weiter gefördert werden – und zum anderen – wenn der Wunsch der Bundesregierung nach erneuerbaren Energien für Elektromobilität entsprechend umgesetzt wird – weil der Strom dann sehr geringe CO₂-Emissionen haben wird.

Hier stellt sich die Frage, ob langfristig darüber nachgedacht werden sollte, für Fahrzeuge auch kilometerbezogene Abgaben beispielsweise über eine Pkw-Maut einzuführen, über die dann neben den CO₂-Emissionen weitere wesentliche externe Kosten wie Lärm, Straßenbau, Straßenabnutzung, Kosten für Verkehrsunfälle, Schadstoffemissionen mit erhoben werden können. Mit dem Instrument der Maut könnte auch trotz steigender Effizienz der konventionellen Pkw bzw. Verbreitung von Elektrofahrzeugen das Steueraufkommen leichter konstant gehalten werden.

Grundsätzlich kann für die Bilanzierung des Umweltnutzens aus der derzeitigen Perspektive die unterschiedliche Besteuerung von konventionellem Kraftstoff und Fahrstrom einen Effekt bezüglich der Attraktivität von und damit der Nachfrage nach Elektro-Pkw haben. Dieser Effekt ist aber bei den aktuellen Umfragen und damit in der Bestandsmodellierung bereits berücksichtigt. Hinzu kommt, dass es aufgrund der Reichweitenrestriktionen unwahrscheinlich ist, dass Elektrofahrzeuge in Zukunft mehr fahren als konventionelle Vergleichsfahrzeuge.

10.2.2 EU-Emissionshandel

Beschreibung des Instruments

Ziel des Emissionshandels ist es, die Gesamtemissionen der erfassten Sektoren (Stromerzeugung und energieintensive Industrie) zu begrenzen und zu reduzieren. Im Emissionshandel werden die Gesamtemissionen aller verpflichteten Anlagen/Unternehmen innerhalb eines bestimmten Zeitraums durch das „Cap“ begrenzt. Das „Cap“ beschreibt die insgesamt verfügbare Menge an Emissionsberechtigungen. Für jede Emissionsberechtigung kann genau eine Tonne CO₂ ausgestoßen werden. Abbildung 53 stellt die Entwicklung des „Caps“ im EU Emissionshandel bis 2020 dar. Im Zeitraum 2008 bis 2012 ist die Gesamtmenge der Emissionsberechtigungen konstant. Ab 2013 nimmt die Gesamtmenge jährlich linear um 1,74 % bezogen auf das durchschnittliche Cap in den Jahren 2008 bis 2012 ab. Insgesamt wird durch den EU-Emissionshandel eine Minderung von 21 % bis 2020 im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 2005 erreicht [26]. Auch nach 2020 nimmt die Gesamtmenge weiterhin um 1,74 % ab. Eine Überprüfung des Minderungspfades ist spätestens im Jahr 2025 vorgesehen.

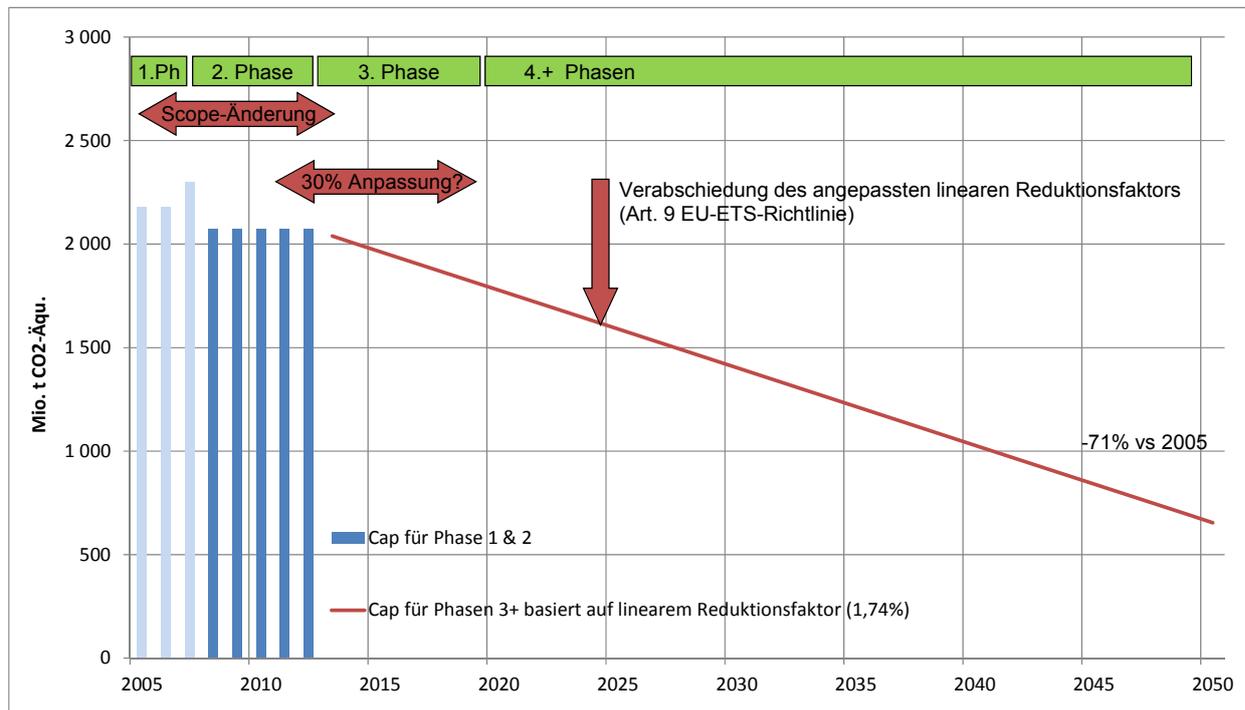


Abbildung 53: Entwicklung des „Caps“ im EU-Emissionshandel bis 2020
 Quellen: [28], Darstellung Öko-Institut

Die Aufteilung der Emissionsminderung zwischen dem Emissionshandelssektor und den übrigen Sektoren wurde unter Berücksichtigung des Zieles für erneuerbare Energien so festgelegt, dass die Klimaschutzziele in der EU kostenoptimal erreicht werden können. Dies bedeutet, dass ökonomische Modelle eingesetzt wurden, um zu berechnen bei welcher Höhe des Caps sich die CO₂-Vermeidungskosten im Emissionshandelssektor und den übrigen Sektoren angleichen [29]. Für die Nicht-Emissionshandelssektoren ergibt sich eine Emissionsminderung in Höhe von 10 % bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu 2005.

Bezug zur Elektromobilität

Durch das Energie- und Klimapaket sind für den Zeitraum ab 2008 für den Emissionshandelssektor und für den Zeitraum ab 2013 durch die „Effort-Sharing-Decision“ auch für den nicht vom Emissionshandel erfassten Bereich absolute Emissionsminderungsziele festgelegt. Ein Ausbau der Elektromobilität führt zu einer höheren Stromnachfrage. Für die Bewertung der Elektromobilität ist es zentral, ob diese zusätzliche Stromnachfrage zu zusätzlichen Emissionen führt. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- » Wenn die zusätzliche Stromnachfrage durch einen stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich erreicht wird, steigen die Emissionen der Stromerzeugung nicht an.
- » Eine höhere Stromnachfrage kann zu höheren Emissionen im Stromsektor führen, wenn die zusätzliche Stromnachfrage durch fossile Kraftwerke bereitgestellt wird.
- » In einem Emissionshandelssystem mit absolutem Cap steigen die Gesamtemissionen jedoch nicht an, wenn das Cap nicht erhöht wird.

Für die direkte Emissionsbilanz der Elektromobilität ist also die Festlegung des Cap im Emissionshandel entscheidend. Solange das Cap wegen eines verstärkten Ausbaus der Elektromobilität nicht angepasst wird, steigen die Emissionen im Emissionshandelssektor nicht an.

10.2.3 Erneuerbare-Energien-Richtlinie

Beschreibung des Instruments

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie [28] legt verbindliche Ausbauziele für erneuerbare Energien in der EU fest. Sie definiert ein Gesamtziel von insgesamt 20 % des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020 sowie speziell im Verkehrssektor als Unterziel einen Anteil von mindestens 10 % erneuerbare Energien am Endenergieverbrauch ebenfalls bis zum Jahr 2020. Obwohl für alle Mitgliedsstaaten ein jeweils verbindliches nationales Ausbauziel definiert wurde, ist es durch verschiedene Flexibilisierungsmechanismen möglich, Anteile an erneuerbaren Energien von einem Land bilanziell an ein weiteres zu übertragen und somit zu dessen Zielerreichung anzurechnen. Diese bilanziellen Übertragungen obliegen dabei ausschließlich den jeweils beteiligten Regierungen und sind von Handelsgeschäften am freien Markt (insbesondere z.B. im Ökostrombereich) weitgehend unabhängig. Abgesehen vom einheitlichen Unterziel für den Verkehrssektor steht es den Mitgliedsstaaten frei, in welchem Sektor sie welchen Beitrag zum Erreichen ihres Ausbauzieles leisten.

Eine methodische Besonderheit liegt hinsichtlich der Bilanzierung von erneuerbaren Energien im Bereich der Elektromobilität vor. Bei der Berechnung des Anteils von erneuerbaren Energien in Fahrzeugen mit Elektroantrieb haben die Mitgliedsstaaten die Wahl, entweder den durchschnittlichen Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien in der EU oder im jeweiligen Hoheitsgebiet zugrunde zu legen. Der Anteil an erneuerbaren Energien, welcher dabei auf Straßenfahrzeuge mit Elektrobetrieb entfällt, wird im Rahmen der sektorspezifischen Zielerreichung als der 2,5-fache Energiegehalt der zugeführten Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen im Verkehrssektor angesetzt. Der 2,5-Faktor entspricht dabei ungefähr den Verlusten durch einen schlechteren Wirkungsgrad in Verbrennungsmotoren konventioneller Straßenfahrzeuge. Anders ausgedrückt entspricht eine Energieeinheit Strom im Verkehrsbereich endenergiebezogen ungefähr 2,5 Energieeinheiten konventionellem fossilen Treibstoff.

Für Deutschland wurde im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie ein nationales Ausbauziel für erneuerbare Energien in Höhe von 18 % des Endenergieverbrauchs festgelegt. Im nationalen Aktionsplan für Erneuerbare Energien [33] wird der Ausbau der Anteile an erneuerbaren Energien auf 15,5 % im Wärmebereich geschätzt, auf 38,6 % im Stromsektor sowie auf 13,2 % im Verkehrsbereich.

Auf Basis der festgelegten verbindlichen Ausbauziele ist davon auszugehen, dass die europäischen Regierungen ihre jeweiligen Fördersysteme für erneuerbare Energien so ausgestalten, dass sie ihre nationalen Ausbauziele bis zum Jahr 2020 möglichst genau erreichen werden. Gegebenenfalls werden sie hierbei die Möglichkeiten der Flexibilisierungsmechanismen wie bspw. statistische Transfers zwischen Mitgliedstaaten nutzen. Insgesamt ist zu erwarten, dass das definierte europäische Ziel nicht als Mindestziel wirkt, sondern gleichermaßen als Cap, weil Mitgliedsstaaten eine Übererfüllung ihrer Ziele verkaufen können.

Für die Anrechenbarkeit von Energien aus Biokraftstoffen im Rahmen dieser Zielerfüllung legt die Erneuerbare-Energien-Richtlinie Nachhaltigkeitskriterien fest. Diese Energiemengen können nur dann berücksichtigt werden, wenn sie zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen um zunächst mindestens 35 % im Vergleich zu fossilen Treibstoffen führen. Bis zum Jahr 2017 steigt diese Mindestreduktionsanforderung auf 50 % an. Weiterhin werden Anforderungen an einen nachhaltigen Anbau hinsichtlich natur- und umweltschutzbezogener Aspekte definiert.

Die Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie in nationales Recht erfolgte in Deutschland hauptsächlich über das Europarechtsanpassungsgesetz Erneuerbare Energien [34], das am 24. Februar 2011 vom Bundestag beschlossen wurde; dieses Gesetz enthält u.a. Änderungen im EEG sowie in der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung. Ein Teil der regulatorischen Anforderungen der EE-Richtlinie wird auch bspw. über das Biokraftstoffquotengesetz in Verbindung mit § 37a Abs. 3 BImSchG sowie die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung erfüllt.

Bezug zur Elektromobilität

Grundsätzlich kann zwischen dem Gesamtziel für alle erneuerbaren Energien und dem Unterziel für den Verkehrssektor unterschieden werden. Der Stromverbrauch der Elektromobilität wird im Rahmen der EE-Richtlinie dabei dem Verkehrssektor zugeordnet. Für die Berechnung des Gesamtziels wird der gesamte Endenergieverbrauch mit der Erzeugung von erneuerbaren Energien im Verkehrsbereich, im Wärmebereich und in der Stromerzeugung verglichen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien für Elektromobilität wird bei der Berechnung der EE-Ziele mit erfasst und steht somit in einem System der „kommunizierenden Röhren“ mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien in sonstigen Bereichen in Verbindung. Eine höhere Stromerzeugungsmenge aus erneuerbaren Quellen aufgrund eines eventuellen durch die Elektromobilität ausgelösten Ausbaus leistet also einen Beitrag zur gesamten Zielerreichung innerhalb der EU.

Eine solche Kausalität ist jedoch nicht per se gegeben. Eine verstärkte Nutzung der Elektromobilität bedingt derzeit keinen aktiven Ausbau der EE-Stromerzeugung durch die an der Elektromobilität beteiligten Akteure, womit steigende Anteile an Elektromobilität zunächst keine direkten Auswirkungen auf die insgesamt angerechneten EE-Mengen haben. Das Gesamtziel bleibt unabhängig vom Anteil der Elektromobilität weitgehend gleich,³⁴ so dass evtl. sinkende Anteile an Biokraftstoffen, die sich durch höhere Elektromobilitäts-Anteile bei der Erreichung des Verkehrszieles ergeben, durch höhere Erneuerbaren-Anteile im Strom- oder im Wärme- und Kältesektor ausgeglichen werden müssen.

Innerhalb des sektorspezifischen Unterziels führen steigende Anteile an Elektromobilität zu einem sinkenden Ausbaudruck im Bereich der Biokraftstoffe, wobei die Stärke dieses Effekts vom EE-Anteil im zugrunde gelegten Strommix abhängt.

Welche Auswirkungen unterschiedliche Anteile der Elektromobilität beim Transportsektor-Ziel auf die zu erreichenden sonstigen EE-Erzeugungsmengen haben, ist grafisch in Abbildung 54

³⁴ Der steigende Anteil der Elektromobilität beeinflusst in gewissem Maße das Gesamtziel in seiner absoluten Höhe, da Elektromotoren endenergiebezogen effizienter sind als herkömmliche Verbrennungsmotoren. Da das EE-Ziel endenergiebezogen definiert ist, sinkt bei höheren Elektromobilitätsanteilen auch der Gesamtendenergiebedarf, welcher auf EU-Ebene zu 20% durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll.

dargestellt. Die Berechnung basiert auf dem Referenzszenario des Nationalen Aktionsplans für Erneuerbare Energien [33].³⁵

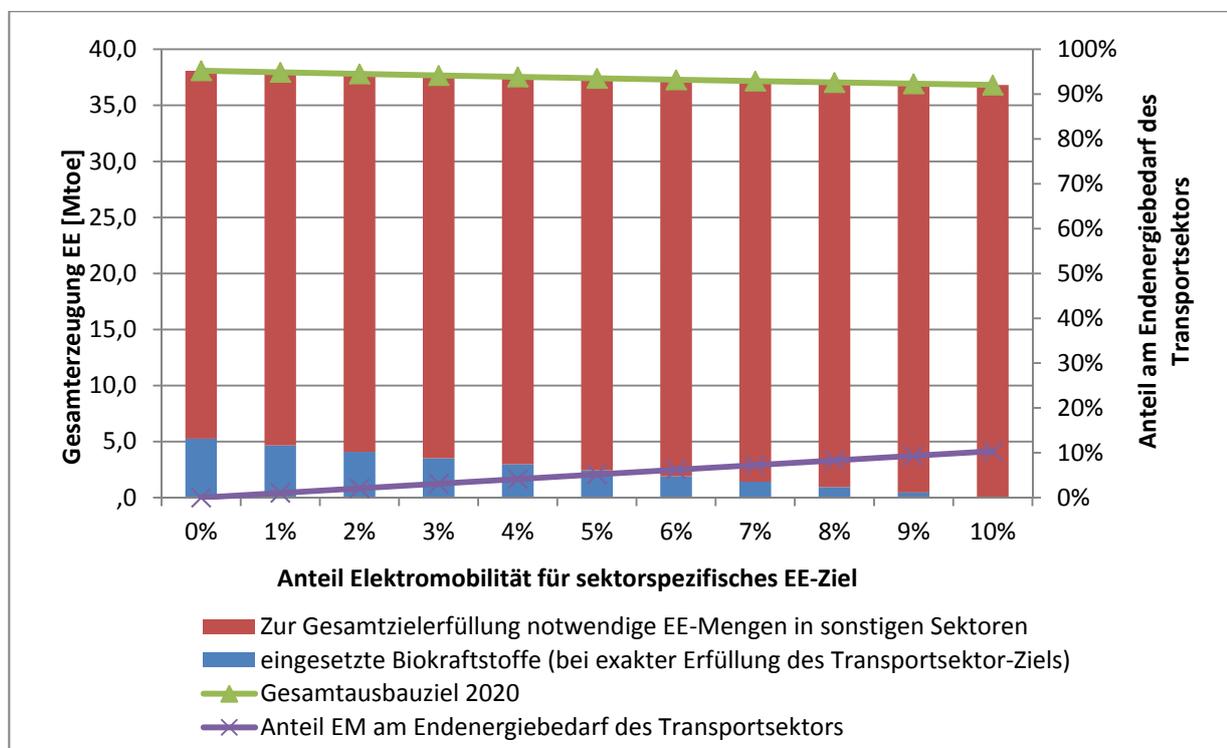


Abbildung 54: Auswirkungen unterschiedlicher Anteile der Elektromobilität beim Transportsektor-Ziel auf die zu erreichenden sonstigen EE-Mengen.
 Quellen: Berechnungen Öko-Institut basierend auf REF-Szenario aus [33]

Abbildung 54 illustriert unterschiedliche Varianten zur Erreichung des Gesamtzieles für erneuerbare Energien. Je größer der Anteil der Elektromobilität zur Erreichung des transportsektorspezifischen EE-Ausbauziels von insgesamt 10 Prozentpunkten wird, umso geringer wird der Anteil der zur Zielerfüllung notwendigen Biokraftstoffe. Wird das 10 %-Ziel im Transportsektor vollständig durch Elektromobilität erfüllt, so muss das EE-Gesamtziel komplett durch Erzeugung in den sonstigen Sektoren (Wärmeerzeugung und Stromerzeugung) erbracht werden. Außerdem ist sichtbar, dass die notwendige Gesamterzeugung aus erneuerbaren Energien bei einem hohen Anteil von Elektromobilität leicht abnimmt. Dies erklärt sich durch den niedrigeren Endenergieverbrauch bei Elektromobilität im Vergleich zur Nutzung von Biotreibstoffen in konventionellen Fahrzeugen.

³⁵ Hinsichtlich der Korrektur des Gesamtstromverbrauchs und somit der zu erreichenden Gesamterzeugung aus Erneuerbaren Energien wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass dem im Referenzszenario des Aktionsplans genannten Verbrauchswert keine Nutzung der Elektromobilität zugrunde liegt. Für die Darstellung der grundlegenden Effekte durch eine zunehmende Nutzung der Elektromobilität ist die hierdurch entstehende Ungenauigkeit bei den absoluten Werten nicht maßgeblich.

Bewertung

Das prozentuale Gesamtausbauziel der erneuerbaren Energien bleibt durch den Ausbau der Elektromobilität gleich und wird in seiner absoluten Höhe nur durch die sinkende Gesamtendenergie beeinflusst. Elektromobilität leistet somit zwar keinen Beitrag zur Zielerreichung, jedoch bleibt sichergestellt, dass die Ziele durch sonstige erneuerbare Energien erreicht werden müssen.

Elektromobilität reduziert den speziellen Bedarf für die verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen für die sektorspezifische Bilanzierung. Diese Mengen können für die Anrechnung auf die EE-Gesamtziele durch Erneuerbare im Stromsektor oder im Bereich Wärme/Kälte oder auch durch Biokraftstoffe (bei einer Übererfüllung des transportsektorspezifischen Ausbauziels) erreicht werden. Somit schafft Elektromobilität den einzelnen Ländern eine höhere Flexibilität bei der Erreichung der Ausbauziele. Da es problematisch ist, die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen sicherzustellen und da Biokraftstoffe im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien oft hohe graue Emissionen aufweisen, ist dieser Effekt grundsätzlich positiv. Durch die in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie definierten Nachhaltigkeitskriterien wird für die Mitgliedsstaaten auch ein entsprechender Anreiz zum verstärkten Ausbau der Elektromobilität geschaffen.

Da die Mitgliedsstaaten bei der sektorspezifischen Bilanzierung zwischen einem nationalen und dem europäischen Durchschnittsanteil erneuerbarer Energien am Strommix wählen können, wird hier in der Praxis immer eine Best-of-Bilanzierung stattfinden. Dies bedeutet, dass Mitgliedsstaaten in der Praxis den Durchschnittsanteil wählen werden, der einen höheren Anteil an erneuerbaren Energien aufweist. Insofern wurde die Chance verpasst, bspw. durch die verpflichtende Anrechnung des nationalen Mix einen zusätzlichen Anreiz zu schaffen, den Anteil erneuerbarer Energien an der nationalen Stromerzeugung weiter zu erhöhen. Eine Begrenzung auf den nationalen Mix statt auf den europäischen Mix wäre hier insofern sinnvoll, da nationale Regierungen hier auch tatsächlich eine gezielte Einflussmöglichkeit zur Veränderung haben.

Die Frage, ob ein Verbraucher oder Hersteller durch den Ausbau der Elektromobilität eine Umweltverbesserung aktiv bewirkt, kann nicht pauschal beantwortet werden. Generell sinkt durch mehr Elektromobilität der Anteil an Biotreibstoffen für die Anrechnung im verkehrssektorspezifischen Ziel. Dieser Anteil muss zum Erreichen des Gesamtziels dann durch andere erneuerbare Energien ausgeglichen werden.

Wenn die Nutzung von Elektromobilität durch definierte Mechanismen den Ausbau der entsprechenden Mengen Erneuerbaren-Strom sicherstellt, so wäre eine kausale Verknüpfung zwischen Verbrauch durch Elektromobilität und Erzeugung von Erneuerbaren-Strom gegeben. Die entsprechenden Mengen EE-Strom würden aufgrund der bestehenden Regelungen als Erneuerbaren-Anteil innerhalb der derzeitigen EE-Ausbauziele angerechnet. Dieser Mechanismus wäre hinsichtlich seiner Auswirkungen auf das Erreichen der EE-Ausbauziele mit dem Einsatz von Biokraftstoffen vergleichbar.

Wenn hingegen zusätzliche Erneuerbaren-Strom-Mengen nicht durch Akteure der Elektromobilität, sondern durch sonstige Verbraucher oder öffentliche Förderinstrumente initiiert werden müssen, so ist die Elektromobilität als gewöhnlicher zusätzlicher Stromverbraucher zu betrachten, welchem erzeugungsseitig keine spezifischen Effekte wie bspw. zusätzliche erneuerbare Energien zugeordnet werden können.

Um gezielt durch die verstärkte Nutzung der Elektromobilität auch einen verstärkten Ausbau der Erneuerbaren-Stromerzeugung mit weicher oder harter Zusätzlichkeit zu fördern, wären weitere Instrumente notwendig. Diese werden im Abschnitt 10.2.4 (EEG) diskutiert.

10.2.4 Erneuerbare-Energien-Gesetz

Beschreibung des Instruments

Das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz ([35], [36]) verfolgt das Ziel, den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen in Deutschland zu fördern. Die Förderung besteht im Wesentlichen aus einer Anschluss- und Abnahmeverpflichtung der Netzbetreiber für Strom aus erneuerbaren Quellen zu technologiespezifischen Mindestvergütungssätzen je Kilowattstunde. Dabei wird eine Degression der Vergütungssätze angewandt, um die Erneuerbaren-Technologien geregelt an die Marktreife heranzuführen. Die Netzbetreiber vermarkten die entsprechend vergüteten EEG-Strommengen an der Börse. Die zusätzlichen Kosten, welche im Vergleich zum Marktwert des dementsprechend eingespeisten und vergüteten Stroms entstehen, werden über die Verteilnetzbetreiber und Stromversorger auf die verpflichteten Endkunden umgelegt.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz stellt dabei Anlagenbetreibern frei, ob sie die Abnahmeverpflichtung der Netzbetreiber zum garantierten Vergütungssatz in Anspruch nehmen oder ihre erzeugten Strommengen selbst vermarkten (sogenannter Opt-Out-Mechanismus, siehe § 17 EEG 2009 bzw. § 33a EEG 2012). Ein besonderer Anreiz zur Direktvermarktung wird dadurch gesetzt, dass Stromanbieter, welche mindestens 50 % ihres Stromabsatzes aus EEG-fähiger Erzeugung abdecken, von der EEG-Umlage befreit sind (sogenanntes Ökostromprivileg, siehe § 37 EEG 2009 bzw. § 39 EEG 2012). Die letzte Novelle des EEG 2012 hat außerdem eine optionale Marktprämie als Fördermöglichkeit eingeführt. Hier vermarktet der Anlagenbetreiber selbst seinen erzeugten Strom. Zusätzlich zu den hier erwirtschafteten Erlösen erhält er vom Netzbetreiber die Differenzkosten zwischen einem Referenzmarkterlös und dem für die entsprechende Technologie alternativ gültigen EEG-Einspeisevergütungssatz sowie weitere Zuschläge.

Bezug zur Elektromobilität

Der EEG-Mechanismus unterscheidet in seiner Förderwirkung nicht nach der Verwendung des jeweiligen Stroms, vielmehr wird der Teil des Stroms, welcher die EEG-Einspeisevergütung oder die optionale Marktprämie erhält, von den Netzbetreibern über die deutsche Strombörse EEX vermarktet und kann dementsprechend verbraucherseitig keiner expliziten Verwendung wie beispielsweise der Elektromobilität zugeordnet werden. Es besteht somit kein direkter Bezug zwischen EEG und der Anwendung von Elektromobilität.

Jedoch stellt sich vor dem Hintergrund des EEG-Mechanismus grundsätzlich die Frage, welche Rolle eventueller freiwilliger Ökostrombezug durch die Nutzer der Elektromobilität spielen könnte. Die Endkunden finanzieren über die EEG-Umlage die Zusatzkosten, welche durch die festgelegten EEG-Mindestvergütungen im Vergleich zum Marktpreis auftreten. Rein bilanziell stehen Strommengen aus erneuerbaren Quellen für die gezielte Stromversorgung der Elektromobilität nur dann zur Verfügung, wenn Anlagen nicht am EEG-Mechanismus teilnehmen. Folgende Anlagengruppen kämen demnach für die Bereitstellung von erneuerbarem Strom für die Elektromobilität in Frage:

- » Altanlagen (welche nicht oder nicht mehr von der EEG-Vergütung profitieren können),
- » Opt-Out-Anlagen (Direktvermarktung),
- » ausländische Anlagen.

Unabhängig von der Art der Förderung und der Vermarktung werden alle Erneuerbaren-Strom-Mengen, welche in Deutschland erzeugt werden, im Rahmen der nationalen Zielerfüllung angerechnet. Ein expliziter Mechanismus, bestimmte EE-Strommengen (z.B. spezifischer freiwilliger Ökostrombezug durch Elektromobilität oder andere Verbraucher) nicht für diese Ziele anzurechnen, ist bisher weder auf europäischer noch auf nationaler Ebene vorgesehen.

Bewertung

Der Ausbau der Elektromobilität hat im Rahmen der EEG-Mechanismen keine Auswirkungen auf die emittierten CO₂-Emissionen sowie auf den Ausbau erneuerbarer Energien. Ebenso wenig hat das EEG selbst einen spezifischen z.B. fördernden Einfluss auf die Nutzung der Elektromobilität.

Um Verbrauchern die Möglichkeit zu geben, die für die Elektromobilität notwendige zusätzliche Strommenge durch EE-Stromerzeugung mit einer harten oder weichen ökologischen Zusätzlichkeit sicherzustellen, stellen sich jedoch zwei Fragen:

1. Wie kann harte oder weiche Zusätzlichkeit von Erneuerbaren-Strom konsistent definiert und sichergestellt werden?
2. Wie können die regulatorischen Rahmenbedingungen sinnvoll verändert werden, um diese Möglichkeit zu unterstützen?

Hinsichtlich der zuvor genannten prinzipiellen Bezugsmöglichkeiten für Erneuerbaren-Strom sind folgende Aspekte bei der Zusätzlichkeitsbewertung zu berücksichtigen:

- » Bei Altanlagen kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Investitionskosten entweder durch die frühere EEG-Vergütung oder die Teilnahme am freien Markt vollständig erwirtschaftet sind. Für einen weiteren Betrieb ist dementsprechend notwendig, dass die variablen Erzeugungskosten der jeweiligen Anlage am freien Markt erwirtschaftet werden. Während diese bei den erneuerbaren Energien in aller Regel sehr gering ausfallen und ein kostendeckender Betrieb somit weitgehend gewährleistet sein sollte, kann es im Fall von Biomasseanlagen aufgrund der Brennstoffkosten und der Möglichkeit des Brennstoffwechsels hin zu fossilen Energieträgern eher geboten sein, eine zusätzliche Förderung in Form der gezielten Nachfrage zu unterstützen.
- » Neuanlagen, welche freiwillig in die Direktvermarktung gehen, stellen genau genommen keine zusätzlichen Anlagen gegenüber dem Referenzszenario dar (Teilnahme am EEG), sondern lediglich eine Kostenverschiebung von den EEG-verpflichteten Endverbrauchern hin zum Einzelkunden. Dabei kann argumentiert werden, dass durch die Absenkung der EEG-Umlage dieser Mechanismus politisch

entlastet und somit langfristig gestärkt wird. Dies gilt aber nur bei der „reinen“ Direktvermarktung. Bei der optionalen Marktprämie werden die entsprechenden Mehrkosten ähnlich wie beim klassischen EEG-Einspeisemechanismus auf die verpflichteten Endverbraucher umgelegt (nach den derzeitigen Regelungen können diese Mengen dementsprechend auch nicht mehr als Strom aus erneuerbaren Energien vermarktet werden). Bei verstärkter Nutzung des Grünstromprivilegs steigt die EEG-Umlage für die weiterhin EEG-verpflichteten Endverbraucher an, welche somit indirekt die Mehrkosten für die Erzeugungsanlagen im Grünstromprivileg finanzieren.

- » Bei Strombezug aus ausländischen Anlagen ist zu bedenken, dass dort in aller Regel ebenfalls Fördersysteme für Erneuerbaren-Strom bestehen, die zu ähnlichen Einschränkungen wie beim deutschen EEG führen. Hinsichtlich der Zielerreichung gemäß der Erneuerbaren-Richtlinie tragen alle EE-Strommengen gleichermaßen zur Zielerreichung in der EU bei – bei ausländischen Anlagen natürlich im Rahmen des Zielbeitrags des jeweiligen Erzeugerlandes. Dies bedeutet, dass der Strombezug für die Elektromobilität aus ausländischen Anlagen nicht auf die nationale (deutsche) Zielerfüllung angerechnet wird.

Für die Bewertung der ökologischen Zusätzlichkeit von EE-Strom für Elektromobilität ist genau genommen nicht die Frage entscheidend, welcher Strom bilanziell für die Elektromobilität bezogen wird, sondern ob generell bestimmte Mechanismen bestehen, die einen Ausbau von EE-Erzeugung anregen. Dies kann auch geschehen, ohne dass der Strom aus genau diesen Anlagen bilanziell an die Elektromobilität als Verbraucher geliefert wird.

Von Seiten des Gesetzgebers bestehen mehrere Möglichkeiten, die Rahmenbedingungen für die freiwillige Nutzung von EE-Strom mit weicher Zusätzlichkeit zu verbessern, insbesondere die Schaffung gewisser Privilegien für Nutzer oder Hersteller von Elektrofahrzeugen, welche wie oben beschrieben den EE-Ausbau konkret unterstützen. Hierzu zählen nutzerseitig Subventionen, Steuerermäßigungen oder Privilegierungen im Straßenverkehr. Herstellerseitig wäre insbesondere eine begünstigte bilanzielle Behandlung solcher Elektrofahrzeuge im Rahmen der CO₂-Richtlinie (siehe Kapitel 10.2.5) ein starker Anreiz, sich beim Ausbau der Erneuerbaren zu engagieren.

Um Verbrauchern die Möglichkeit zu geben, tatsächlich zu einem Ausbau der erneuerbaren Energien über die ohnehin vorgegebenen Ziele hinaus beizutragen (harte Zusätzlichkeit), müsste dies zunächst durch eine Änderung der EE-Richtlinie ermöglicht werden. Alternativ könnte auch die Bundesregierung beschließen, die vorgegebenen EE-Ziele um die der Elektromobilität entsprechenden Mengen überzuerfüllen oder dies auf Wunsch von Akteuren im EM-Sektor zu ermöglichen. Voraussetzung für eine solche Entscheidung wäre dann vermutlich die Festlegung eines „Buy-Out“-Preises je definierter Menge EE-Strom.³⁶ Dieser Mechanismus wäre grundsätzlich mit den zwischenstaatlichen Flexibilisierungsmechanismen entsprechend der Erneuerbaren-Richtlinie vergleichbar.

³⁶ Hierbei würden Elektrofahrzeug-Nutzer, Hersteller, EE-Stromerzeuger oder andere Akteure die entsprechenden EE-Anteile für die Zielerreichung der Bundesregierung faktisch abkaufen.

10.2.5 Verordnung zur Verminderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen

Beschreibung des Instruments

Im April 2009 wurde die Verordnung zur Minderung der CO₂-Emissionen bei neu zugelassenen Pkw verabschiedet [37]. Die Verordnung setzt eine CO₂-Emissionsnorm für Automobilhersteller. Bis spätestens 2015 dürfen deren in den Vertrieb gebrachten Neuwagen im Durchschnitt nicht mehr als 130 g CO₂/km emittieren. Bis zum Jahr 2020 soll dieser Grenzwert auf 95 g/km im Flottendurchschnitt fortgeschrieben werden. Berücksichtigt werden die direkten Emissionen, also diejenigen, die beim Fahrzeugbetrieb entstehen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass Elektro-Pkw im Rahmen dieser Verordnung als Null-Emissionsfahrzeuge gelten. Hinzu kommt, dass bei der Berechnung der durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen jeder neue Personenkraftwagen mit spezifischen CO₂-Emissionen von weniger als 50 g CO₂/km zählt als:

- » 3,5 Fahrzeuge im Jahr 2012 und 2013,
- » 2,5 Fahrzeuge im Jahr 2014,
- » 1,5 Fahrzeuge im Jahr 2015,
- » 1 Fahrzeug ab 2016.

Bezug zur Elektromobilität

Dadurch, dass Elektro-Pkw einen speziellen Status in der CO₂-Pkw-Verordnung haben – also als Null-Emissionsfahrzeuge berücksichtigt werden –, erlauben sie den Herstellern, weniger effiziente konventionelle Fahrzeuge zu verkaufen verglichen mit einer Situation ohne Elektro-Pkw. Mit anderen Worten kann man sagen, dass die Hersteller für jeden verkauften Elektro-Pkw einen Bonus in Höhe von 130 g/km bekommen, welchen sie dann zur Kompensation von Pkw mit Emissionen höher als 130 g/km einsetzen können. Verstärkt wird diese Kompensationsmöglichkeit durch die Mehrfachanrechnungen.

Abbildung 55 macht diesen Effekt deutlich. Den Berechnungen liegt als Annahme ein Anteil von rund 13 % batterieelektrischen Pkw mit Null-Emissionen und 87 % Plug-In-Hybrid-Pkw mit Emissionen je nach Größenklasse zwischen 30 und 49 g/km zu Grunde. Um das Ziel der Bundesregierung 2020 von einer Millionen Elektrofahrzeugen in Deutschland zu erreichen, ist je nach Markthochlauf ein Neuzulassungsanteil an elektrischen Pkw von 6 % bis 10 % notwendig. Es zeigt sich, dass bei einem Neuzulassungsanteil von insgesamt etwa 6 % elektrischen Neufahrzeugen schon bei einer reinen Einfachanrechnung dieser elektrischen Pkw die konventionellen Pkw statt 95 g/km im Durchschnitt knapp 99 g/km emittieren dürfen. Bei einer 3,5-fachen Anrechnung der elektrischen Pkw beträgt der zulässige durchschnittliche Emissionswert für konventionelle Pkw sogar 109 g/km.

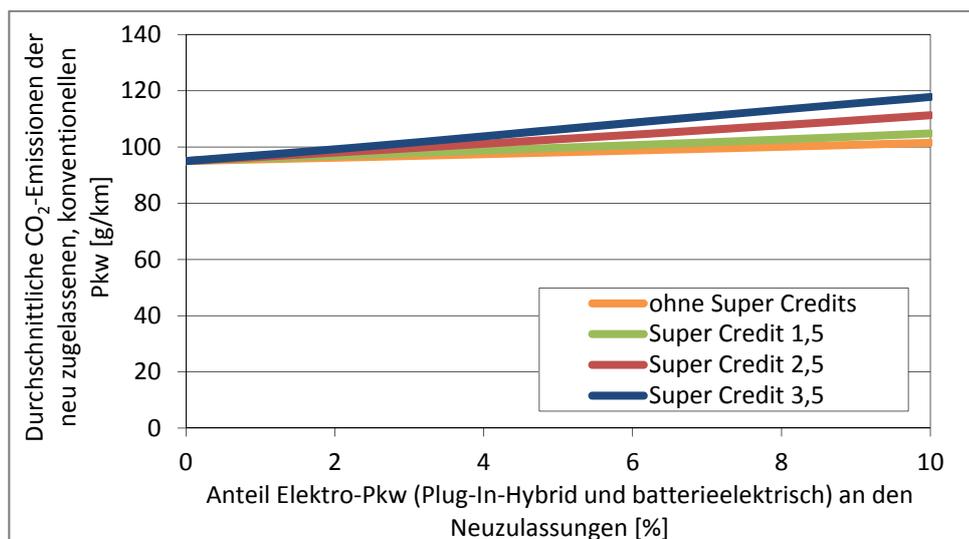


Abbildung 55: Durchschnittliche Emissionen konventioneller Pkw bei einem Ziel von 95 g/km mit steigenden Anteilen elektrischer Pkw an den Neuzulassungen

Bewertung

Auf den ersten Blick erscheint die Entwicklung positiv, dass Emissionen vom Verkehrssektor in den durch den Emissionshandel abgedeckten Stromsektor verlagert werden, wo die Gesamtemissionen weiterhin durch das bestehende Cap begrenzt bleiben.

Durch den oben beschriebenen Effekt kann aber die von der Bundesregierung angestrebte Erhöhung des Anteils der Elektromobilität selbst bei einer Einfachanrechnung der elektrischen Pkw die gesamten Emissionen im Verkehrssektor erhöhen, wenn nicht sichergestellt ist, dass die Möglichkeit zu höheren Emissionen konventioneller Pkw durch geeignete regulatorische Maßnahmen vermieden wird. Für die Emissionen im Verkehrsbereich ist dabei entscheidend, dass konventionelle Pkw – die nun eine höhere CO₂-Emission aufweisen, als eigentlich angestrebt – möglicherweise höhere Fahrleistungen haben könnten als elektrische Pkw. Hierdurch entstehen dann Mehremissionen im Verkehrssektor verglichen mit der Situation ohne elektrische Pkw. Dieser Effekt würde noch einmal deutlich verstärkt, wenn die Mehrfachanrechnung nicht Ende 2015 auslaufen, sondern bis 2020 weitergeführt werden würde.

Weiterhin ist für die politische Diskussion zu beachten, dass sich durch die Verlagerung von Energieverbräuchen in den ETS-regulierten Strombereich und die oben beschriebenen Effekte der Handlungsdruck und die damit verbundenen Kosten weg von den Fahrzeugherstellern hin zu allen Akteuren im ETS verschiebt – da der CO₂-Preis im regulierten Bereich ansteigt.

Um die genannten Effekte einer möglichen Emissionserhöhung im Verkehrsbereich auszugleichen, erscheinen unterschiedliche politische Maßnahmen geeignet.

Hierzu zählt zunächst die Festlegung auf eine Einfachanrechnung von Pkw mit Emissionen von weniger als 50 g/km im Rahmen der Ermittlung des Flottenwerts. Um zu verhindern, dass Effizienzfortschritte bei den konventionellen Pkw langsamer umgesetzt werden, sollte ferner die Elektromobilität bei der Fortschreibung der Flottengrenzwerte berücksichtigt und entsprechend ambitionierte Grenzwerte gesetzt werden.

10.2.6 EU-Richtlinie Kraftstoffqualität

Beschreibung des Instruments

Ziel der EU-Richtlinie Kraftstoffqualität [38] ist es, die Lebenszyklustreibhausgasemissionen von Kraftstoffen pro Energieeinheit von 2010 bis 2020 um 10 % zu verringern. Diese Verpflichtung richtet sich an die Anbieter von Kraftstoffen. In der Richtlinie sind folgende Komponenten vorgesehen, um die Emissionsminderung zu erfüllen:

- » Eine Emissionsreduktion in Höhe von 6 % soll durch eine Verringerung der Lebenszyklustreibhausgasemissionen erreicht werden. Dies kann z.B. durch die Verwendung von Biokraftstoffen, den verstärkten Einsatz von Erdgas und Benzin anstatt Diesel, der Verringerung des Abfackelns von Erdgas bei der Ölförderung und den Einsatz von erneuerbarem Strom in Elektroautos erreicht werden.
- » Eine Emissionsreduktion in Höhe von 2 % kann durch eine weitere Absenkung der Lebenszyklustreibhausgasemissionen oder durch die Verwendung von umweltverträglichen Verfahren zur Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid erfolgen.
- » Eine Emissionsreduktion in Höhe von 2 % kann durch den Erwerb von CDM/JI-Zertifikaten erfolgen.

Eine rechtskräftige Verbindlichkeit für die Anbieter ist aber nur für die Emissionsminderung in Höhe von 6 % vorgesehen. Die Emissionsminderung soll so stetig wie möglich erfolgen. Im Zuge dieser Verpflichtung können die Mitgliedsstaaten die Anbieter zusätzlich zu Zwischenzielen verpflichten: 2 % bis zum 31. Dezember 2014 und 4 % bis zum 31. Dezember 2017. Die über die verbindliche Minderung in Höhe von 6 % bis 2020 hinausgehende Minderung von zwei mal 2 % ist nur ein Richtwert. Die Mitgliedsstaaten können also von den vorgeschlagenen Werten abweichen.

Eine Bilanzierung der Lebenszyklustreibhausgasemissionen bedeutet, dass alle Emissionen von der „Wiege bis zur Bahre“ erfasst werden sollen.

Der genaue Mechanismus zur Erfassung der Emissionsminderung ist wie folgt organisiert:

- » Mitgliedsstaaten verpflichten die Anbieter von Treibstoffen jährlich, ihre gelieferten Treibstoff- und Energiemengen und deren Lebenszyklustreibhausgasemissionen zu melden.
- » Anbieter können sich zusammenschließen und ihre Emissionsreduktionen gemeinsam erbringen.
- » Für Biotreibstoffe ist im Artikel 7d der EU-Richtlinie Kraftstoffqualität ein genauer Mechanismus mit Standardwerten beschrieben.

- » Für fossile Treibstoffe und in Elektrofahrzeugen eingesetzter Strom ist in Artikel 7a Absatz 5 der EU-Richtlinie Kraftstoffqualität ein Komitologieverfahren vorgesehen, in dem das Verfahren zur Berechnung der Lebenszyklusemissionen festgelegt wird.
- » Für elektrischen Strom erfolgt die Messung der Lebenszyklusemissionen nach der EU-Richtlinie Kraftstoffqualität³⁷ in einem Verfahren, dass mit der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie³⁸ vereinbar ist. Nach dieser Richtlinie haben die Mitgliedsstaaten bei der Berechnung des Anteils erneuerbarer Stromerzeugung an der gesamten Stromerzeugung die Wahl zwischen zwei Varianten. Entweder kann der durchschnittliche Anteil der Erneuerbaren-Stromerzeugung an der gesamten Stromerzeugung in der EU oder im jeweiligen Mitgliedsstaat verwendet werden.

Bezug zur Elektromobilität

Ein Anbieter von Strom für Elektroautos könnte mit einem Anbieter von fossilen Kraftstoffen kooperieren. So kann sich der Anbieter von fossilen Kraftstoffen die Emissionsreduktionen der Elektroautos anrechnen lassen, wenn diese z.B. mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Es ist zu erwarten, dass sich unter den Anbietern ein Preis für die Emissionsminderung herausbildet. Für die weitere Bewertung ist es zentral, mit welchem Emissionsfaktor der elektrische Strom bewertet wird. Die EU-Richtlinie Kraftstoffqualität ist in Bezug auf die Leitlinien für die konkrete Berechnung der Lebenszyklusemissionen von Elektrofahrzeugen jedoch (noch) offen und wird sich erst durch Festlegungen in Komitologieverfahren konkretisieren.

Bewertung

Wegen des noch ausstehenden Komitologieverfahrens ist eine abschließende Bewertung nicht möglich.

10.2.7 Kfz-Steuer

Beschreibung des Instruments

Die Neuregelung der Kraftfahrzeugsteuer ist am 1. Juli 2009 in Kraft getreten [39]. Sie besteht aus einem Sockelbetrag, der abhängig von Antriebsart und Hubraumgröße ist. Hinzugekommen ist eine CO₂-bezogene Komponente: Ein CO₂-Freibetrag gilt bis 2011 für Pkw mit einem CO₂-Ausstoß von maximal 120 Gramm pro Kilometer, bis 2012/2013 für Pkw mit maximal 110 g/km und ab 2014 für Pkw mit 95 g/km. Hinzu kommt ein linearer Steuertarif, der jedes weitere Gramm pro Kilometer mit 2 Euro belastet.

Reine Elektro-Pkw sind für fünf Jahre von der Kfz-Steuer befreit. Nach Ablauf der Befreiung werden diese Pkw wie leichte Nutzfahrzeuge nach ihrem verkehrsrechtlich zulässigen Gesamtgewicht besteuert, wobei sich für sie die Steuer um die Hälfte ermäßigt. Im Mai 2011

³⁷ Artikel 7a, Absatz 5 (d) der Richtlinie 2009/30/EG

³⁸ Artikel 3, Absatz 4 der Richtlinie 2009/28/EG

hat die Bundesregierung in ihrem „Regierungsprogramm Elektromobilität“ die Mittel für Forschung und Entwicklung erhöht [1]. Elektrofahrzeuge, die bis Ende 2015 zugelassen werden, sollen für 10 Jahre von der Kfz-Steuer befreit werden.

Bezug zur Elektromobilität

Über die derzeitige Regelung zur Kfz-Steuer hat der Halter eines effizienten Otto-Pkw der Kompaktklasse jährlich rund 60 Euro Aufwendungen, ein Elektro-Pkw hingegen ist steuerbefreit.

Bewertung

Durch die Kfz-Steuerbefreiung ergibt sich ein Steuervorteil von Elektrofahrzeugen gegenüber den Pkw mit konventionellen Verbrennungsmotoren. Dies ist ein seit Jahrzehnten genutztes Mittel, um neue Technologien schneller in den Markt zu bringen (so zum Beispiel die Steuerbefreiungen für das 3- und 5-Liter Auto oder für Fahrzeuge mit besonders fortschrittlichen Abgasstandards). Gerade bei den sehr hohen zusätzlichen Investitionskosten von Elektro-Pkw liegt dieses Förderinstrument nahe, auch wenn die Lenkungswirkung bei der ohnehin recht niedrigen jährlichen Aufwendung für die Kfz-Steuer wahrscheinlich gering sein wird. Der Anteil der Ausgaben über die Gesamtausgaben für einen Otto-Pkw der Kompaktklasse beträgt nur rund 1 % (siehe Tabelle 11).

10.3 Schlussfolgerungen und Zwischenfazit

Die in diesem Kapitel durchgeführte detaillierte Analyse der regulatorischen Rahmenbedingungen zeigt die komplexen Wechselwirkungen zwischen den betroffenen Sektoren und den jeweiligen regulatorischen Rahmenbedingungen. Generell ist zu bedenken, dass bis zum Jahr 2020 die Anzahl der Elektrofahrzeuge noch sehr gering sein wird. Mögliche Auswirkungen der Elektromobilität auf den Ausbau erneuerbarer Energien und die CO₂-Emissionen werden also überschaubar bleiben. Deshalb ist eine Überarbeitung der regulatorischen Rahmenbedingungen nicht dringend, muss jedoch mittel- und langfristig in Angriff genommen werden, damit die betreffenden Regulierungen konsistent bleiben.

Die Schlussfolgerungen zu den einzelnen regulatorischen Bereichen sollen im Folgenden zusammengefasst und nochmals im Gesamtkontext betrachtet werden. Ergänzt werden die Schlussfolgerungen durch einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf sowie einen Exkurs mit einer konkreten Umsetzungsempfehlung für die Flankierung des Ausbaus der Elektromobilität mit einer „harten“ Zusätzlichkeit der erneuerbaren Energien.

- » Die Analyse des Energie- und des Stromsteuergesetzes hat gezeigt, dass die Elektromobilität steuerlich gegenüber konventionellen Fahrzeugen begünstigt wird. Dies könnte langfristig zu Rebound-Effekten und höheren Fahrleistungen führen. Kurzfristig ist dies jedoch wegen der geringen Reichweiten der Elektrofahrzeuge nicht zu erwarten. Langfristig sollte jedoch geprüft werden, ob die Stromsteuer für Elektrofahrzeuge erhöht wird, oder ob größeres Augenmerk auf kilometerbezogene Abgaben gelegt werden könnte (z.B. über Maut).

- » Im Emissionshandel sorgt das langfristig festgelegte Cap dafür, dass ein Ausbau der Elektromobilität nicht zu mehr Emissionen im Emissionshandelssektor führen kann. Durch einen Ausbau der Elektromobilität ergibt sich mittel- und langfristig kein Änderungsbedarf für den Emissionshandel. Wesentlich ist, dass das Cap nicht wegen der zusätzlichen Stromnachfrage von Elektromobilität erhöht werden sollte. Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass im Emissionshandelsmarkt höhere Preise auftreten, wenn der Ausbau der Elektromobilität nicht direkt mit einem Ausbau von EE-Strom verknüpft wird.
- » Die aktuelle Ausgestaltung der Verordnung zur Verminderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen könnte dazu führen, dass die Gesamtemissionen der Fahrzeugflotte nicht niedriger liegen werden als ohne Elektrofahrzeuge. Die Regelungen sollten zukünftig so angepasst werden, dass Elektrofahrzeuge nicht mehrfach angerechnet werden können. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass die CO₂-Grenzwerte anspruchsvoller festgelegt werden können, weil – bedingt durch die Anrechnung der Elektromobilität mit Nullemissionen – insgesamt größere Emissionsreduktionen in der Fahrzeugflotte nicht nur möglich, sondern auch notwendig sind, um die Gesamtemissionen im Verkehrssektor gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität tatsächlich reduzieren zu können.
- » Im Rahmen der Kfz-Steuer wird Elektromobilität steuerlich gegenüber konventionellen Fahrzeugen begünstigt. Auch hier ist langfristig zu prüfen, inwiefern diese Art der Förderung von Elektrofahrzeugen sinnvoll ist.
- » Vor dem Hintergrund der Erneuerbaren-Richtlinie der EU und den weiteren bestehenden Regelungen besteht bisher kein Mechanismus, um sicherzustellen, dass der Ausbau der Elektromobilität einen aktiven Beitrag zur Erreichung der EE-Ziele leisten würde. Dieser Verpflichtung unterliegen vielmehr die sonstigen Akteure, insbesondere im Strom- und Wärmesektor. Durch die Methodik zur Berechnung des Verkehrsziels der Erneuerbaren-Richtlinie mit seiner Mehrfachgewichtung von Elektro-Pkw und der Best-of-Wahlmöglichkeit des nationalen oder europäischen Strommixes ist vielmehr ein impliziter Förderanreiz zum Ausbau der Elektromobilität gegeben. Sinnvoller wäre hier eine Beschränkung auf die EE-Anteile entsprechend des nationalen Strommix, um einen weiteren Anreiz zum Ausbau der Erneuerbaren auf nationaler Ebene zu setzen.
- » Zusätzlich ist zu bemerken, dass der Ausbau der Elektromobilität den Ausbaudruck auf Biokraftstoffe entlastet. Dies führt zu einer erhöhten Flexibilität bei der Zielerreichung zum Ausbau der erneuerbaren Energien. Aber nur wenn durch Nutzung von Elektromobilität auch aktiv ein Ausbau von EE-Strom mit „weicher“ Zusätzlichkeit, also im Rahmen der vorgegebenen EE-Ausbauziele, oder mit „harter“ Zusätzlichkeit über die bestehenden Ziele hinaus gegeben ist, kann von einer verursachergerechten

Lastenverteilung³⁹ gesprochen werden, die beispielsweise mit der alternativen Nutzung von Biokraftstoffen vergleichbar ist. Generell wäre ein Mechanismus im Rahmen einer novellierten Erneuerbaren-Richtlinie sinnvoll, um EE-Mengen zu erzeugen oder beziehen zu können, ohne dass diese auf nationale EE-Ziele angerechnet werden.

- » Das EEG selbst steht in keiner direkten Wechselbeziehung mit dem Ausbau der Elektromobilität. Für Hersteller und Nutzer der Elektromobilität wäre jedoch – ebenso wie für andere Verbraucher auch – die Möglichkeit sinnvoll, EE-Bezugsoptionen mit unterschiedlichen Zusätzlichkeitsqualitäten zu wählen. Hierfür wäre ein erster Schritt, unterschiedliche Qualitätsstufen der Zusätzlichkeit konkret zu definieren.

Entscheidend für die ökologischen Effekte der Elektromobilität hinsichtlich EE-Ausbau und CO₂-Emissionen ist insbesondere die Gesamtanalyse der Wechselwirkungen zwischen den mengensteuernden Instrumenten. In Abbildung 56 sind die Wechselwirkungen zwischen relevanten Regulierungsinstrumenten dargestellt, die auf dem Prinzip der Mengensteuerung beruhen. Außerdem ist aus der Abbildung ersichtlich, welche Gesamteffekte hinsichtlich EE-Mengen und CO₂-Emissionen ein Anstieg der Elektromobilität unter den derzeit gegebenen regulatorischen Rahmenbedingungen bewirkt. Insgesamt werden folgende Effekte deutlich:

- » Aufgrund der umfassenden EE-Ausbauziele bleiben die zu erreichenden relativen EE-Anteile insgesamt konstant.⁴⁰
- » Der Ausbau der EE erfolgt hierbei durch andere Akteure als durch die Hersteller und Nutzer der Elektromobilität.
- » Die CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich bleiben auch bei einem Ausbau der Elektromobilität konstant. Dies gilt unter der Annahme, dass erstens Elektro-Pkw nicht weiterhin mehrfach für die Ermittlung des Flottenemissionswerts angerechnet werden können, sowie dass zweitens konventionelle Fahrzeuge nicht durch vergleichsweise hohe Fahrleistungen insgesamt zu höheren Emissionen im Verkehrsbereich führen. Ansonsten wäre sogar mit erhöhten CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu rechnen.
- » Im Stromsektor erhöhen sich auch bei zusätzlichem Verbrauch durch Elektro-Pkw aufgrund des CO₂-Caps die Gesamtemissionen nicht. Allerdings steigt hierdurch für alle Akteure im ETS-regulierten Bereich der CO₂-Preis.
- » Unter der Annahme, dass die Verlagerungseffekte durch erhöhte Anteile an Elektromobilität sich ausschließlich auf den Strombereich auswirken und der

³⁹ Von einer verursachergerechten Lastenteilung kann gesprochen werden, wenn die Nutzer der Elektrofahrzeuge für den notwendigen Ausbau der erneuerbaren Energien bezahlen.

⁴⁰ Aufgrund des geringeren Endenergiebedarfs von Elektro-Pkw im Vergleich zu konventionellen Pkw und der relativen EE-Ausbauziele ist dabei zu bedenken, dass somit bei höheren Anteilen von Elektromobilität die *absoluten* EE-Mengen insgesamt geringer ausfallen.

Wärmebereich weitestgehend unbeeinflusst bleibt, bleiben aufgrund des CO₂-Caps im Strombereich auch die CO₂-Emissionen im Gesamtsystem konstant.

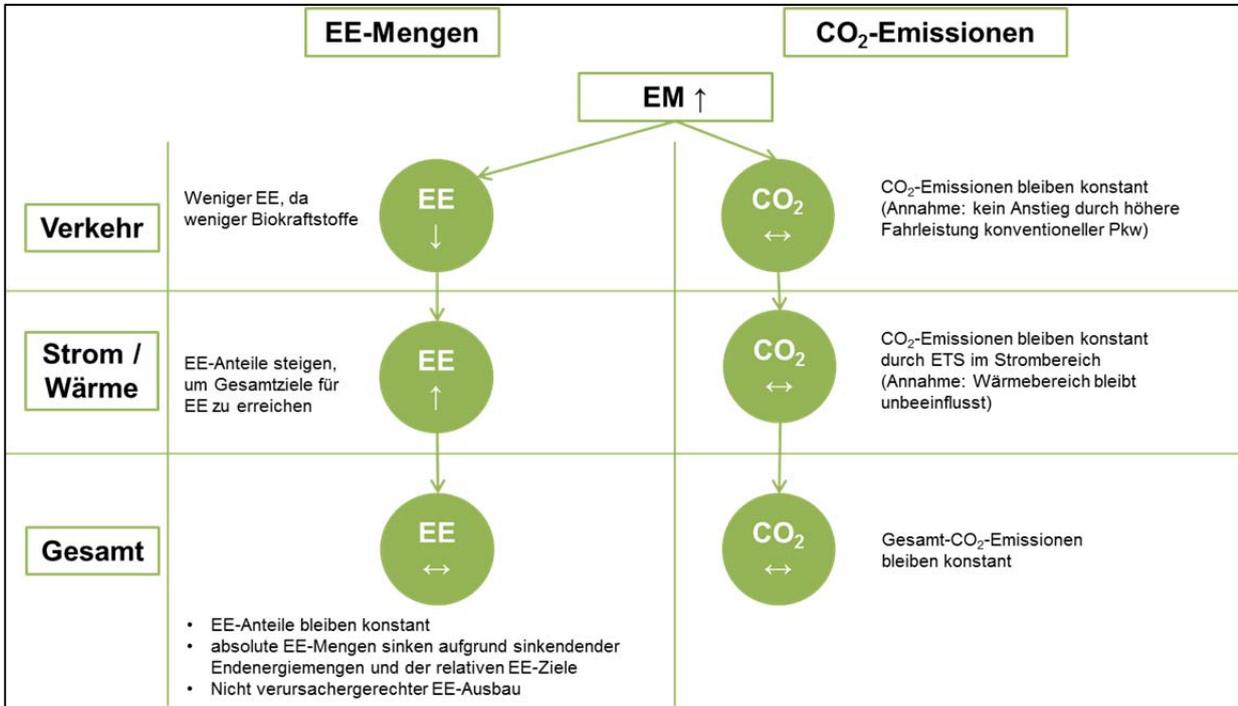


Abbildung 56: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM): Status Quo

Aus Abbildung 57 sowie aus Abbildung 58 werden die Effekte hinsichtlich des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Entwicklung der CO₂-Emissionen ersichtlich, welche sich durch oben schon angesprochene mögliche Anpassungsmaßnahmen ergeben. Dies umfasst zunächst die Anpassung des CO₂-Flottengrenzwerts unter Berücksichtigung der Elektromobilität. Außerdem umfasst es auch einen explizit mit dem Ausbau der Elektromobilität verbundenen Ausbaumechanismus von EE-Strom, sowohl innerhalb der bestehenden EE-Ausbauziele („weiche“ Zusätzlichkeit, siehe Abbildung 57) als auch zusätzlich zu diesen („harte“ Zusätzlichkeit, siehe Abbildung 58).

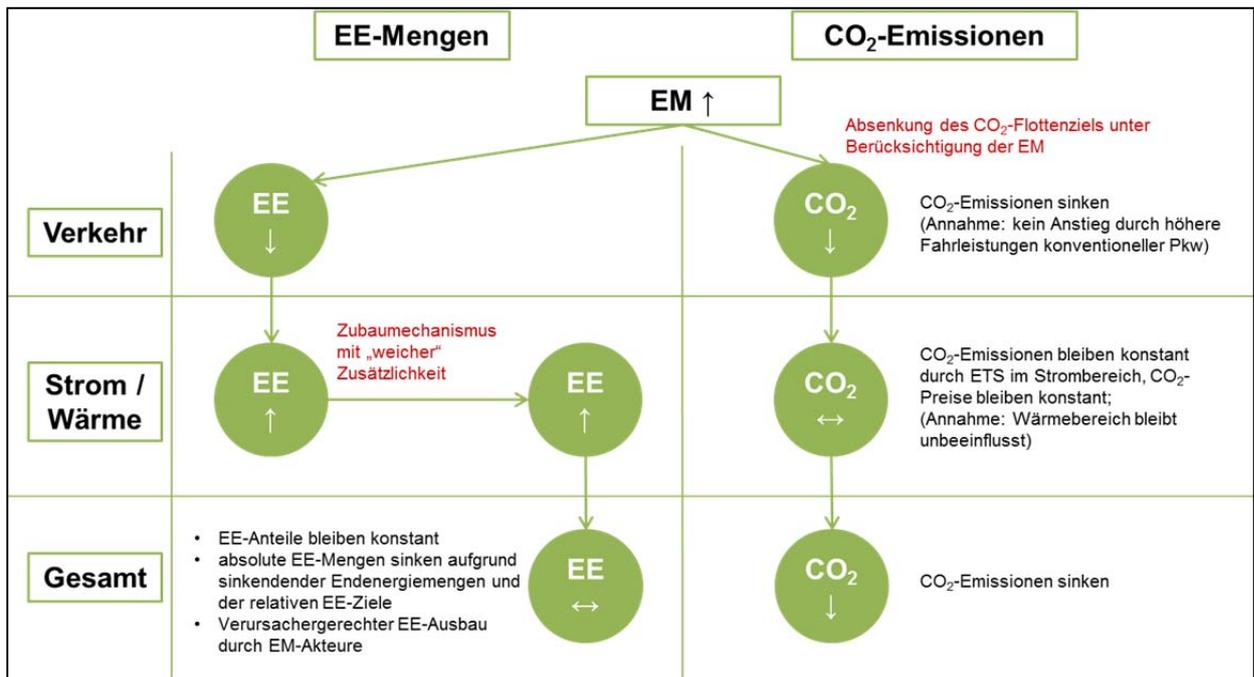


Abbildung 57: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM) unter Berücksichtigung eines angepassten CO₂-Flottengrenzwerts sowie einer EE-Zubauanforderung für Elektromobilität mit weicher Zusätzlichkeit (also innerhalb der bestehenden EE-Ausbauziele)

Hieraus werden folgende Effekte deutlich:

- » Durch eine Fortschreibung der Flottengrenzwerte, die die zunehmende Anzahl von Elektrofahrzeugen berücksichtigt, kann erreicht werden, dass die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor sinken. Hierbei ist jedoch zu beachten, inwiefern konventionelle Pkw ggf. höhere Fahrleistungen aufweisen als Elektro-Pkw und somit diese Absenkung der CO₂-Emissionen wieder kompensieren.
- » Durch eine EE-Strom-Zubauverpflichtung von Akteuren der Elektromobilität können die EE-Ausbauziele mit einer verursachergerechten Kostenallokation erreicht werden.
- » Durch den gezielten Zubau von EE-Strom für den zusätzlichen Verbrauch von Elektro-Pkw bleibt auch der CO₂-Preis für alle Akteure im ETS-regulierten Bereich konstant.
- » Unter der Annahme, dass die Verlagerungseffekte durch erhöhte Anteile Elektromobilität sich ausschließlich auf den Strombereich auswirken und der Wärmebereich weitestgehend unbeeinflusst bleibt, bleiben aufgrund des CO₂-Caps im Strombereich CO₂-Emissionen im Strom- und Wärmebereich konstant.
- » Nach der qualitativen Analyse stellt nur eine EE-Ausbauverpflichtung mit *harter* Zusätzlichkeit, also zusätzlich zu den ohnehin schon bestehenden EE-Ausbauzielen, sicher, dass bei einer verursachergerechten Kostenallokation erstens die Elektromobilität zu einem Ausbau der EE über das Alternativszenario ohne Elektromobilität hinaus führt, und zweitens die CO₂-Gesamtemissionen im Vergleich zu

einem Alternativszenario ohne Elektromobilität gesenkt werden. Ein Zubaumechanismus innerhalb der bestehenden EE-Ziele (also mit „weicher“ Zusätzlichkeit) ist hierfür nicht ausreichend.

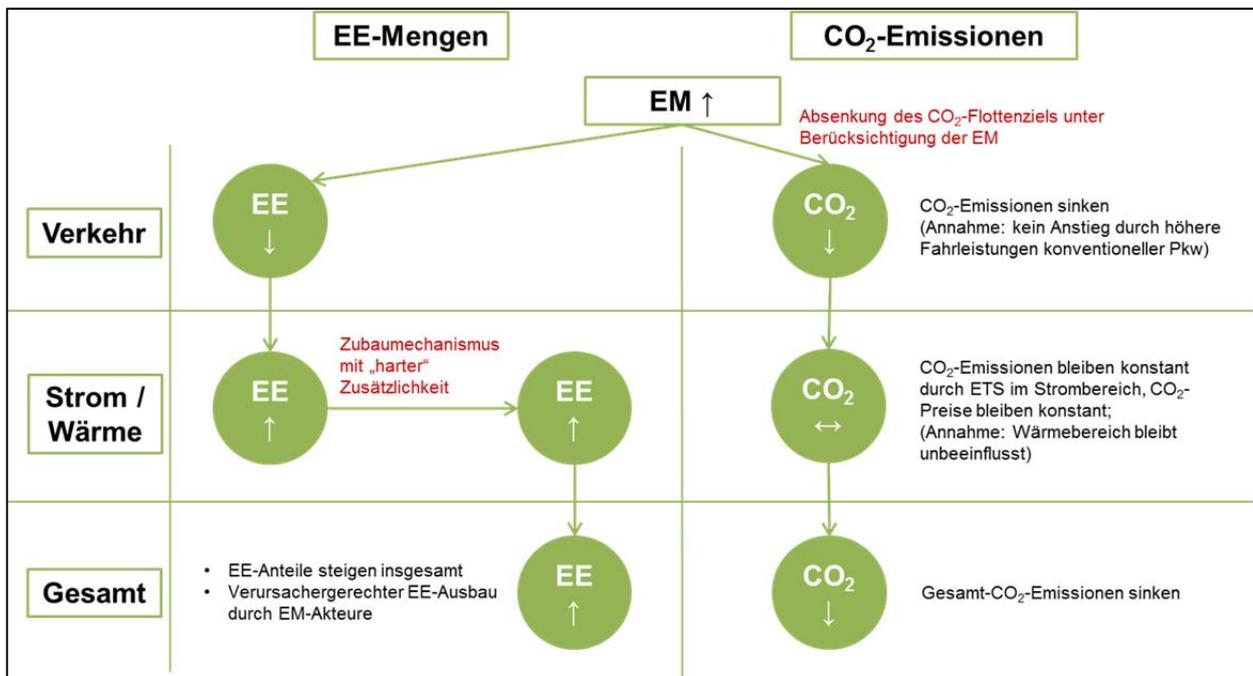


Abbildung 58: Wirkmechanismen der Regulierung im Bereich der Elektromobilität (EM) unter Berücksichtigung eines angepassten CO₂-Flottengrenzwerts sowie einer EE-Zubauanforderung für Elektromobilität mit harter Zusätzlichkeit (also zusätzlich zu den bestehenden EE-Ausbauzielen)

Um die hier qualitativ dargelegten Zusammenhänge konkret im zukünftigen Politikdesign berücksichtigen zu können, wäre es sinnvoll, eine quantitative Betrachtung dieser Effekte vorzunehmen, und dementsprechend konkrete Vorschläge für eine geeignete Ausgestaltung der Politikmaßnahmen zu erarbeiten. Außerdem können in diesem Zusammenhang auch weitere Instrumente hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen betrachtet werden. Dies betrifft beispielsweise auch eine Diskussion möglicher mengensteuernder Instrumente im Wärmebereich. Weiterhin stellt sich nach Vorlage eines Entwurfes für die Berechnungsmethode für den Emissionsfaktor für Strom nach der EU-Richtlinie Kraftstoffqualität die Frage nach der Konsistenz im Bezug zu anderen regulatorischen Rahmenbedingungen.

EXKURS: Realisierungsmöglichkeit für eine „harte“ Zusätzlichkeit von EE im Kontext der Elektromobilität

In diesem Exkurs wird eine konkrete Empfehlung für die Realisierung eines Ausbaus der Elektromobilität in Verbindung mit einer „harten“ Zusätzlichkeit von EE dargestellt. In diesem Zusammenhang sind zunächst folgende konzeptionellen Aspekte relevant:

- » **Definition der „harten“ Zusätzlichkeit:** Als Baseline-Szenario für die Definition dessen, was als „harte“ zusätzliche Nutzung erneuerbarer Energien anzusehen ist, könnten der Nationale Aktionsplan Erneuerbare Energien (NAEE) der Bundesregierung und das in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2009/28/EG festgelegte Ziel eines Anteils der erneuerbaren Energien von 18 % am gesamten Energiebedarf des Jahres 2020 angesehen werden.

Damit eine Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, die im Kontext der Entwicklung der Elektromobilität zusätzlich stimuliert wird, gegenüber dieser Baseline zusätzlich sein kann, müsste die Bundesregierung sich einerseits dazu verpflichten, das Gesamtziel für den Anteil erneuerbarer Energien am Energiebedarf Deutschlands im Jahr 2020 um die entsprechende Strommenge überzuerfüllen und zugleich diese Menge nicht im Rahmen der Kooperationsmechanismen der Richtlinie 2009/28/EG an andere Länder zu übertragen.⁴¹

Sofern diese Bedingung erfüllt ist, könnte als weiteres Kriterium der Zusätzlichkeit festgelegt werden, dass EE-Anlagen neu errichtet werden müssen, die die erforderliche Strommenge bereitstellen, und dass diese keine EEG-Vergütung in Anspruch nehmen dürfen (weder eine Vollvergütung noch eine Marktprämie, wie sie das EEG 2012 vorsieht). Hiermit wird erreicht, dass die aktuell relativ hohe Belastung der Verbraucher durch die Umlage der Mehrkosten des EEG graduell entlastet wird. Als „neu errichtet“ könnten Anlagen mit einem Inbetriebnahmedatum nach Verabschiedung der hier vorgeschlagenen Regelungen angesehen werden.

- » **Anforderungen an die zeitliche Korrelation der zusätzlichen EE-Stromerzeugung mit dem Strombedarf der Elektromobilität:** Aus ökologischer Sicht müssten in jedem Jahr so viele EE-Anlagen zugebaut werden, dass deren jährliche Stromerzeugung ausreicht, um den Strombedarf der in diesem Jahr betriebenen Elektrofahrzeuge rechnerisch zu decken. Eine Anforderung nach einer „zeitgleichen“ Stromerzeugung mit dem Ladestrombedarf der Elektrofahrzeuge erscheint nicht erforderlich, da der Betrieb der EE-Anlagen sowie das Lademanagement der Elektrofahrzeuge im Kontext des gesamten Systems der Stromversorgung optimiert werden sollten, und nicht als isoliertes Teilsystem.

Hinzuweisen ist in diesem Kontext darauf, dass EE-Kraftwerke im Regelfall eine längere technische Nutzungsdauer haben als Elektrofahrzeuge. Sofern es langfristig tatsächlich zu einer höheren zusätzlichen EE-Stromerzeugung kommt, als es dem Strombedarf der dann noch in Betrieb befindlichen Elektrofahrzeuge entspricht, könnte die Zubauanforderung für weitere Elektrofahrzeuge zu diesem Zeitpunkt evtl. reduziert werden. Bis dahin könnte dieser theoretische Überschuss jedoch als Sicherheitsreserve behandelt und nicht von vornherein verplant werden.

- » **Verursachergerechte Aufbringung der nötigen Mittel:** Zu fragen ist, wer die Kosten für den zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien tragen sollte. Mit dem o.g. Vorschlag, die entsprechenden Anlagen ohne Vergütung durch das EEG zu betreiben,

⁴¹ Vgl. hierzu die Stellungnahme des vom Öko-Institut unterstützten EnergieVision e.V. zum Entwurf des Europarechtsanpassungsgesetzes Erneuerbare Energien (EAG EE) vom 9. Juni 2010.

wird erreicht, dass die Refinanzierung der erforderlichen Investitionen nicht automatisch über die Allgemeinheit der Stromverbraucher erfolgt.

Im Sinne einer verursachergerechten Zuordnung der Kosten kann es als sinnvoll angesehen werden, die Nutzer der Elektrofahrzeuge zu verpflichten, die Differenzkosten des zusätzlichen EE-Stroms im Vergleich zum Marktwert dieses Stroms zu finanzieren. Eine grobe Überschlagsrechnung zeigt, dass diese Kosten in absoluter Höhe keinesfalls prohibitiv wären:

Tabelle 12: Annahmen für eine Überschlagsrechnung zu den Mehrkosten für EE-Strom

Fahrleistung je Fahrzeug	km/a	10.000	
Spezifischer Strombedarf	kWh/a	17	
Strombedarf je Fahrzeug und Jahr	MWh/a	1,70	
Variante Mehrkosten EE		<i>niedrig</i>	<i>hoch</i>
Mehrkosten zusätzlicher EE-Strom	Euro/MWh	20	60
Mehrkosten je Fahrzeug und Jahr	Euro/a	34	102
Nutzungsdauer der Fahrzeuge	a	10	10
Mehrkosten je Fahrzeug über Nutzungsdauer	Euro	340	1.020

Hierbei wurde als niedrige Variante für die Differenzkosten von EE-Strom ein Wert angesetzt, der etwa der Kostendifferenz zwischen Onshore-Windkraft und dem Wert des EEG-Stroms gemäß EE-Leitstudie 2010 für die Jahre 2016 bis 2020 entspricht. Die höhere Variante geht davon aus, dass ein Anlagenmix unter Einbezug von Offshore-Windkraft und Photovoltaik zugebaut wird, was zu höheren Differenzkosten führt.

Demnach könnte der erforderliche zusätzliche Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit Zusatzkosten zwischen 2 und 6 ct/kWh finanziert werden. Die Gesamtkosten pro Fahrzeug und Jahr würden sich auf lediglich 34 bis circa 100 Euro belaufen.

Allerdings ist bei der Allokation der Kosten für den zusätzlichen Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu berücksichtigen, dass der Ausbau der Elektromobilität und deren (ggf. mehrfache) Anrechnung auf die Flottenemissionswerte der Fahrzeughersteller dazu führen könnten, dass die Fahrzeughersteller Kosten bei der Entwicklung von effizienteren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor einsparen (bzw. diese auf einen späteren Zeitpunkt verschieben können). Insofern könnte es als gerechtfertigt angesehen werden, dass die Fahrzeughersteller einen Teil dieser eingesparten Kosten als Kostenbeitrag für den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien leisten. In diesem Falle könnte der Beitrag der Nutzer von Elektrofahrzeugen entsprechend reduziert werden.

- » **Bedeutung eines individuellen Strombezugs aus erneuerbaren Energien:** In der bisherigen Diskussion zur Elektromobilität wird oftmals implizit davon ausgegangen, dass die Elektrofahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien beliefert werden. Die Debatte zur Zusätzlichkeit im Ökostrommarkt hat jedoch gezeigt, dass ein Strombezug

aus erneuerbaren Energien ohne weitere Kriterien keinen positiven Umwelteffekt leistet. Vielmehr muss ein konkreter Beitrag des Ökostromkunden zum Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien geleistet werden. Der Grund hierfür liegt in dem deutlichen Überangebot an Strom aus erneuerbaren Energien in Europa, an dem sich auf absehbare Zeit auch kaum etwas ändern wird.⁴²

In Deutschland erfolgt die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien prinzipiell auf Seiten der Stromerzeugung, und nicht etwa mit Anreizen für den Verbrauch von „grünem“ Strom, wie dies z.B. in den Niederlanden einige Jahre der Fall war. Von daher würde es nicht in den nationalen Kontext passen, wenn der Bezug von Strom aus erneuerbaren Energien in Deutschland zur Bedingung für eine staatliche Förderung oder Privilegierung von Elektrofahrzeugen gemacht werden würde.

Als Konsequenz aus der o.g. Diskussion zur Zusätzlichkeit im Ökostrommarkt kann vielmehr gefolgert werden, dass ein ökologischer Nutzen nicht durch den Bezug von Strom erzielt wird, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wurde. Vielmehr wird dieser Nutzen allein durch den Effekt erzielt, den die Nachfrage nach Ökostrom auf die Investitionen in neue Kraftwerke zur Nutzung von erneuerbaren Energien hat. Insofern könnte ein Fördermodell eingerichtet werden, in dem die Nutzer der Elektrofahrzeuge beliebigen Strom zur Aufladung ihrer Fahrzeuge verwenden, zugleich aber ein angemessener Förderbetrag in Abhängigkeit von der geladenen Strommenge in einen Fonds eingezahlt wird, aus dem die Mehrkosten von EE-Kraftwerken im Vergleich zum Marktwert des von ihnen erzeugten Stroms beglichen werden. Ein solches Modell würde auch das Roaming erleichtern, da es nicht erforderlich wäre, dass die Fahrzeugnutzer den Ladestrom immer von einem bestimmten Stromanbieter beziehen. Allerdings wäre es erforderlich zu gewährleisten, dass die Menge des durch die Fahrzeuge geladenen Stroms geeignet erfasst wird. Auf diese Weise könnte der Fonds vollkommen unabhängig vom Lieferverhältnis beim Strombezug gefüllt werden (evtl. sogar mit einem Beitrag der Fahrzeughersteller, vgl. oben).

Unabhängig von diesen Überlegungen ist davon auszugehen, dass ein nennenswerter Anteil der Nutzer von Elektrofahrzeugen ein Ökostrom-Angebot wählen wird, das auch eine Belieferung mit Strom aus erneuerbaren Energien beinhaltet. Eine solche Belieferung entspricht nach bisherigem Wissensstand schlichtweg der weit verbreiteten Erwartung der Nutzer. Sofern eine Anforderung zur Einzahlung in den Fonds eingeführt wird, müsste diese jedoch unabhängig von der konkreten Art der Belieferung des Kunden greifen.

Eine wesentliche Empfehlung für die politische Flankierung des Ausbaus der Elektromobilität ist es daher, einen derartigen Fonds zur Förderung des Ausbaus der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien einzurichten. Bei dessen Ausgestaltung kann auf die Erfahrungen mit ähnlichen Konstruktionen im bisherigen Ökostrommarkt zurückgegriffen werden. Hierfür erscheinen folgende Erwägungen relevant:

⁴² Eine andere Situation würde sich hier allenfalls ergeben, wenn die europäischen Länder mit hohen Potenzialen zusätzlicher Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien die Förderung neuer Anlagen überwiegend durch ein dem aktuellen deutschen EEG vergleichbares Einspeisemodell realisieren würden, nach dem die geförderte Strommenge dem Ökostrommarkt nicht zur Verfügung steht. Eine solche Entwicklung ist derzeit allerdings nicht zu erkennen.

- » **Höhe der erforderlichen Einzahlungen:** Aus heutiger Sicht kann nicht genau angegeben werden, wie hoch die Einzahlungen in den Fonds sein müssen, um die gewünschte zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu bewirken. Neben der Unsicherheit über die Anzahl der in den Markt gebrachten Elektrofahrzeuge und deren Fahrleistung und Strombedarf ist insbesondere unklar, wie die Ausschüttungen des Fonds konkret gestaltet werden sollen und welche Mehrkosten für die erneuerbare Stromerzeugung und welche Transaktionskosten durch den Fonds zu decken wären. Hier wären ggf. Szenariorechnungen durchzuführen, um die erforderlichen Größenordnungen abzuschätzen. Aus heutiger Sicht ist jedoch davon auszugehen, dass ein Fondsbeitrag von deutlich mehr als 2 ct/kWh erforderlich wäre, um eine zusätzliche EE-Stromerzeugung in Höhe des verbrauchten Fahrstroms anzustoßen.
- » **Verantwortung für den Fonds:** Bisher war hier vereinfachend von einem Fonds die Rede. Aus Gründen der Effizienz und der Transparenz bietet es sich tatsächlich an, einen einheitlichen Fonds auf nationaler Ebene zum Zweck der Förderung einer zusätzlichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien für die Elektromobilität zu schaffen, und nicht eine größere Zahl von Fonds verschiedener Akteure. Aus der oben stehenden groben Überschlagsrechnung ergibt sich, dass ein solcher Fonds auf nationaler Ebene im Jahr 2020 ein Volumen von circa 34 bis 100 Millionen Euro jährlich ausschütten müsste. Es ist offensichtlich, dass ein solcher nationaler Fonds ein professionelles, unabhängiges Management und eine effektive Überwachung erfordert (vgl. hierzu weiter unten).

Sofern es zur Einrichtung eines Fonds auf nationaler Ebene kommt, wäre zu klären, welche Organisation die Verantwortung für den Fonds innehaben soll. Hierbei drängt sich ein Zusammenhang mit der Frage auf, über welchen Mechanismus der Fonds gespeist wird. Denkbar wäre es, dass die Lieferanten des Fahrstroms den Fondsbeitrag in den Strompreis einkalkulieren. In diesem Falle wäre es denkbar, dass jeder Stromlieferant einen eigenen Fonds managt. Besser geeignet erscheint jedoch die Möglichkeit, dass ein gemeinsamer Dienstleister der Stromwirtschaft (z.B. koordiniert durch den Dachverband BDEW) das Management eines zentralen Fonds übernimmt. Als Alternative wäre es denkbar, dass die Fondsmittel aus der Fahrzeugindustrie kommen (und daher zumindest teilweise in die Preise oder Leasingraten der Fahrzeuge eingepreist werden), dann käme wiederum ein eigener Fonds je Fahrzeughersteller oder ein gemeinsamer Fonds auf Ebene des VDA in Frage. Denkbar wären zudem weitere Konstruktionen für die Aufbringung der Mittel sowie in allen Varianten auch die Möglichkeit eines unabhängigen Dritten, der die Verantwortung für den Fonds z.B. unter der Aufsicht der Bundesregierung übernimmt. Hier wären ggf. die praktische Realisierbarkeit verschiedener Modelle und auch relevante rechtliche Fragen zu prüfen.

- » **Regeln für zeitnahe und effiziente Verwendung der Fondsmittel:** Wie bei allen Fondskonstruktionen ist es entscheidend, dass klare Regeln für die zeitnahe und effiziente Verwendung der zur Verfügung stehenden Mittel festgelegt werden. Dies betrifft nicht nur die Frage, wie hoch der Anteil der Verwaltungskosten am gesamten Fondsvolumen sein darf, sondern auch die Frage, nach welchen Verfahren und für

welche Projekte der Fonds seine Mittel vergeben soll. Zum Kriterium der Effizienz gehört auch die Frage, mit welchem Betrag ein bestimmtes Projekt aus dem Fonds finanziert werden darf. Von zentraler Bedeutung ist hier ein Mechanismus, der dafür sorgt, dass die Mittel in dem Sinne effizient eingesetzt werden, dass je eingesetztem Geldbetrag eine möglichst hohe zusätzliche EE-Stromerzeugung realisiert wird. Dies bedeutet, dass die Projekte möglichst nahe an der Wirtschaftlichkeit sein sollten. Als zusätzliche Rahmenbedingungen könnte dem Fonds jedoch ein Technologie-Portfolio vorgegeben werden (z.B. ein Mindestanteil an marktferneren Technologien wie der Photovoltaik), um dem potenziellen Vorwurf entgegen zu treten, der Fonds würde sich die kostengünstigsten Projekte herausuchen und die teureren Projekte müssten über das EEG von der Allgemeinheit finanziert werden.⁴³

Sinnvoll erscheint es ferner, die Erfolgskriterien des Fonds so zu definieren, dass die Verantwortlichen für den Fondsbetrieb ein hohes Eigeninteresse an einem zeitnahen und im vorstehend beschriebenen Sinne effizienten Einsatz der Fondsmittel haben.⁴⁴ So reicht die Förderung einer Investition in EE-Anlagen nicht aus, vielmehr müssen die Anlagen dann auch langfristig effizient betrieben werden. Solche Anreize könnten z.B. dadurch erzeugt werden, dass dem Fonds einerseits ein quantitatives Ziel für die zu realisierende zusätzliche EE-Stromerzeugung vorgegeben wird und andererseits die Verantwortlichen des Fonds ein Eigeninteresse bekommen, die Einzahlung in den Fonds je Strommenge Fahrstrom so gering wie möglich zu halten.

- » **Verfahren für die Vergabe von Fondsmitteln:** Als Teil der Regelungen für eine effiziente Verwendung der Fondsmittel sollten auch Vorgaben für die Vergabe der Fondsmittel gemacht werden. Hier sollten transparente und nichtdiskriminierende Verfahren zum Einsatz kommen und die Verantwortlichen für den Fonds dürfen nicht mit den Interessen potenzieller Anbieter verwoben sein. Denkbar wäre in einer Anfangsphase evtl. ein einfaches Ausschreibungsverfahren durch eine neutrale Stelle. Zu einem späteren Zeitpunkt könnten auch andere Verfahren zur Mittelvergabe zum Einsatz kommen, die den Investoren (ähnlich wie das weiterhin dominante EEG) ein längerfristig zuverlässiges Investitionsklima schaffen. Bei allen Verfahren ist darauf zu achten, dass die Investoren Anreize für ein möglichst kosteneffizientes Vorgehen erhalten und dass keine „windfall profits“ für die am Projekt Beteiligten entstehen.
- » **Transparenz- und Berichtspflichten:** Zudem müssten dem Fonds angemessene Verpflichtungen zur Schaffung von Transparenz über seine Arbeit sowie zur Berichterstattung auferlegt werden.

Vorschlag zur konkreten Implementierung

⁴³ Dieser Vorwurf ist allerdings eher theoretischer Natur. Er relativiert sich allein schon durch das Verhältnis des hier diskutierten Fondsvolumens von maximal 100 Mio. Euro in 2020 zu der nach der Leitstudie 2010 erwarteten EEG-Kostenumlage von 9 bis 11 Mrd. Euro im gleichen Jahr.

⁴⁴ Bei der Definition der Kriterien für das Ökostrom-Label „ok-power“ wurde für die Zertifizierung von Produkten nach dem sog. Fondsmodell eine Formel entwickelt, die den Umweltnutzen einer neuen EE-Anlage entsprechend der finanziellen Beiträge aus verschiedenen Quellen zuordnet. Allerdings wird bei diesen Produkten die Förderung aus den Fonds der Ökostrom-Anbieter zusätzlich zur EEG-Vergütung gegeben, so dass dieses Verfahren auf die hier behandelte Fragestellung nur eingeschränkt übertragbar ist.

Zur Finanzierung des in diesem Exkurs vorgeschlagenen Fonds zur Förderung von Investitionen in zusätzliche EE-Stromerzeugung könnten also die Fahrzeugnutzer und ggf. anteilig auch die Fahrzeughersteller herangezogen werden. Damit die durch den Fonds geförderten, neuen EE-Anlagen auch „hart“ zusätzlich sind, ist zudem eine Selbstverpflichtung der Bundesregierung zur Nichtanrechnung der betreffenden EE-Mengen bei den nationalen Zielen der EE-Richtlinie erforderlich.

Kompakt zusammengefasst müssten die folgenden Schritte realisiert werden, um das hier skizzierte Modell der Koppelung der Elektromobilität mit „harten“ zusätzlichen erneuerbaren Energien umzusetzen:

- » Die Bundesregierung könnte mit den Fahrzeugherstellern vereinbaren, dass ein Zubau von zusätzlichen Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien, die den Strombedarf der Elektromobilität in jedem Kalenderjahr rechnerisch abdecken und ohne öffentliche Förderung errichtet und betrieben werden, die Voraussetzung dafür ist, dass die Elektromobilität im Rahmen der Verordnung zur Minderung der CO₂-Emissionen bei neu zugelassenen Pkw auch künftig mit Nullemissionen angerechnet werden kann.
- » Die Fahrzeughersteller müssten sich in diesem Kontext um den Aufbau eines Fonds zur Förderung solcher Anlagen kümmern. Dieser könnte durch die Fahrzeughersteller selbst, durch die Energiewirtschaft oder durch einen unabhängigen Dritten eingerichtet und betrieben werden. Die Fahrzeughersteller müssten letztlich die notwendigen Einzahlungen in den Fonds garantieren. Hierzu können sie für ihre Kunden entsprechende Geschäftsmodelle entwickeln sowie eigene Beiträge leisten, die durch die Kosteneinsparungen im Zusammenhang mit der o.g. EU-Verordnung gerechtfertigt sein könnten.
- » Alternativ zu den für die Fahrzeugnutzer freiwilligen Geschäftsmodellen der Fahrzeughersteller könnte die Bundesregierung prüfen, ob und auf welche Weise eine Verpflichtung der Nutzer von Elektrofahrzeugen und/oder der Hersteller dieser Fahrzeuge zur Einzahlung von Beiträgen in den Fonds eingeführt werden kann. Zur Abwicklung einer Verpflichtung der Fahrzeugnutzer könnten ggf. auch die Energieversorgungsunternehmen herangezogen werden, die den Fahrstrom für Elektromobilität bereitstellen.
- » Im Gegenzug zur Finanzierung zusätzlicher EE-Anlagen durch die Elektromobilität ohne Inanspruchnahme einer öffentlichen Förderung könnte die Bundesregierung sich langfristig dazu verpflichten, die Stromerzeugung der aus dem Fonds heraus geförderten Anlagen nicht auf das nationale Ausbauziel für erneuerbare Energien gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG anzurechnen und die entsprechenden Überschussmengen auch nicht an andere Länder zu übertragen.

Durch diese Maßnahmen könnte die Bereitstellung „harten“ zusätzlichen EE-Stroms für die Elektromobilität sichergestellt werden. Details der Umsetzung dieser Maßnahmen müssten näher untersucht und ausgearbeitet werden.

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ausgehend von den Erkenntnissen des Flottenversuchs „E-Mobility Berlin“ mögliche Marktpotenziale von batterieelektrischen Pkw bis zum Jahr 2030 im Rahmen von Szenarioanalysen zu bestimmen, deren CO₂-Emissionen zu bilanzieren und im Kontext des bestehenden regulatorischen Umfeldes zu diskutieren. Die Interaktion von Elektromobilität und Stromwirtschaft stellt die wesentliche Einflussgröße für die CO₂-Minderungspotenziale von Elektrofahrzeugen dar. Im Rahmen einer Strommarktmodellierung werden die möglichen Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft bis zum Jahr 2030 dargestellt und bilden die Grundlage für die CO₂-Bilanzierung.

Den Ausgangspunkt der Analysen bildet die Diskussion der weiteren technologischen Entwicklungsperspektiven sowie der zukünftigen Rahmenbedingungen von Elektromobilität, welche in Form eines konsistenten Szenarios die Grundlage für die Betrachtung der Marktentwicklung von batterieelektrischen Pkw darstellen. Die Simulation der Marktentwicklung berücksichtigt dabei sowohl die möglichen technischen Restriktionen des Fahrzeugeinsatzes anhand heutiger Pkw-Einsatzmuster als auch die Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit von batterieelektrischen Fahrzeugen. Die Betrachtung unterscheidet zwischen privater und gewerblicher Anwendung. In Kombination mit Annahmen zur Entwicklung des Angebots an batterieelektrischen Fahrzeugen wird die Marktentwicklung von batterieelektrischen Pkw bis 2030 abgeleitet. Mobilitätsdatenbasierte Wochennutzungsprofile von batterieelektrischen Pkw ermöglichen dann die Darstellung der Stromnachfrage in hoher zeitlicher Auflösung und bilden die Grundlage für die Simulation der Effekte im Strommarkt. Über das Strommarktmodell PowerFlex können der Kraftwerkseinsatz dargestellt und die Emissionen der zusätzlichen Strombereitstellung für unterschiedliche Kraftwerksvarianten quantifiziert werden. Die ermittelten CO₂-Emissionsfaktoren dieser zusätzlichen Stromerzeugung bilden wiederum die Grundlage für die Betrachtung der CO₂-Bilanz von batterieelektrischen Pkw auf Einzelfahrzeugebene und im Kontext des Gesamt-Pkw-Bestands für die zuvor bestimmte Marktentwicklung von batterieelektrischen Pkw.

Eine Diskussion der regulatorischen Rahmenbedingungen von Elektromobilität trägt dem Umstand einer zunehmenden Wechselwirkung von Verkehrs- und Energiesektor Rechnung und zeigt Wege auf, wie auch durch die Weiterentwicklung regulatorischer Maßnahmen ein Klimaschutzbeitrag von Elektromobilität frühzeitig gewährleistet werden kann.

Die Ergebnisse der Simulation zur Marktentwicklung von batterieelektrischen Pkw zeigen, dass rein batterieelektrische Fahrzeuge – also ohne die Berücksichtigung von Plug-In-Hybriden – bis zum Jahr 2030 knapp die eine Million-Marke im deutschen Pkw-Bestand erreichen können. Sie hätten damit zu diesem Zeitpunkt einen Anteil von etwa 2 % am Pkw-Bestand.

Bezüglich der heutigen Pkw-Einsatzmuster und unter Berücksichtigung der technischen Restriktionen von Elektrofahrzeugen ergeben sich für gewerbliche Flottenfahrzeuge im Vergleich zu Privat-Pkw zunächst höhere Potenziale, da durch die Flexibilität eines Fahrzeugpools beispielsweise die eingeschränkte Reichweite kompensiert werden kann.

Die Akzeptanz von batterieelektrischen Fahrzeugen – die zweite zentrale Einflussgröße auf die Marktentwicklung – steht unter umgekehrten Vorzeichen. Während private Pkw-Halter neben Kostenaspekten auch andere Kriterien mit in ihre Entscheidung einbeziehen und teilweise bereits zu einem frühen Zeitpunkt batterieelektrische Pkw kaufen würden, zeigen die Ergebnisse der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Unternehmensbefragung, dass

gewerbliche Kunden auch weiterhin den Gesamtkosten bei der Fahrzeugbeschaffung den größten Stellenwert beimessen. Auf Basis der TCO-Modellierung ergibt sich daher für gewerbliche Kunden erst nach 2020 – mit zunehmender Wirtschaftlichkeit von batterieelektrischen Fahrzeugen – ein deutlicher Anstieg der Akzeptanz.

Mit Bezug auf die absolute Zahl an batterieelektrischen Pkw nimmt zwar die Bedeutung des gewerblichen Einsatzes bis zum Jahr 2030 zu, angesichts eines Anteils von lediglich 5 % am Pkw-Bestand wird die Gesamtzahl batterieelektrischer Fahrzeuge jedoch auch 2030 maßgeblich durch die Entwicklung im privaten Bereich bestimmt.

Welche CO₂-Effekte sich durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen ergeben, zeigen die Ergebnisse der Strommarktmodellierung zum veränderten Kraftwerkseinsatz bei einer zusätzlichen Stromnachfrage von Elektromobilität unter Berücksichtigung mehrerer Kraftwerksparkvarianten und Batterieladestrategien.

Wesentliches Ergebnis ist, dass nur in Kombination mit dem Ausbau zusätzlicher Erneuerbare-Energien-Anlagen batterieelektrische Pkw eine CO₂-Minderung gegenüber einer Entwicklung ohne Elektromobilität erzielen können. Bezogen auf den Bestand von etwa 900.000 batterieelektrischen Fahrzeugen im Jahr 2030 würden sich so die CO₂-Emissionen des Pkw-Bestands in Deutschland um über 740.000 Tonnen pro Jahr verringern – dies entspricht etwa 0,9 % der Gesamtemissionen aller Pkw in Deutschland im Jahr 2030. Da die durchschnittliche Fahrleistung von batterieelektrischen Pkw im gewerblichen Bereich etwa 60 % über der privaten Nutzung liegt, sind auf Einzelfahrzeugebene in der gewerblichen Anwendung größere Minderungseffekte zu beobachten.

Die Strommarktmodellierung zeigt weiter, dass Elektrofahrzeuge ohne Lademanagement vor allem am Abend zusätzliche Nachfragespitzen verursachen, die jedoch bei Anwendung eines Lademanagements vermieden werden können. Ein preisoptimiertes Lademanagement, wie es im Rahmen dieses Vorhabens modelliert wurde, führt im Jahr 2030 dazu, dass ansonsten überschüssiger erneuerbarer Strom zu einem – allerdings noch geringen – Teil genutzt werden kann. Eine wirklich erneuerbare Stromerzeugung für den Bedarf der Elektrofahrzeuge wird nur beim Zubau von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung erreicht, die im Basisszenario ohne Elektromobilität nicht vorhanden wären.

Wie die Analysen deutlich aufzeigen, ergibt sich durch die zunehmende Marktentwicklung von Elektromobilität eine verstärkte Interaktion des Verkehrs- und Energiesektors, die auch unter regulatorischen Gesichtspunkten bisher weitestgehend unabhängig voneinander betrachtet wurden. Für die zukünftige Ausgestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen stellt dies eine besondere Herausforderung dar, da sich beispielsweise im Bereich Elektromobilität die nach Top-Down-Ansätzen ausgestalteten Mengenregulierungen für die Stromerzeugung (Emissionshandel und Förderung erneuerbarer Energien) mit den eher am Nutzer ansetzenden Bottom-Up-Ansätzen des Verkehrssektors (z.B. CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw) überschneiden. Gleichzeitig zeigen die Analysen im Rahmen dieses Vorhabens, dass bei den heute geltenden Rahmenbedingungen Elektrofahrzeuge nicht zwingend einen Beitrag zum Klimaschutz leisten und eine Anpassung der regulatorischen Maßnahmen notwendig ist, um einen relevanten Klimaschutzbeitrag von Elektromobilität in Zukunft sicherzustellen.

Bis zum Jahr 2020 – dem Zeitpunkt, bis zu dem spätestens die meisten der relevanten Regulierungen neu ausgestaltet werden – wird die Anzahl der Elektrofahrzeuge zwar noch recht gering sein. Insbesondere mit Blick auf den langfristigen Klimaschutzbeitrag von Elektromobilität ist jedoch eine frühzeitige Weichenstellung erforderlich. Denn wie die

Analysen dieses Vorhabens aufzeigen: Elektromobilität kann auch bis zum Jahr 2030 bereits einen relevanten Beitrag zur Minderung von Energiebedarf und CO₂-Emissionen leisten. Dies ist jedoch kein Automatismus, sondern es setzt voraus, dass ein zusätzlicher Ausbau erneuerbarer Energien initiiert wird. Um als Technologie für die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele zur Verfügung zu stehen, sollte Elektromobilität bereits frühzeitig ihre Potenziale zur Minderung der CO₂-Emissionen in einer Energiewelt mit einem zunehmenden Anteil an erneuerbaren Energien unter Beweis stellen.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesregierung, *Regierungsprogramm Elektromobilität*. 2011.
- [2] NPE, “Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität - Anhang.” Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, 2011.
- [3] DLR, Fraunhofer, IWES, und InfE, *Leitstudie 2010. Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. BMU - FKZ 03MAP146*. 2010.
- [4] EWI, GWS, und Prognos, *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Basel, Köln, Osnabrück: , 2010.
- [5] MiD, “MiD 2008 Mobilität in Deutschland 2008,” 2008.
- [6] KiD, “Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen - Phase 2, Hauptstudie (Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland - KiD 2002) - Schlussbericht Band 1 -,” Nr. 70, 2002.
- [7] J. Nitsch et al., *Leitstudie 2010. Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. BMU - FKZ 03MAP146*. 2010.
- [8] F. C. Matthes, S. Gores, R. O. Harthan, L. Mohr, and G. Penninger, *Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel*. 2009.
- [9] Entso-e, “Consumption Data,” 2008. [Online] <https://www.entsoe.eu/db-query/country-packages/production-consumption-exchange-package/>.
- [10] Öko-Institut, “GEMIS - Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme Version 4.7.” Öko-institut e.V., 2011.
- [11] Öko-Institut e.V., *OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen - Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft*. Berlin: , 2011.
- [12] KBA, “Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2011,” 2011. .
- [13] H. Hautzinger, W. Stock, K. Mayer, J. Schmidt, and D. Heidemann, “Fahrleistungserhebung 2002 Band 1: Inländerfahrleistung 2002,” Nr. November, 2004.
- [14] KEMA, “„ Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen und Flottenmanagement unter dem Aspekt der Elektromobilität in der Modellregion Sachsen “ Ergebnisse der Befragung potenzieller Anwendergruppen zum Abschluss des Projektes SaxMobility August 2011,” no. August, 2011.

- [15] W. Kiersdorf, *Wahrnehmung und Beurteilung der Nutzungskosten von Automobilen (Cost-of-Ownership)*, 11. ed. Berlin: AutoUni - Schriftenreihe, 2010, p. 441.
- [16] P. Mock, "Entwicklung eines Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktanteile und CO₂-Emissionen von Kraftfahrzeugen (VECTOR21)," *Simulation*. DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Institut für Fahrzeugkonzepte Stuttgart, 2010.
- [17] G. Stegmeier und B. Santer, "Die Neuwagen mit dem geringsten Wertverlust," *Focus Online*, 18-Apr-2011.
- [18] ADAC, "ADAC Autokosten 2011." New Look electronic publishing GmbH, 2011.
- [19] M. A. Kromer und J. B. Heywood, "Electric Powertrains : Opportunities and Challenges in the U . S . Light-Duty Vehicle Fleet," *Challenges*, Nr. Mai, 2007.
- [20] United States Environmental Protection Agency, *Light-Duty Automotive Technology , Carbon Dioxide Emissions , and Fuel Economy Trends : 1975 Through 2010*. Washington, D.C.: 2010.
- [21] G. Muraleedharakurup, A. McGordon, J. Poxon, and P. Jennings, *Building a better business case: the use of non-linear growth models for predicting the market for hybrid vehicles in the UK*. Warwick: University of Warwick, 2010.
- [22] A. Vyas, D. Santini, and L. Johnson, "Plug-in hybrid electric vehicles; potential for petroleum use reduction: issues involved in developing reliable estimates," *88th Annual Meeting of the*, Nr. 9, 2009.
- [23] KBA, "Fahrzeugzulassungen- Neuzulassungen und Besitzumschreibungen von Kraftfahrzeugen nach Emissionen und Kraftstoffen 2010," 2010.
- [24] ifeu, *Fortschreibung und Erweiterung: "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD , Version 5)*, vol. 2030. Heidelberg: , 2010.
- [25] BVU, "Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025," no. 96, 2007.
- [26] EU, *Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community*, Nr. 2003. 2009, S. 1-56.
- [27] EU, *Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020*. 2009.
- [28] EU, "Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur

Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG,” *Amtsblatt der Europäischen Union*, vol. 140, Nr. April, S. 16-62, 2009.

- [29] Capros, “Model based Analysis of the 2008 EU Policy Package on Climate Change and Renewables.” 2008.
- [30] EnergieStG, *Energiesteuergesetz (EnergieStG)*. 2011, S. 1-48.
- [31] Bundestag, “Stromsteuergesetz (StromStG),” Nr. 5, S. 3-9, 2011.
- [32] Europäische Kommission, “Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss - Intelligenter Energiebesteuerung in der EU: Vorschlag für eine Änderung der Energiesteuerrichtlinie; KOM (2011) 168/3.” 2011.
- [33] Bundesregierung, “Bundesrepublik Deutschland: Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009 / 28 / EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen,” 2010.
- [34] EAG EE, “Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie 2009 / 28 / EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Europarechtsanpassungsgesetz Erneuerbare Energien – EAG EE),” 2011.
- [35] EEG, “Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG),” 2009.
- [36] EEG, “Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG),” 2012.
- [37] EU, *Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzeptes der Gemeinschaft zur Verringerung der CO2-Emissionen von Personenkraftw.* 2009, S. 1-15.
- [38] EU, *Richtlinie 2009/30/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 im Hinblick auf die Spezifikation für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgasemissionen*, Nr. 8. 2009, S. 88-113.
- [39] Bundestag, “Kraftfahrzeugsteuergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3818), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 27. Mai 2010 (BGBl. I S. 668) geändert worden ist,” vol. 1927, S. 1-17, 2010.
- [40] F. C. Matthes, S. Gores, et al., *Politiksznarien für den Klimaschutz VI (unveröffentlicht; in Bearbeitung)*. Berlin: 2011.
- [41] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., *Kfz-Haftpflichtversicherung, Vollkasko und Teilkasko in Zahlen*. Berlin: , 2009.

- [42] Bundesministerium der Finanzen, “In drei Schritten zur neuen Kfz-Steuer,” 2011. .
- [43] TÜV Nord, “PREISLISTE (Auszug) Technische Prüfstelle für den Kfz-Verkehr.” TÜV Nord, 2011.
- [44] Industrie und Handelskammer für München und Oberbayern, “Verbraucherpreisindex für Deutschland.” S. 4-4, 2011.
- [45] I. Rüdener et al., “Costs and Benefits of Green Public Procurement in Europe,” *General Recommendations. Freiburg: report on behalf of DG Environment (http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/eu_recommendations.pdf, accessed December 1, 2008)*, vol. 49, Nr. 0. 2007.
- [46] Deutsche Bundesbank, “Abzinsungzinssätze gemäß § 253 Abs. 2 HGB.” Deutsche Bundesbank Eurosystem, 2011.
- [47] M. Schlesinger, P. Hofer, und A. Kemmler, “Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung,” Nr. 12. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010.
- [48] W. Kiersdorf, *Wahrnehmung und Beurteilung der Nutzungskosten von Automobilen (Cost-of-Ownership)*, 11. ed. Berlin: AutoUni - Schriftenreihe, 2010, pp. 1-441.

Anhang A: Szenarioannahmen

Tabelle (Anhang) 1: Rahmenbedingungen für Elektromobilität

Kategorie	Annahme
Für batterieelektrische Pkw geeignete KBA-Segmente	Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse, Mini-Van
Nominelle elektrische Reichweite	BEV: 160 km
Mindestreserve Batterie	BEV: 20 km
Verbrauch Nebenaggregate	10 % von nominellem Energieverbrauch
Nutzbare Reichweite	BEV: 124 km
Ladeleistung	Eigenes Grundstück & Firmengelände: 3 kW (2020), 7 kW (2030) Restliche Standorte: 11 kW (2020 & 2030)
Ladewirkungsgrad	90 %
Ladeinfrastrukturdichte	30 % (2020) / 50 % (2030) der Personen ohne Stellplatz auf dem eigenem Grundstück besitzen die Möglichkeit der regelmäßigen Ladung im öffentlichen Raum
Batteriekosten	280 €/kWh (2020), 230 €/kWh (2030)
Benzinpreis	1,52 €/l (2020), 1,69 €/l (2030)
Dieselpreis	1,41 €/l (2020), 1,61 €/l (2030)
Strompreis (Fahrzeugnutzung)	0,217 €/kWh (2020), 0,222 €/kWh (2030)
Mobilitätsverhalten	Bei Privat-Pkw werden jährlich maximal 8 Nutzungskonflikte bei langen Fahrten toleriert. In gewerblichen Fuhrparks können maximal 90 % der Fahrzeuge durch E-Pkw ersetzt werden (→ Flexibilitätsoption).
Kraftwerkspark	aus Kraftwerksinvestitionsmodell ELIAS

Tabelle (Anhang) 2: Annahmen zu Anschaffungskosten elektrischer Fahrzeuge

Größenklasse	BEV 2020	BEV 2030
mini	17.620 €	16.560 €
klein	23.090 €	22.080 €
kompakt	33.920 €	32.660 €

Tabelle (Anhang) 3: Annahmen zu Anschaffungskosten konventioneller Fahrzeuge

Größenklasse	Otto 2020	Diesel 2020	Otto 2030	Diesel 2030
mini	10.900 €	12.952 €	11.500 €	13.665 €
klein	15.250 €	17.046 €	16.100 €	17.996 €
kompakt	24.400 €	28.967 €	25.300 €	30.035 €

Tabelle (Anhang) 4: Annahmen zu dem nominellen elektrischen Energieverbrauch von batterieelektrischen Fahrzeugen

Größenklasse	BEV 2020	BEV 2030
mini	0,12 kWh/km	0,11 kWh/km
klein	0,14 kWh/km	0,13 kWh/km
kompakt	0,17 kWh/km	0,16 kWh/km

Tabelle (Anhang) 5: Annahmen zu Kraftstoffverbrauch (real) und CO₂-Intensität (NEFZ) konventioneller Fahrzeuge

Segment	Jahr	Otto		Diesel	
		Verbrauch	CO ₂ -Emissionen	Verbrauch	CO ₂ -Emissionen
mini	2020	4,1 l/100km	95 g/km	2,7 l/100km	71 g/km
klein	2020	4,4 l/100km	102 g/km	2,9 l/100km	77 g/km
kompakt	2020	5,4 l/100km	126 g/km	3,9 l/100km	103 g/km
mini	2030	3,6 l/100km	84 g/km	2,3 l/100km	61 g/km
klein	2030	3,9 l/100km	91 g/km	2,5 l/100km	66 g/km
kompakt	2030	4,7 l/100km	109 g/km	3,4 l/100km	90 g/km

Tabelle (Anhang) 6: In der Strommarktmodellierung verwendete elektrische Nettoleistung konventioneller Kraftwerke nach Brennstoffen in den betrachteten Jahren, Quelle: ELIAS (Öko-Institut)

	2020	2030
	GW	
Kernenergie	8,2	0,0
Braunkohle	23,1	23,1
<i>davon neue Kondensations-KW</i>	3,1	3,1
<i>davon neue Kondensations-KW (CCS)</i>	0,0	0,0
<i>davon alte Kondensations-KW</i>	17,8	17,8
<i>davon alte KWK</i>	2,2	2,2
Steinkohle	24,8	24,1
<i>davon neue Kondensations-KW</i>	6,3	6,3
<i>davon neue Kondensations-KW (CCS)</i>	0,0	0,0
<i>davon neue KWK</i>	0,0	0,0
<i>davon alte Kondensations-KW</i>	14,1	14,1
<i>davon alte KWK</i>	4,4	3,8
Erdgas	16,6	13,1
<i>davon neue Kondensations-KW</i>	2,0	2,0
<i>davon neue Kondensations-KW (CCS)</i>	0,0	0,0
<i>davon neue KWK</i>	0,0	0,0
<i>davon alte Kondensations-KW</i>	2,8	2,7
<i>davon alte KWK</i>	11,8	8,4
Sonstige	10,8	10,7

Tabelle (Anhang) 7: In der Strommarktmodellierung verwendete Nettoleistung und Nettostromproduktion der erneuerbaren Energien im Basislauf ohne Elektromobilität in den betrachteten Jahren

	2020		2030	
	Leistung (netto)	Stromproduktion (netto)	Leistung (netto)	Stromproduktion (netto)
	GW	GWh	GW	GWh
Laufwasser	4,53	21.522	4,71	22.407
Wind onshore	35,14	74.244	36,52	83.994
Wind offshore	9,83	31.964	24,13	91.678
PV	51,04	43.341	61,00	55.180
Biogas	2,97	18.539	3,23	20.702
Deponiegas / Klärgas	0,24	1.353	0,24	1.334
Pflanzenöl	0,24	1.343	0,24	1.365
feste Biomasse	3,21	18.993	3,69	22.110
biogener Abfall	1,32	4.558	1,30	4.475
Geothermie	0,21	1.173	0,70	4.561

Tabelle (Anhang) 8: In der Strommarktmodellierung verwendete Nettoleistung und Nettostromproduktion der veränderten erneuerbaren Energien in Szenarien mit EE-Zubau (zusätzl. Stromerzeugung in Höhe des Verbrauchs der Elektrofahrzeuge: 75% Wind, 25% Biogas)

	2020	2030
Wind onshore (GWh)	75.796	92.541
<i>Steigerung gegenüber Basisfall:</i>	<i>2,1%</i>	<i>10,2%</i>
Biogas Leistung (GW)	3,05	3,67
Biogas Stromproduktion (GWh)	19.056	23.551
<i>Steigerung gegenüber Basisfall:</i>	<i>2,8%</i>	<i>13,8%</i>

Tabelle (Anhang) 9: Brennstoff- und CO₂-Preise für die Strommarktmodellierung, Quelle: Politikszenerien VI [40]

	2020	2030
Uran	3,50	-
Braunkohle	4,40	4,69
Steinkohle	13,52	14,89
Erdgas	39,49	46,92
Heizöl leicht	64,60	76,72
Heizöl schwer	41,03	48,96
CO₂-Preise in €(2008) / t	20	30

Tabelle (Anhang) 10: Inputbezogene Emissionsfaktoren für die in der Strommarktmodellierung verwendeten Energieträger, Quelle: GEMIS 4.7 [10]

Inputbezogener CO ₂ -Emissionsfaktor in g/kWh _{th}	2020		2030	
	direkt	vorgelagert	direkt	vorgelagert
Braunkohle	414,62	9,84	414,62	9,45
Steinkohle	347,78	26,74	347,78	25,88
Erdgas	201,53	18,07	201,50	21,23
Heizöl leicht	267,93	41,82	267,99	41,36
Heizöl schwer	285,69	39,67	285,69	38,90
Hochofengas	378,71	6,17	378,71	6,04
Raffineriegas	216,02	37,40	216,02	37,22
Kokereigas	378,71	6,17	378,71	6,04
Grubengas	198,34	6,17	198,34	6,04
Müll fossil	10,52	0,00	10,52	0,00
AKW (Uran)	0,00	12,84	0,00	12,64
Geothermie	0,00	60,69	0,00	38,19
Photovoltaik	0,00	75,29	0,00	65,57
Laufwasser	0,00	37,01	0,00	36,19
Wind onshore	0,00	21,81	0,00	21,36
Wind offshore	0,00	21,10	0,00	20,65
Feste Biomasse	0,00	2,51	0,00	2,10
Pflanzenöl	0,00	47,13	0,00	50,58
Biogas	0,00	65,04	0,00	65,65
Klärgas	0,00	0,0006	0,00	0,0006
Deponiegas	0,00	0,0008	0,00	0,0008
Müll biogen	0,00	4,38	0,00	4,21

Anhang B: KiD-Auswertung – Analysen zum gewerblichen Pkw-Bestand (gesamt)

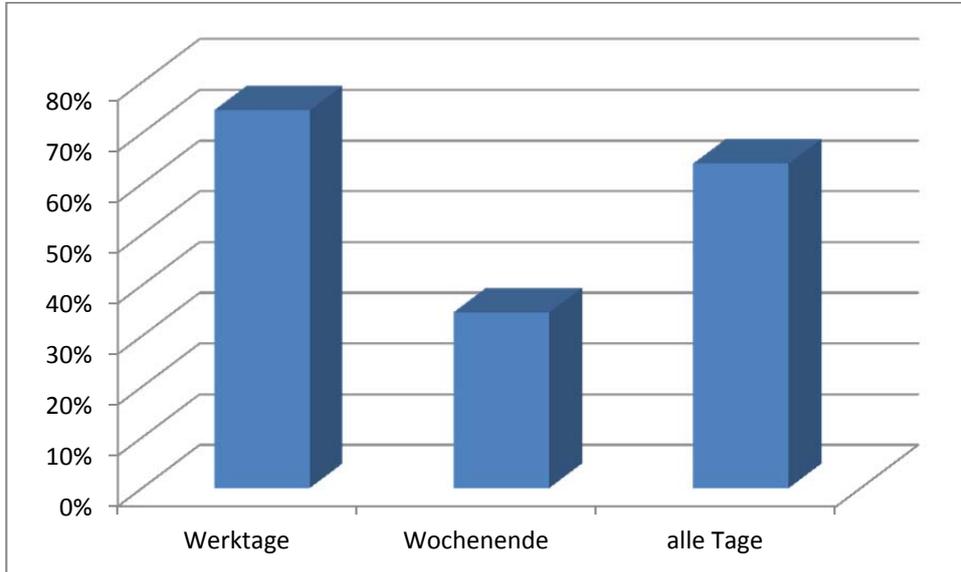


Abbildung (Anhang) 1: Anteil der am jeweiligen Tag bewegten Fahrzeuge

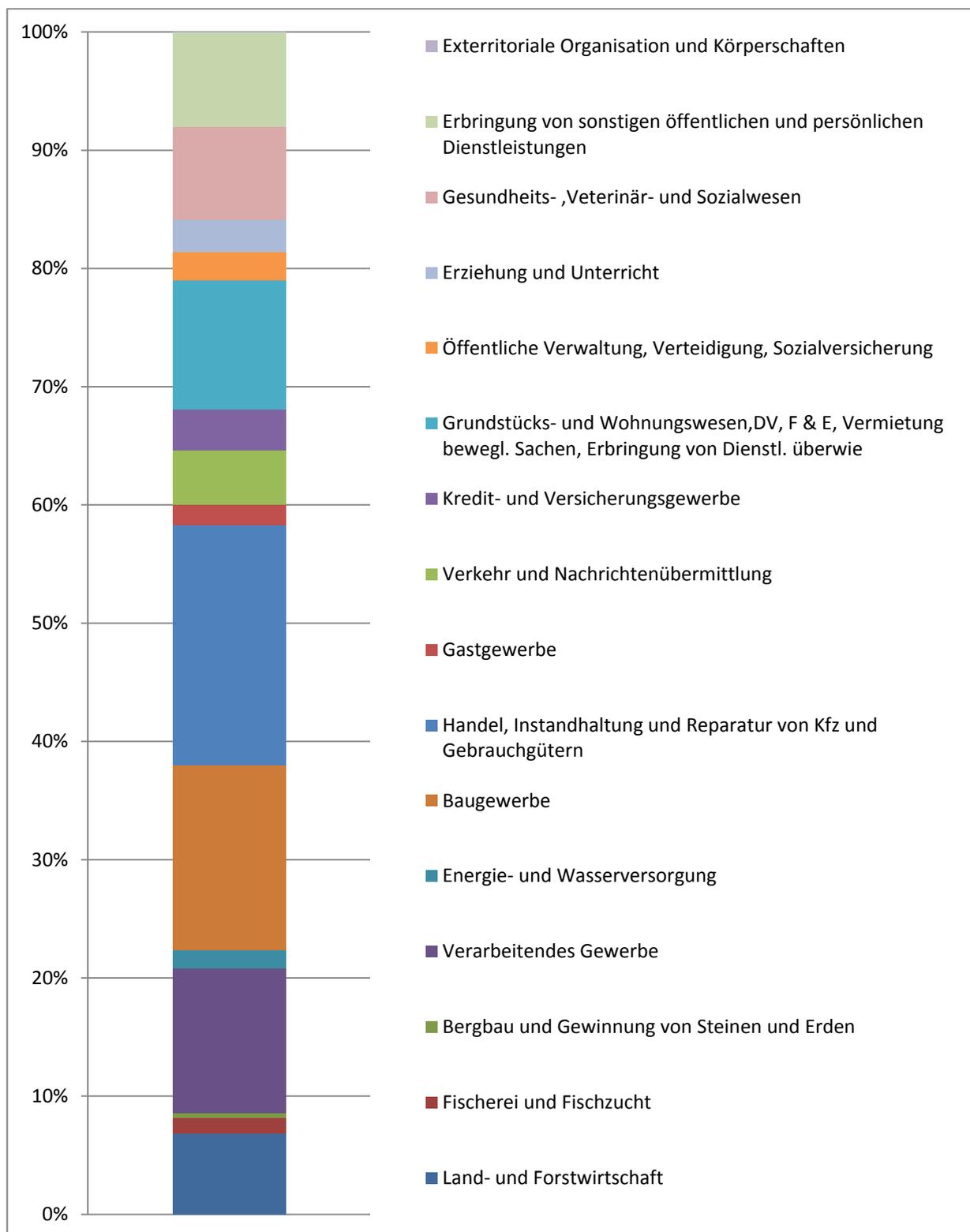


Abbildung (Anhang) 2: Zugehörigkeit der Fahrzeuge zu Unternehmen nach Wirtschaftszweig

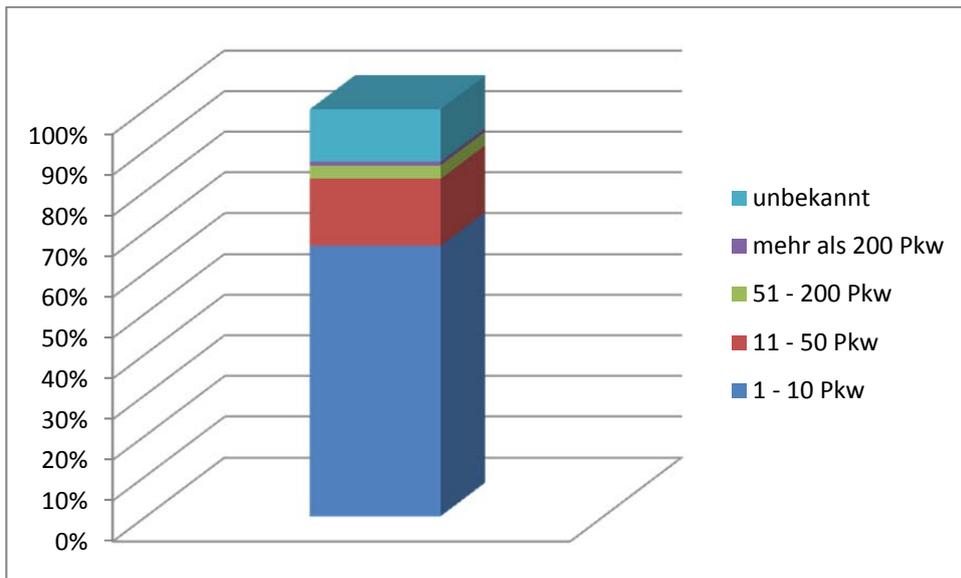


Abbildung (Anhang) 3: Struktur der Flottengrößen

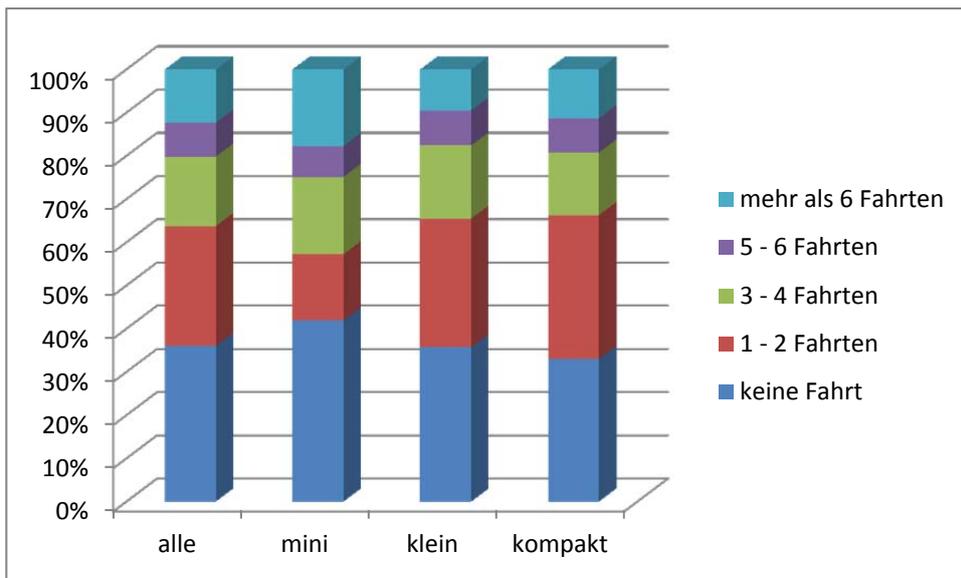


Abbildung (Anhang) 4: Anzahl Fahrten pro Tag

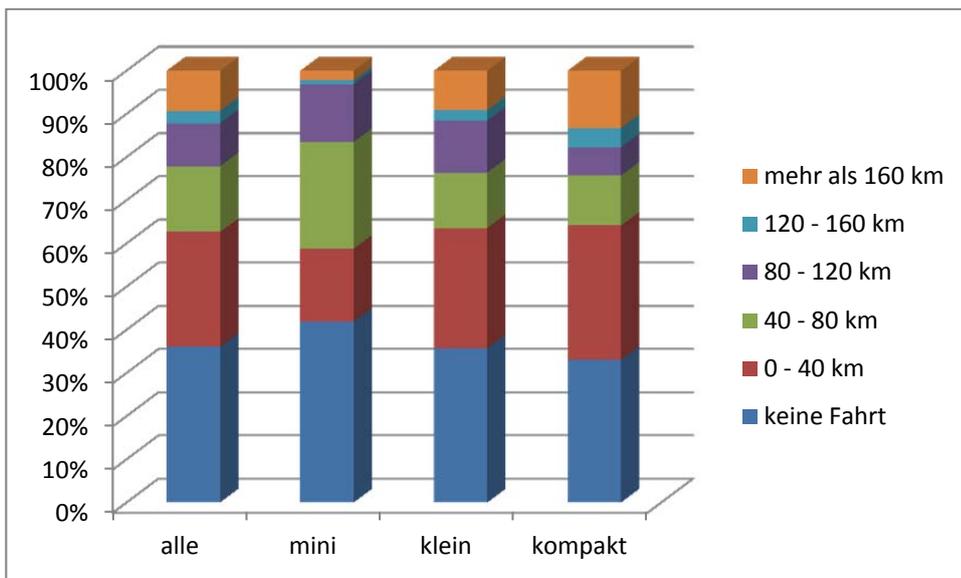


Abbildung (Anhang) 5: Tagesfahrleistung

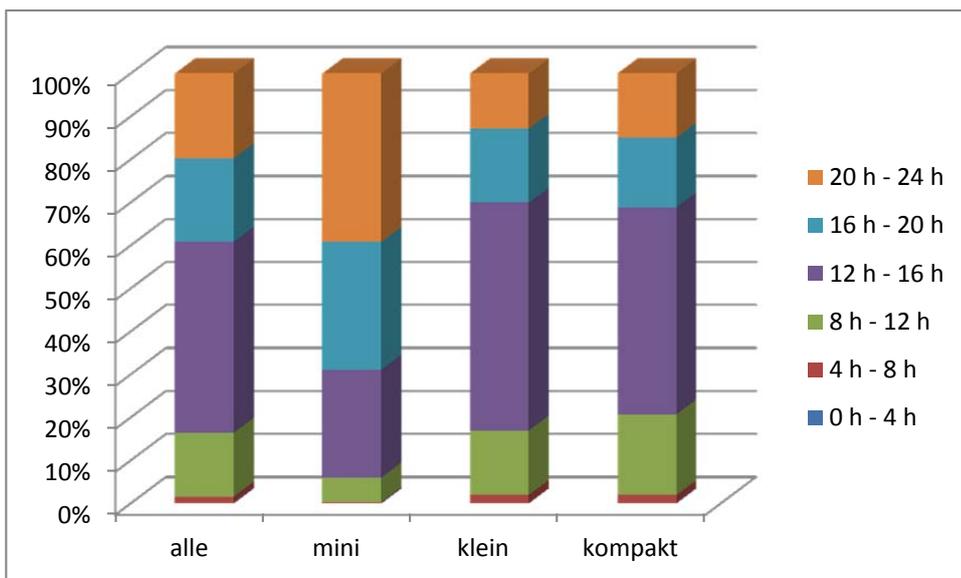


Abbildung (Anhang) 6: Standdauer über Nacht

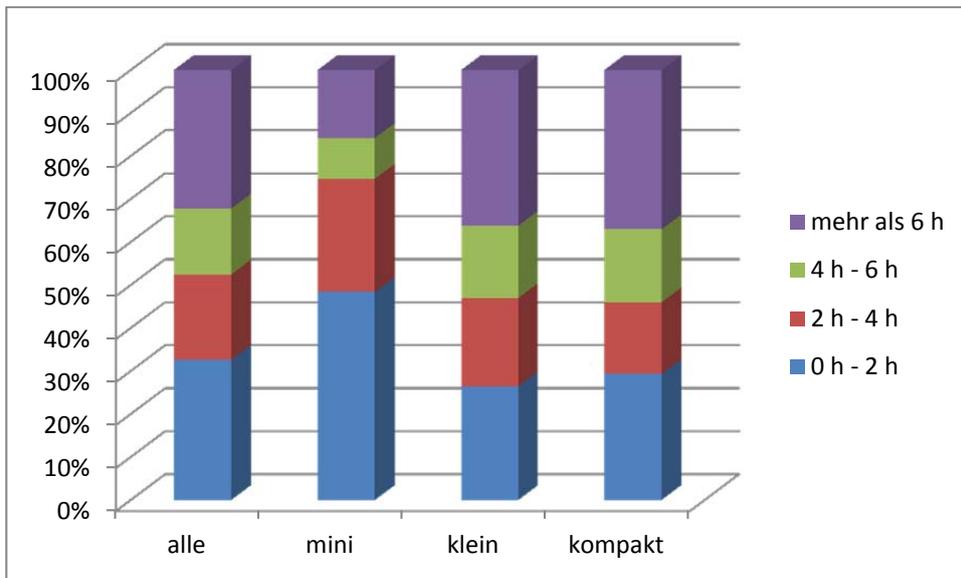


Abbildung (Anhang) 7: Dauer der längsten Pause am Tag

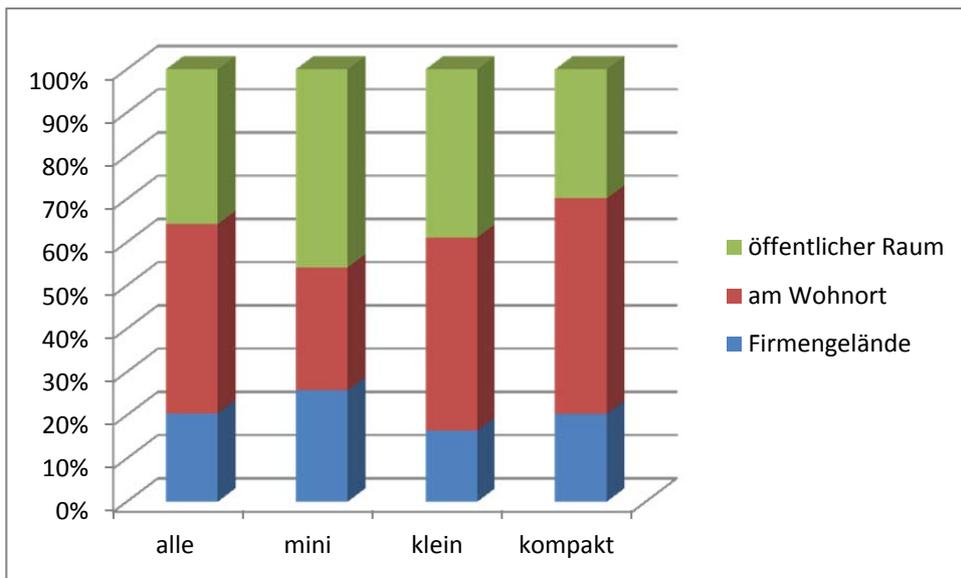


Abbildung (Anhang) 8: Standort der längsten Pause am Tag

Anhang C: KiD-Auswertung – Analysen zum Maximalpotenzial von Elektrofahrzeugen im gewerblichen Pkw-Bestand und Vergleich zum Gesamtbestand

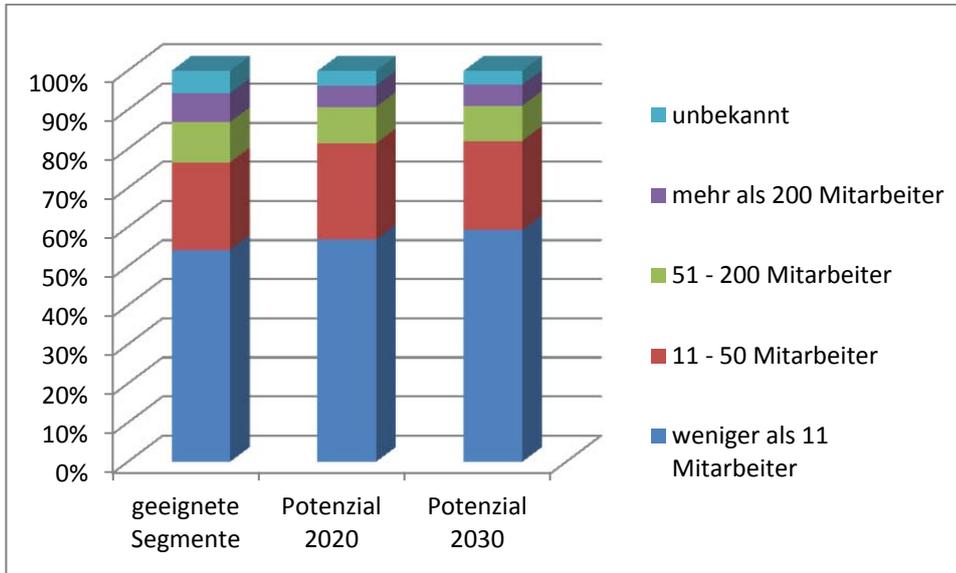


Abbildung (Anhang) 9: Unternehmensgröße der geeigneten Segmente und des Maximalpotenzials 2020/30

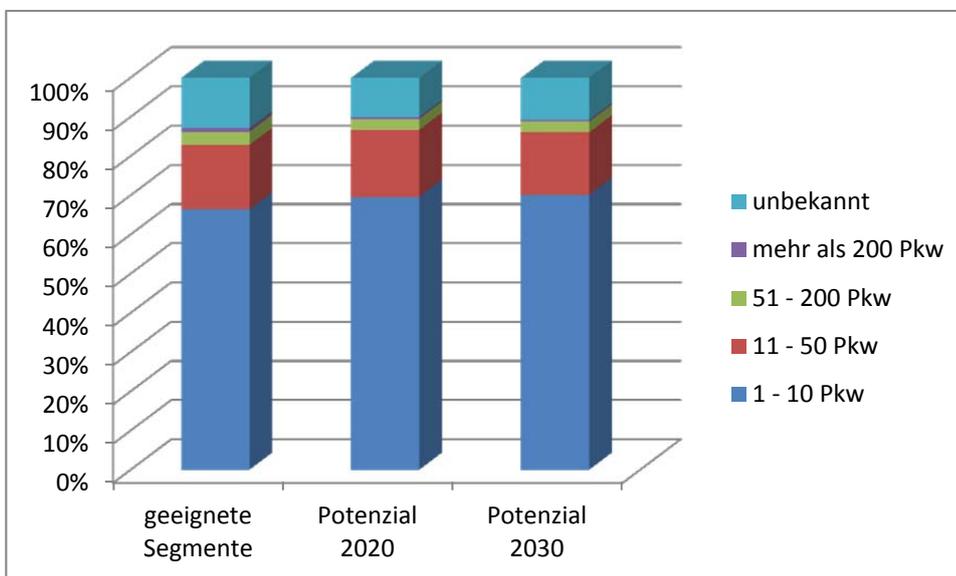


Abbildung (Anhang) 10: Flottengröße der geeigneten Segmente und des Maximalpotenzials 2020/30

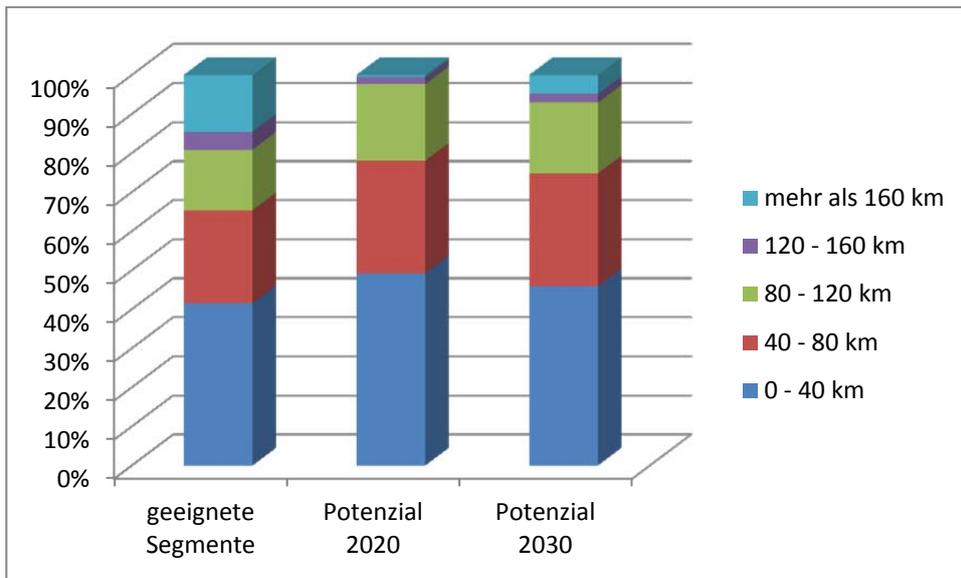


Abbildung (Anhang) 11: Tagesfahrleistung der geeigneten Segmente und des Maximalpotenzials 2020/

Anhang D: Fragebogen „Elektromobilität in Fahrzeugflotten“



Elektromobilität in Fahrzeugflotten: Fragebogen

Berlin, im Juni 2011

Sehr geehrte Damen und Herren,

Die deutsche Bundesregierung hat jüngst im „Regierungsprogramm Elektromobilität“ das nationale Ziel von 1 Million Elektrofahrzeugen für das Jahr 2020 formuliert. Insbesondere gewerbliche Flotten werden dabei als ein mögliches Einsatzfeld von Elektrofahrzeugen genannt.

Das Öko-Institut e.V. führt, gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, eine Untersuchung durch, die die tatsächlichen Einsatzmöglichkeiten von batterieelektrischen Pkw in gewerblichen Fahrzeugflotten im Detail beleuchtet. Ziel ist es, das Marktpotenzial für den Einsatz von E-Pkw zu bestimmen und deren möglichen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen zu quantifizieren.

In diesem Zusammenhang sind wir auf Ihre Unterstützung angewiesen.

Im Folgenden finden Sie einen Fragebogen, der uns einen Überblick über Ihre Fahrzeugflotte, die wichtigsten Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung und Ihre Einschätzung zum Thema Elektromobilität ermöglichen soll.

Wichtige Hinweise zum Fragebogen:

- ♦ Das Ausfüllen des Fragebogens dauert maximal 15 Minuten.
- ♦ Alle Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet.
- ♦ Auf Wunsch stellen wir Ihnen gerne die Ergebnisse der Befragung zur Verfügung.
- ♦ Bei Rückfragen können Sie sich gerne an unten stehenden Kontakt wenden.
- ♦ Den **ausgefüllten Fragebogen senden Sie bitte** vorzugsweise **in digitaler Form und per Email** - gerne aber auch per Fax - ebenfalls **an unten stehenden Kontakt**.

Kontakt:

Florian Hacker, Öko-Institut e.V.

Tel: 030-405085-373

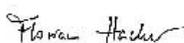
Fax: 030-405085-388

Email: f.hacker@oeko.de

Durch Ihren Beitrag ermöglichen Sie, dass wir Ihre praktischen Erfahrungen aus dem Flottenmanagement in unsere Analysen einfließen lassen und somit möglichst fundierte Aussagen zu Potenzialen von Elektromobilität in gewerblichen Flotten treffen können.

Schon jetzt möchte ich mich im Namen des Forschungsteams für Ihre Mitarbeit bedanken.

Mit freundlichen Grüßen,


Florian Hacker



I. Allgemeine Angaben zum Fuhrpark und Fahrzeugeinsatz

1. Unternehmen:

2. Branche/Wirtschaftszweig:

3. Anzahl Mitarbeiter des Unternehmens [am Standort]: [

4. Gesamtanzahl Pkw im Fuhrpark [am Standort]: [

Davon:

Firmen- und Dienstwagen ⁽¹⁾: Pkw

Servicefahrzeuge/Poolfahrzeuge ⁽²⁾: Pkw

Wichtiger Hinweis: Bitte machen Sie im Folgenden nur noch Angaben zu Service-/Poolfahrzeugen der Größenklasse mini bis mittel!

5. Verteilung der Servicefahrzeuge auf Größenklassen:

mini (z. B. Smart): ca. Pkw

klein (z. B. VW Polo): ca. Pkw

mittel (z. B. VW Golf): ca. Pkw

6. Durchschnittliche Jahresfahrleistung der Servicefahrzeuge: km

7. Durchschnittliche Tagesfahrleistung der Servicefahrzeuge: km

8. Servicefahrzeuge, die nie/nur selten Tagesfahrtdauern von über 50 km aufweisen: %

9. Servicefahrzeuge, die nie/nur selten Tagesfahrtdauern von über 100 km aufweisen: %

10. Die Tagesfahrleistung der Servicefahrzeuge ist eher:

- planbar/vorhersehbar
 nicht planbar/vorhersehbar

11. Durchschnittliche Pkw-Einsatzdauer pro Tag: Stunden
(Zeit zwischen Start der ersten Tagesfahrt und Ende der letzten Tagesfahrt):

(1) Fahrzeug als Bestandteil des Gehaltsmodells, sowohl gewerbliche als auch private Nutzung, in der Regel kann der Nutzer sein Fahrzeug auswählen (User/Chooser-Option)

(2) Fahrzeug wird vorwiegend zu dienstlichen Zwecken von den Mitarbeitern genutzt, in der Regel ohne User/Chooser-Option

12. Standort der Servicefahrzeuge über Nacht (häufigster Ort):

- firmeneigener Parkplatz/Garage
- in unmittelbarer Nähe des Firmengeländes
- im öffentlichen Raum („Laternenparker“)
- auf privatem Parkplatz (z.B. Grundstück des Fahrzeugnutzers)
- kein fester Standort

13. Einsatzort der Servicefahrzeuge, überwiegend:

- Stadt
- Stadt und Umgebung
- Land
- sehr unterschiedlich

14. Personenbezogene Pkw-Nutzung:

- Servicefahrzeuge sind immer einem Fahrer zugeordnet
- Servicefahrzeuge werden von unterschiedlichen Fahrern im Wechsel genutzt

II. Fahrzeugbeschaffung

1. Beschaffung/Organisation der Firmenflotte (Servicefahrzeuge) erfolgt durch:

- firmeninterne Abteilung
- externe Flottenmanager
- teils/teils
- andere:

2. Art der Beschaffung:

- Leasing
- Miete
- Kauf

3. Durchschnittliche Pkw-Haltedauer: Jahre

4. Kriterien der Fahrzeugbeschaffung (Servicefahrzeuge) werden vorgeben von (z.B. Geschäftsführung, internem Flottenmanagement):

5. Welche Bedeutung haben folgende Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung?

	unwichtig					sehr wichtig
	1	2	3	4	5	
Leasingrate / Miethöhe / Anschaffungskosten	<input type="checkbox"/>					
Kilometerkosten (Kraftstoffkosten)	<input type="checkbox"/>					
Gesamtbetriebskosten (TCO) ⁽³⁾	<input type="checkbox"/>					
Wartungsbedarf	<input type="checkbox"/>					
Leistung/Geschwindigkeit	<input type="checkbox"/>					
Komfortausstattung	<input type="checkbox"/>					
Repräsentativität	<input type="checkbox"/>					
Größe des Kofferraums	<input type="checkbox"/>					
Maximale Zuladung	<input type="checkbox"/>					
Positive Umwelteigenschaften	<input type="checkbox"/>					
CO ₂ -Emissionen	<input type="checkbox"/>					
Luftschadstoffe	<input type="checkbox"/>					
Lärmemissionen	<input type="checkbox"/>					
innovative Antriebstechnologie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>					
Sonstige: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>					

6. Haben bestimmte Kriterien für die Fahrzeugbeschaffung in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen? Wenn ja, welche?

1.
2.
3.

III. Einschätzung von Elektromobilität

In den kommenden Jahren werden verschiedene Pkw-Modelle mit batterieelektrischem Antrieb in den Markt eingeführt. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Klein- und Kompaktklassewagen. Pro Batterieladung wird eine Reichweite von 100 Kilometern im Alltagsbetrieb gesichert sein. Die Batterieladung wird - je nach Ladestation - zwischen 15 Minuten und mehreren Stunden dauern. Mittelfristig sind Zusatzkosten von etwa 5.000 € zu erwarten. Die Kilometerkosten (Kraftstoffkosten) können dagegen im Vergleich zu effizienten konventionellen Pkw voraussichtlich mehr als halbiert werden.

Wichtiger Hinweis: Die folgenden Fragen zu Elektromobilität beziehen sich auf batterieelektrische Fahrzeuge die **ausschließlich** elektrisch betrieben werden. Plug-In-Hybrid und Hybridfahrzeuge sind nicht Gegenstand der Betrachtung.

(3) Total-Cost-of-Ownership (TCO) berücksichtigt alle über die Nutzungsdauer des Produkts anfallenden Kosten inkl. Anschaffung

1. Haben Sie Erfahrungen mit alternativen Antrieben in firmeneigener Flotte und wenn ja, mit welchen?

- Erdgasfahrzeug
- Bi-Fuel-Fahrzeuge (Erdgas + Benzin)
- Hybridfahrzeug
- Elektrofahrzeug
- Brennstoffzellenfahrzeug

2. Hat sich ihr Unternehmen bereits mit der Beschaffung von E-Pkw beschäftigt?

überhaupt nicht				sehr intensiv
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>				

3. Für wie hoch halten Sie (mittelfristig) das Potenzial zum Einsatz von E-Pkw in ihrer Flotte?

sehr gering				sehr hoch
1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>				

4. In wieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen für den Einsatz der oben beschriebenen E-Pkw in Ihrer Firmenflotte zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll zu
Eine gesicherte Tagesreichweite von 100 km ist für unsere Flottenfahrzeuge ausreichend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Batterieladedauern von mehreren Stunden lassen sich bei den bestehenden Pkw-Einsatzprofilen realisieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch wenn die Gesamtbetriebskosten (TCO) von E-Pkw gegenüber konventionellen Pkw höher sind, kommt die Anschaffung von E-Pkw in nennenswerter Stückzahl in Frage.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Einsatzmuster der Flottenfahrzeuge (insbesondere Tagesfahrleistung) ermöglichen den Einsatz von E-Pkw ohne relevante Einschränkung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf dem Betriebsgelände könnten Ladestationen errichtet und eine zentrale Batterieladung gewährleistet werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein Pool an Fahrzeugen schafft die Flexibilität bei niedrigem Batterieladestand bzw. bei längeren Fahrten auf Alternativfahrzeuge auszuweichen - ein entsprechendes System ließe sich ohne Weiteres umsetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Einsatz von emissionsarmen Fahrzeugen trägt beträchtlich zum Imagegewinn des Unternehmens bei.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Falls die Total-Cost-of-Ownership (TCO) ein wesentliches Kriterium bei der Fahrzeugbeschaffung sind: Bei welchem Kostenaufschlag (TCO) würde Ihr Unternehmen voraussichtlich die Beschaffung von Elektrofahrzeugen in Betracht ziehen?

- Kein Kostenaufschlag für E-Pkw
- Kostenaufschlag von max. 5%
- Kostenaufschlag von max. 10%
- Kostenaufschlag von max. 20%
- Kostenaufschlag von max. 30%

6. Welche Gründe sprechen *für* den Einsatz von E-Pkw in Ihrer Firmenflotte?

1.
2.
3.

7. Welche Gründe sprechen *gegen* den Einsatz von E-Pkw in Ihrer Firmenflotte?

1.
2.
3.

8. Welche Maßnahmen wären notwendig, um den Einsatz von E-Pkw in ihrer Unternehmensflotte zu fördern?

	überhaupt nicht relevant			besonders relevant	
	1	2	3	4	5
Prämie beim Fahrzeugkauf	<input type="checkbox"/>				
Steueranreize (z.B. geringere Kfz-Steuer)	<input type="checkbox"/>				
Finanzielle Förderung des Aufbaus der Ladeinfrastruktur auf dem Firmengelände	<input type="checkbox"/>				
Dichtes Ladenetz im öffentlichen Raum	<input type="checkbox"/>				
Sonderrechte im öffentlichen Straßenraum (u.a. Busspurbenutzung, Parkprivilegien in Innenstädten)	<input type="checkbox"/>				
CO ₂ -Vorgaben für gewerbliche Fahrzeugflotten	<input type="checkbox"/>				
Maßnahmen zur Stärkung der öffentlichen Wahrnehmung von nachhaltigen Unternehmen	<input type="checkbox"/>				

9. Wo sehen Sie in Zukunft die größeren Potenziale von Elektromobilität?

- im privaten Bereich
- im gewerblichen Bereich

Und warum?

10. Anmerkungen / Kommentare:

Anhang E: Ergebnisse der Unternehmensbefragung „Elektromobilität in Fahrzeugflotten“

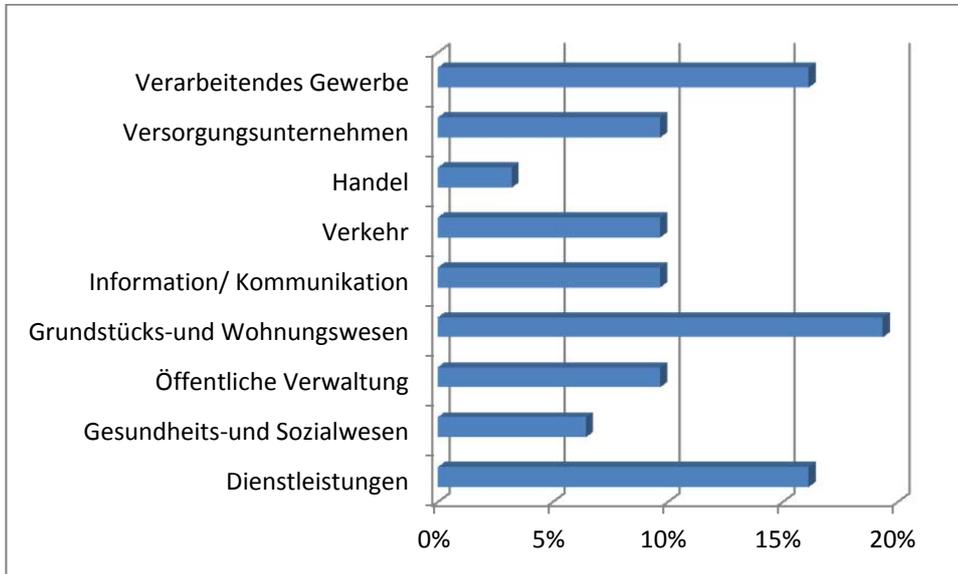


Abbildung (Anhang) 12: Einordnung der befragten Unternehmen in Wirtschaftszweige

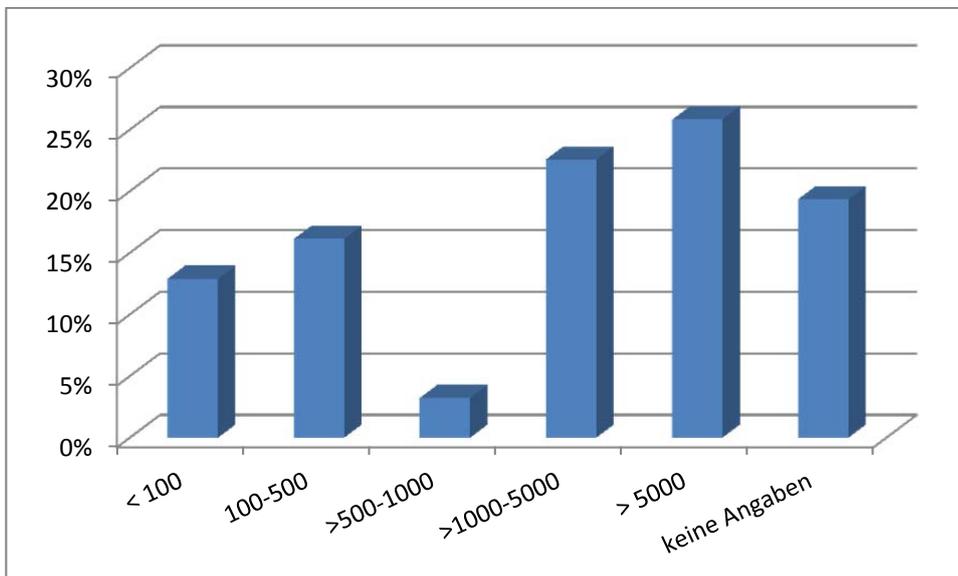


Abbildung (Anhang) 13: Unternehmensgröße nach Anzahl der Mitarbeiter

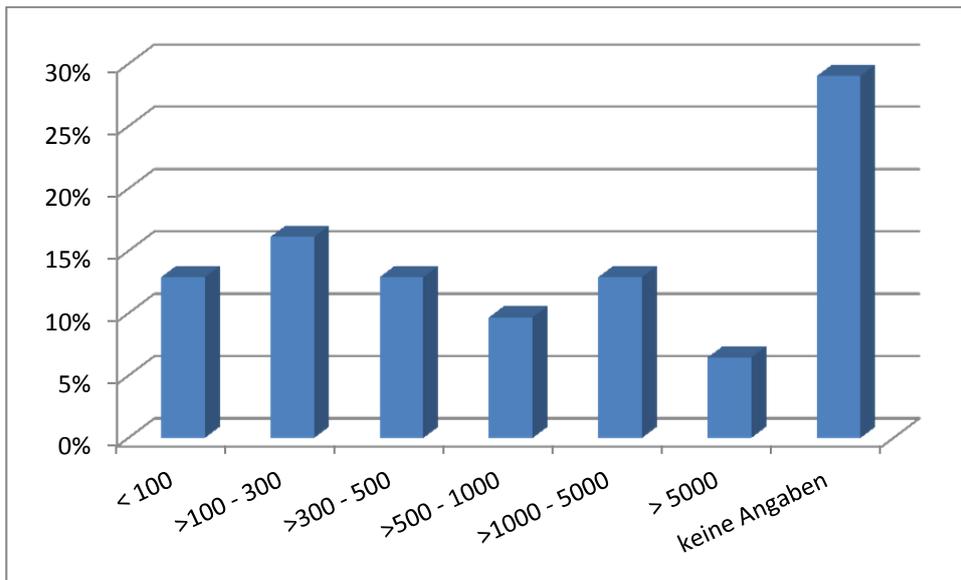


Abbildung (Anhang) 14: Unternehmensgröße nach Anzahl der Mitarbeiter (am Standort)

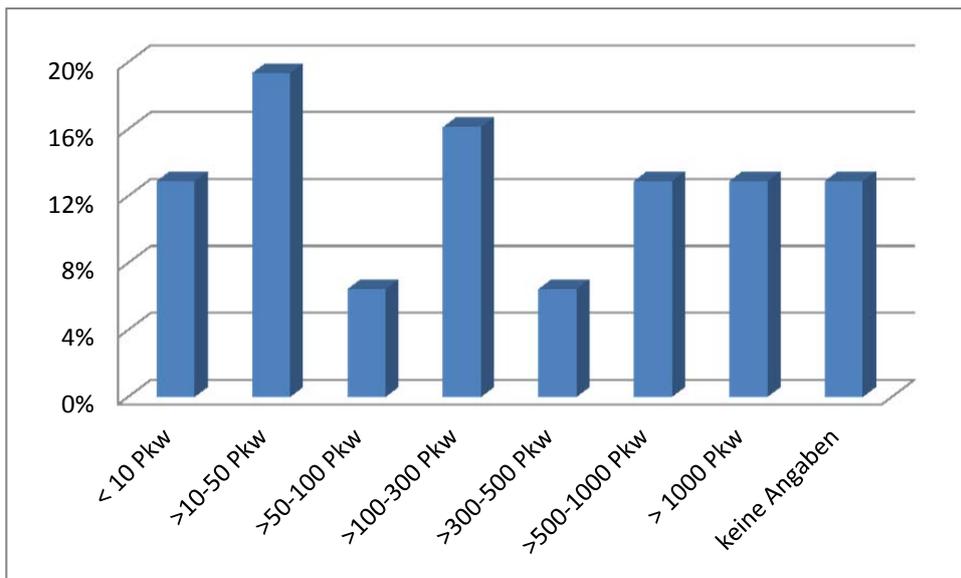


Abbildung (Anhang) 15: Größe des Fuhrparks

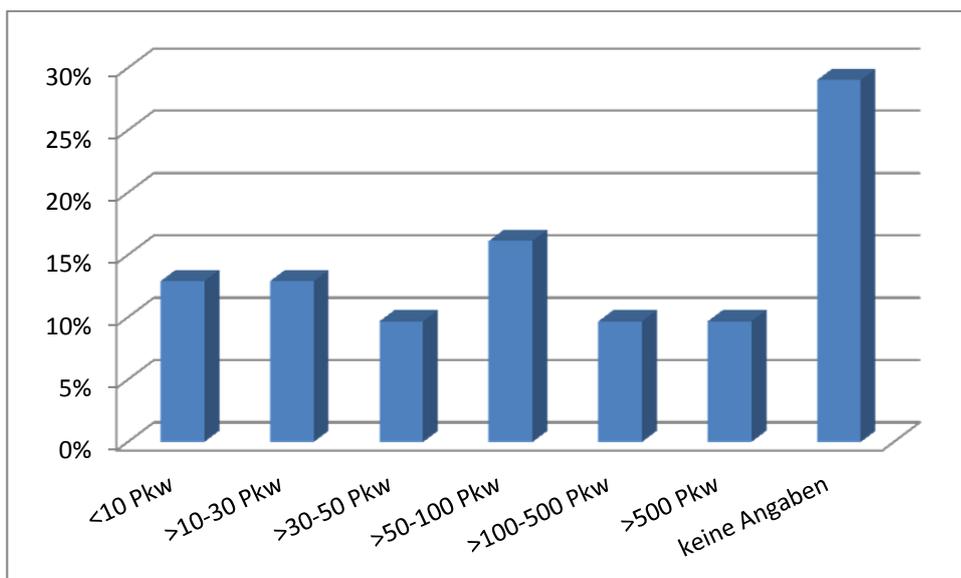


Abbildung (Anhang) 16: Größe des Fuhrparks (am Standort)

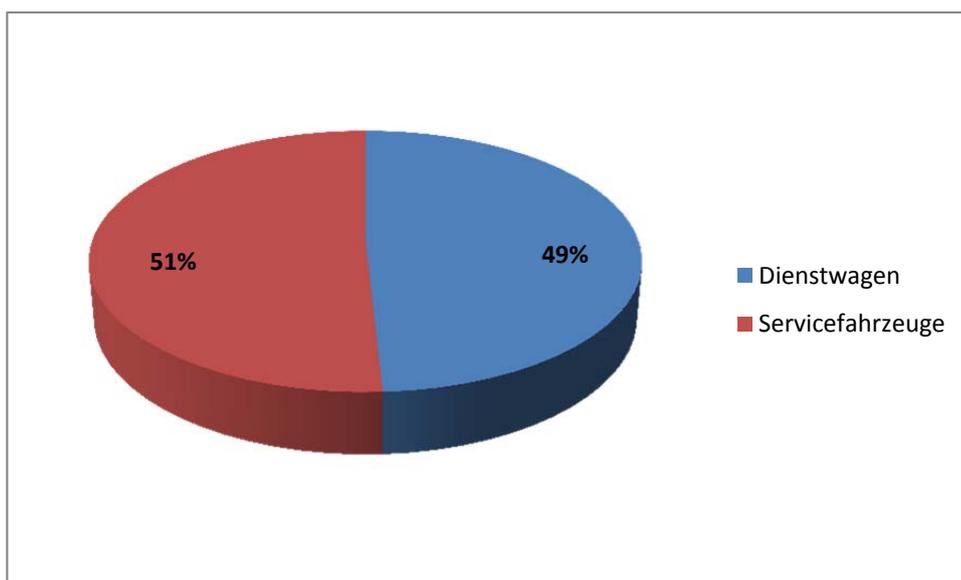


Abbildung (Anhang) 17: Durchschnittlicher Anteil an Dienstwagen und Service-/Poolfahrzeuge in Unternehmen

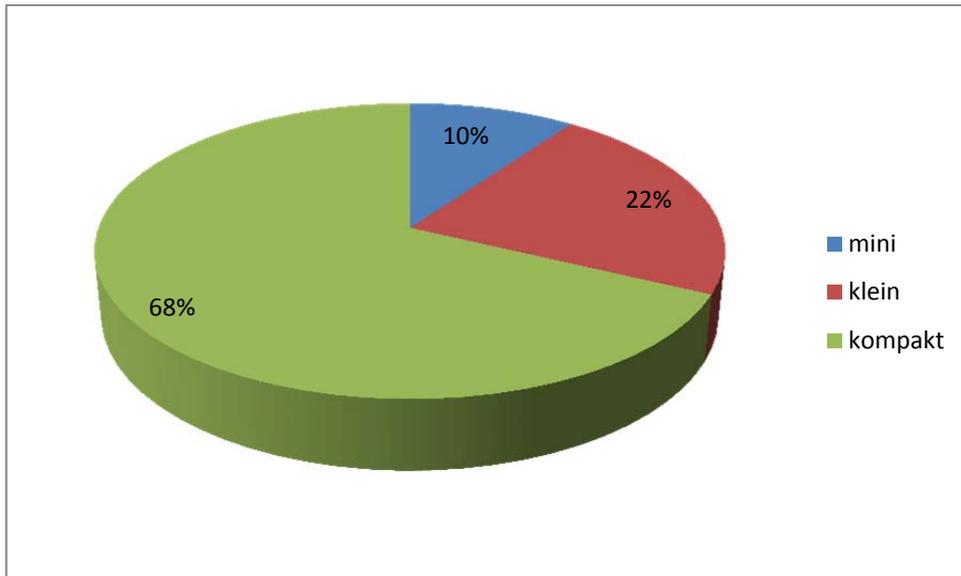


Abbildung (Anhang) 18: Durchschnittliche Verteilung der Service-/Poolfahrzeuge auf die relevanten Größenklassen

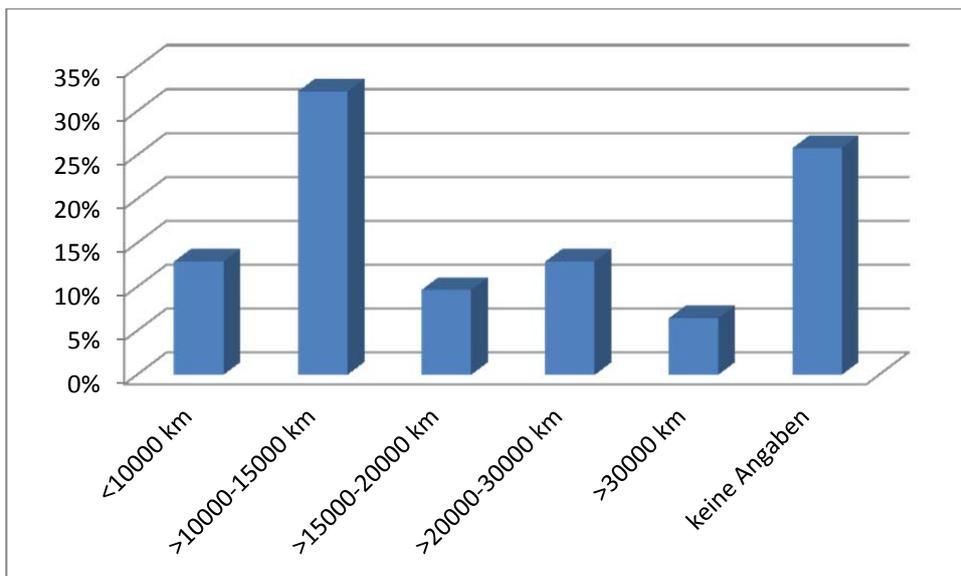


Abbildung (Anhang) 19: Durchschnittliche Jahresfahrleistung der Service-/Poolfahrzeug

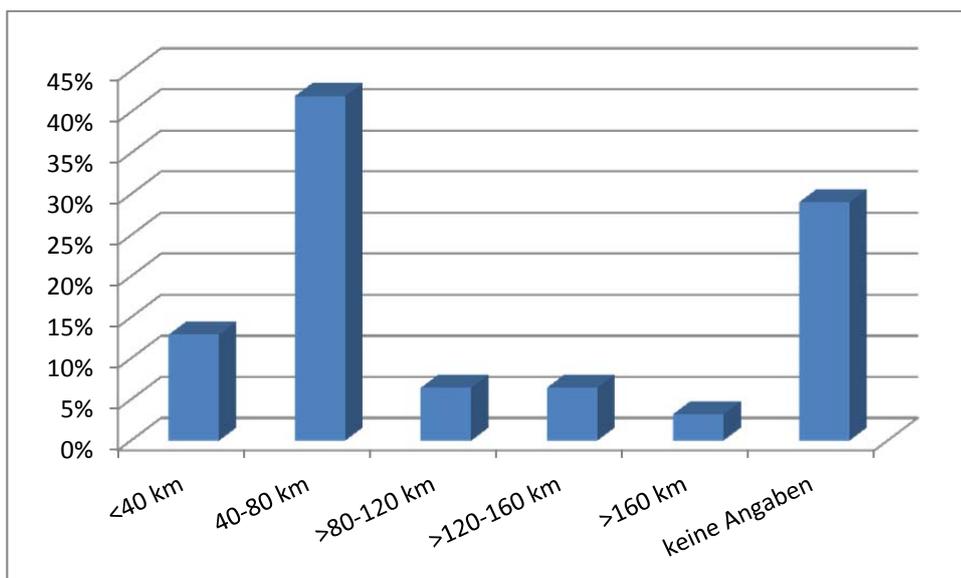


Abbildung (Anhang) 20: Durchschnittliche Tagesfahrleistung der Service-/Poolfahrzeug

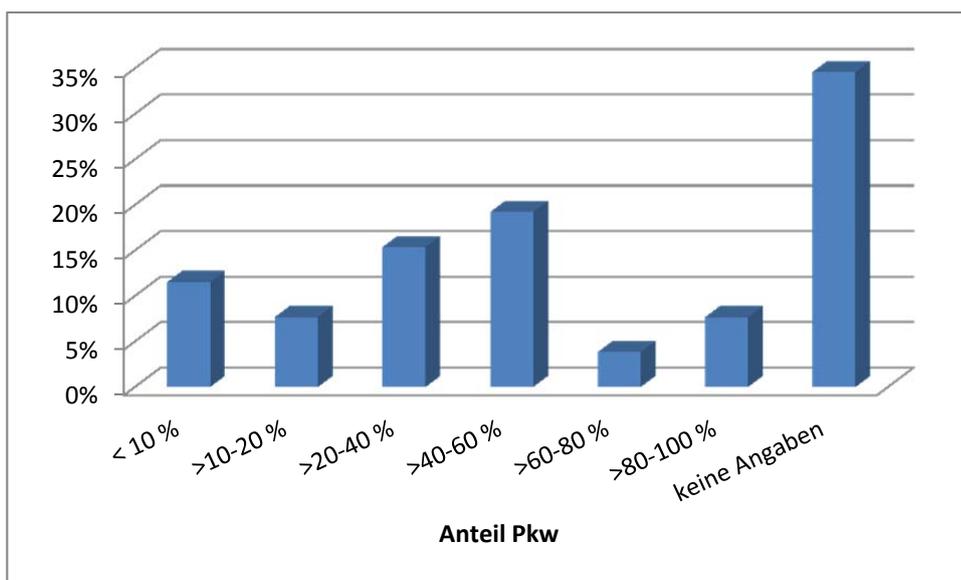


Abbildung (Anhang) 21: Anteil der Service-/Poolfahrzeuge, die nie oder selten über 50 km am Tag fahren

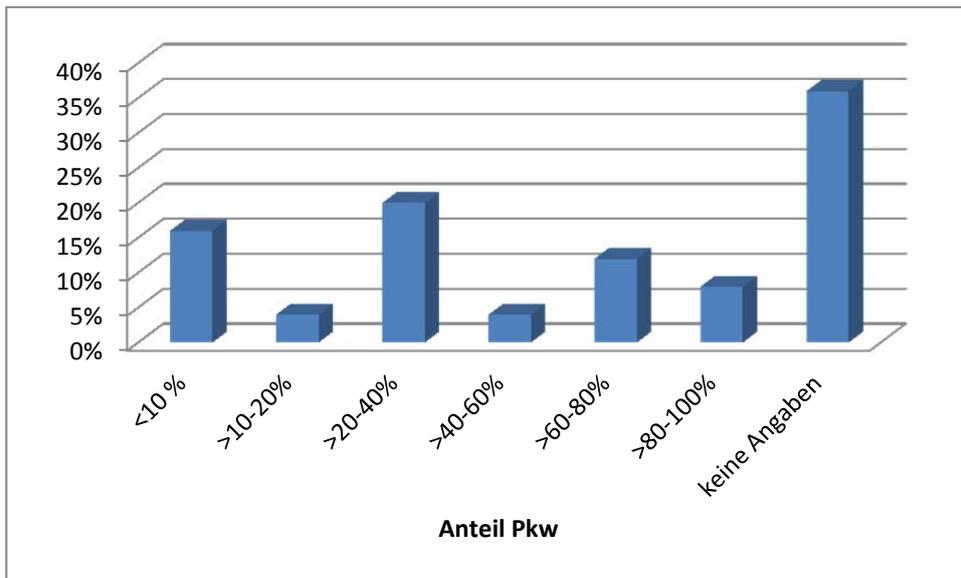


Abbildung (Anhang) 22: Anteil der Service-/Poolfahrzeuge, die nie oder selten über 100 km am Tag fahren

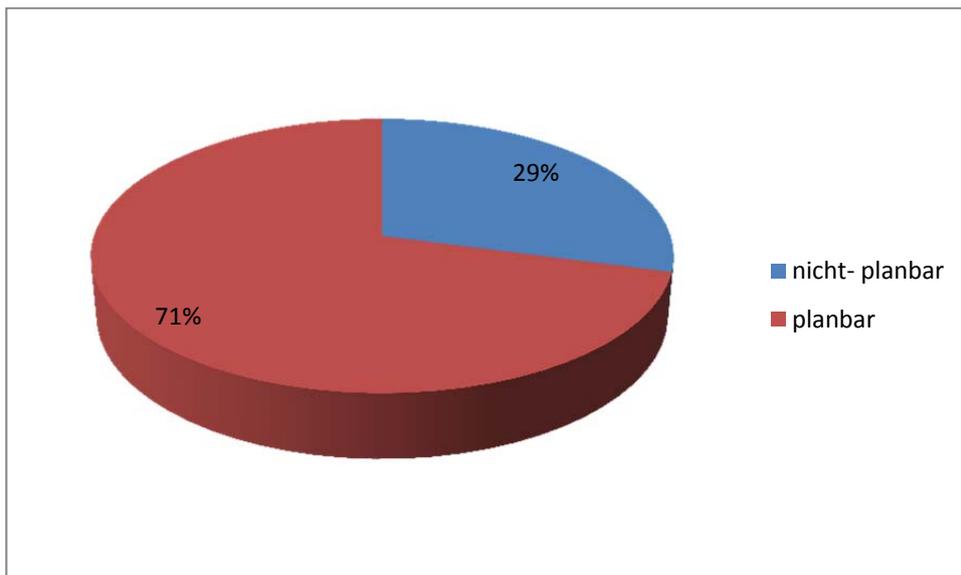


Abbildung (Anhang) 23: Planbarkeit der Tagesfahrleistung der Service-/Poolfahrzeuge

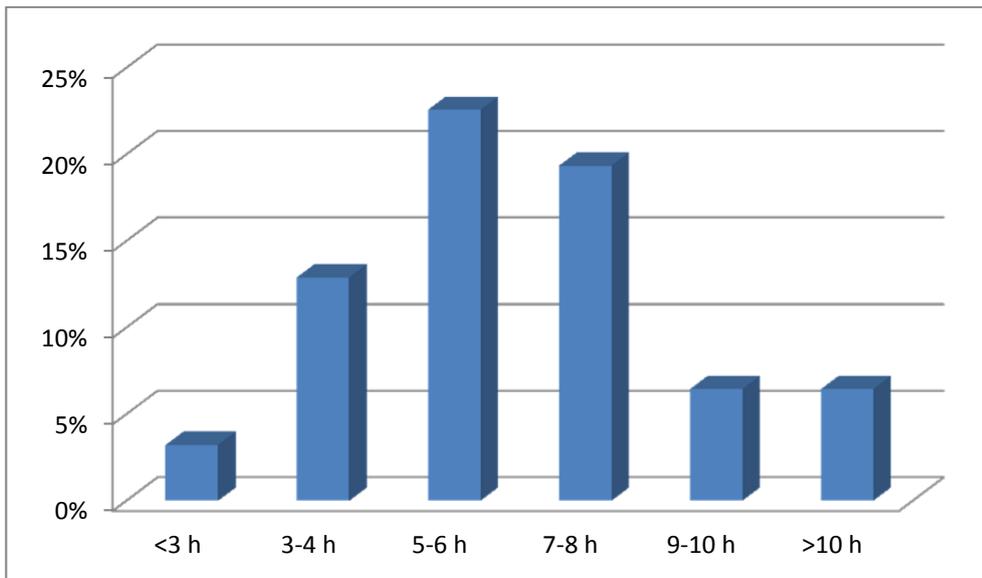


Abbildung (Anhang) 24: Durchschnittliche tägliche Einsatzdauer der Service-/Poolfahrzeuge

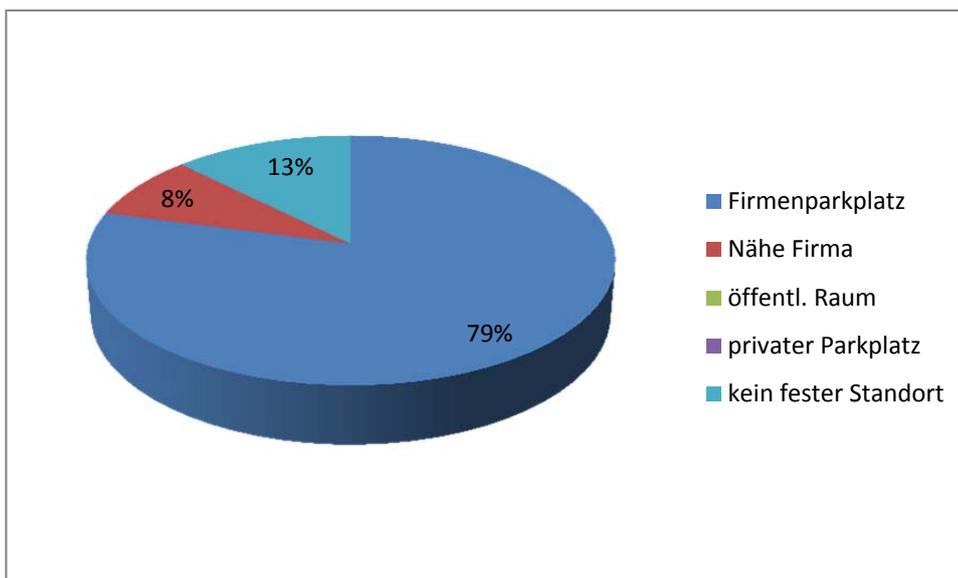


Abbildung (Anhang) 25: Standort der Fahrzeuge über Nacht

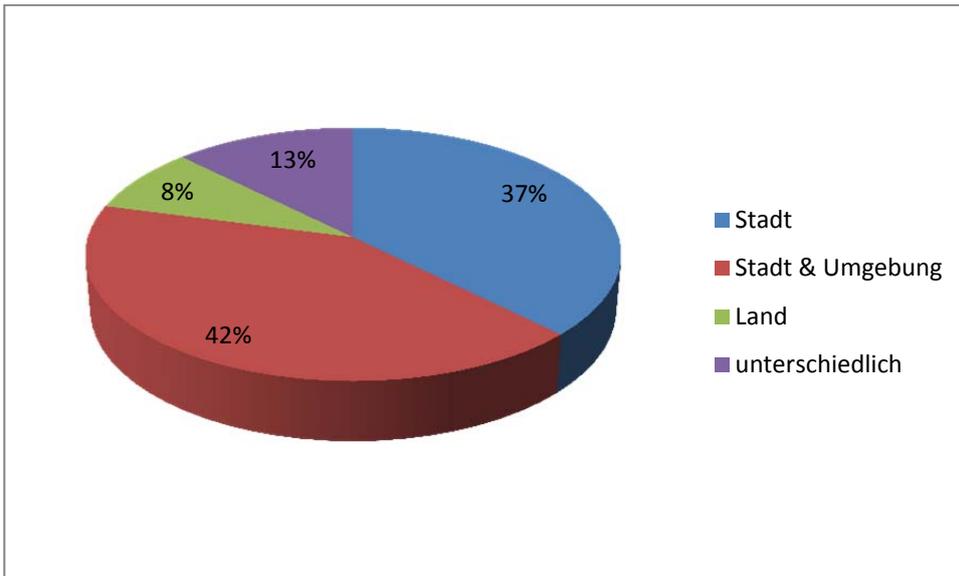


Abbildung (Anhang) 26: Überwiegender Einsatzort der Fahrzeuge

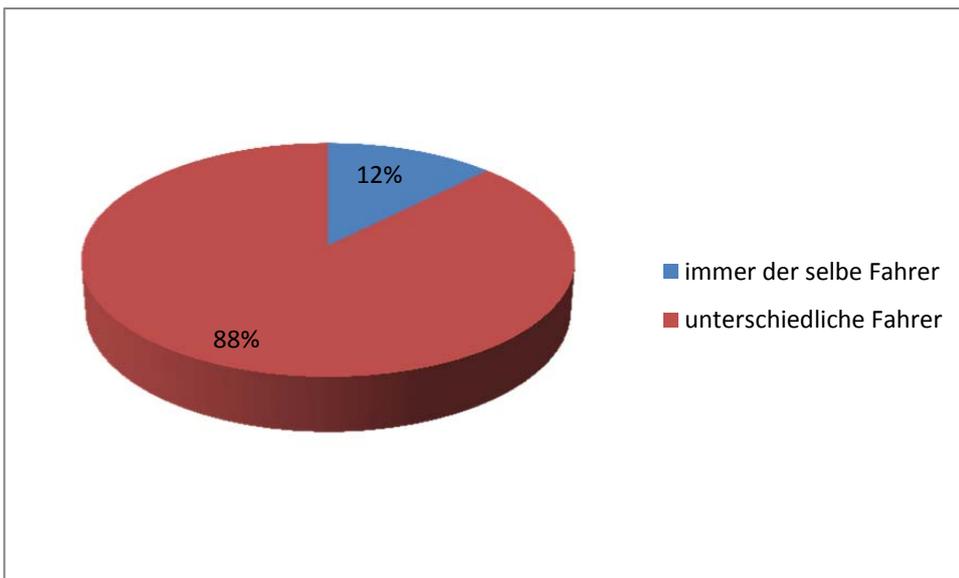


Abbildung (Anhang) 27: Personenbezug der Fahrzeugnutzung

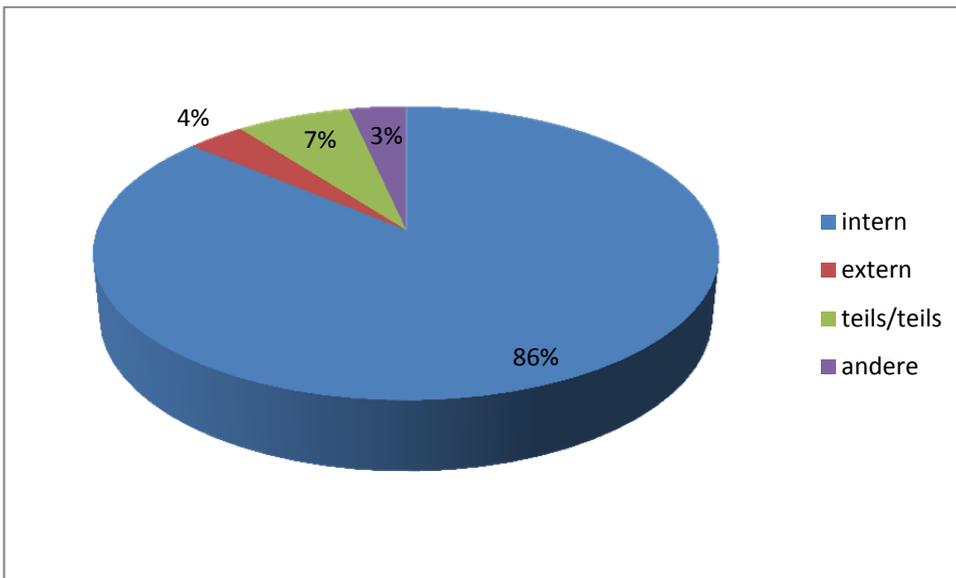


Abbildung (Anhang) 28: Verantwortlichkeit bei der Beschaffung und Organisation der Fahrzeuge

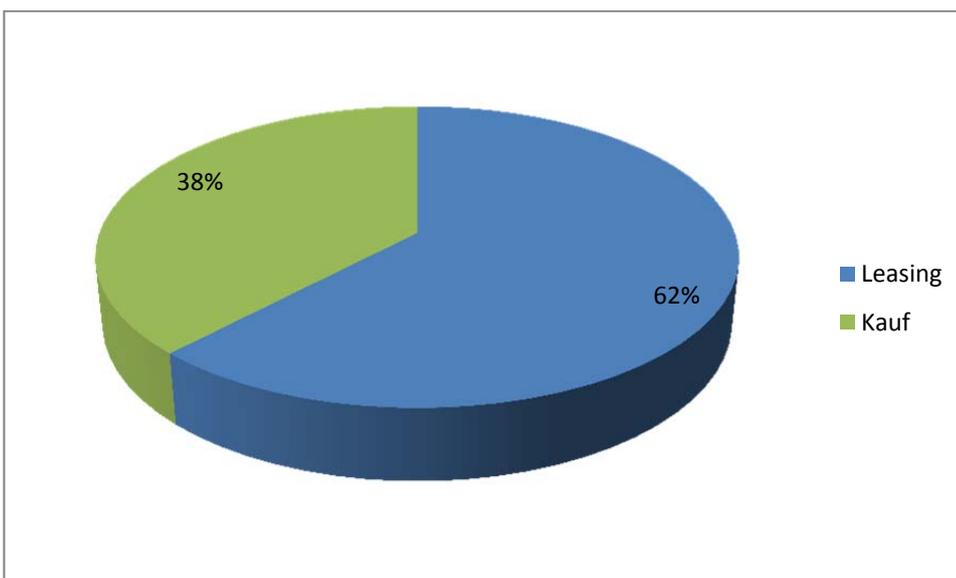


Abbildung (Anhang) 29: Art der Fahrzeugbeschaffung

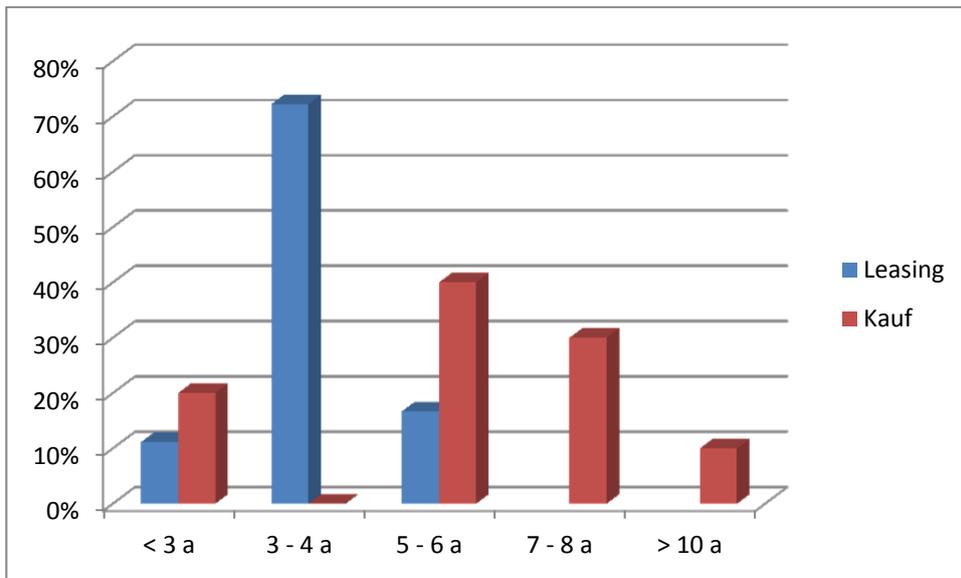


Abbildung (Anhang) 30: Durchschnittliche Pkw-Haltdauer

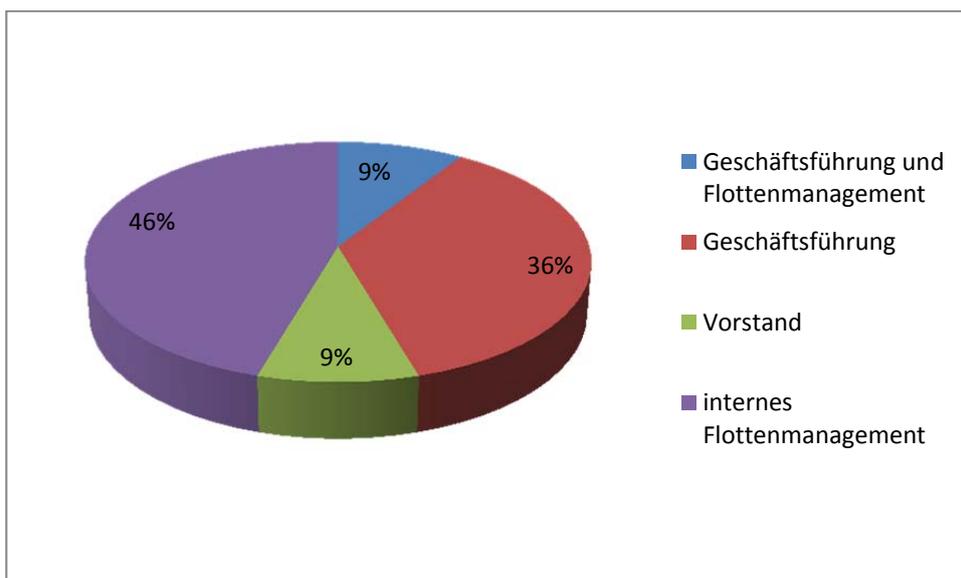


Abbildung (Anhang) 31: Verantwortlichkeit bei der Vorgabe der Beschaffungskriterien

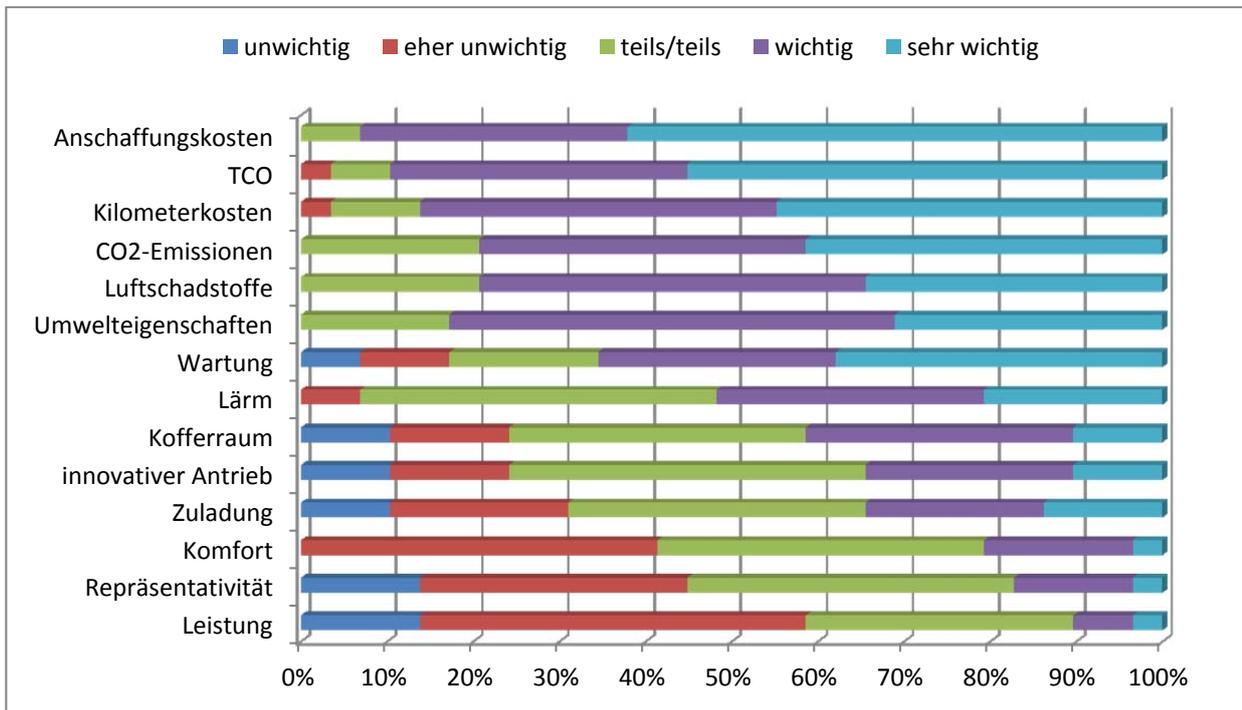


Abbildung (Anhang) 32: Bedeutung verschiedener Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung

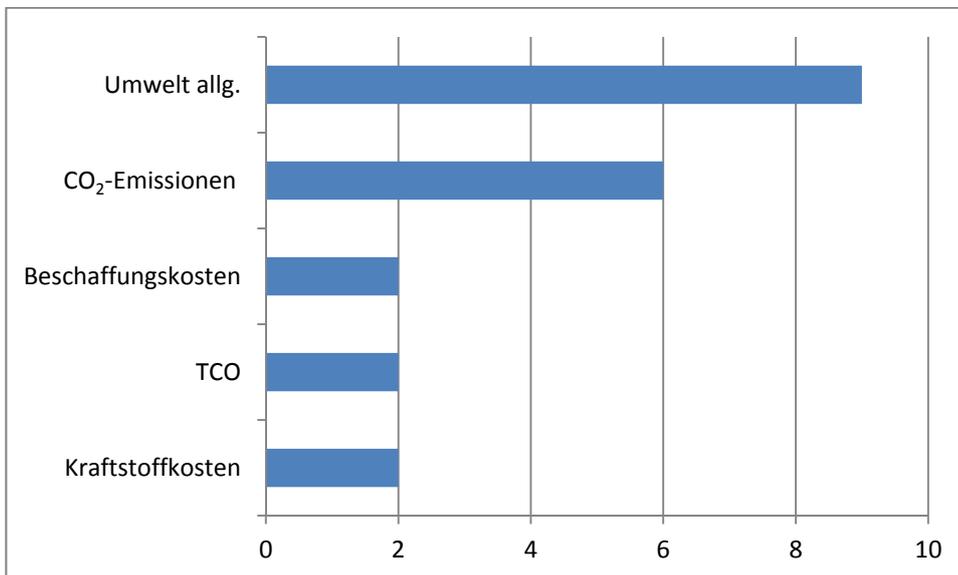


Abbildung (Anhang) 33: Kriterien, die in den letzten Jahren für die Fahrzeugbeschaffung an Bedeutung gewonnen haben

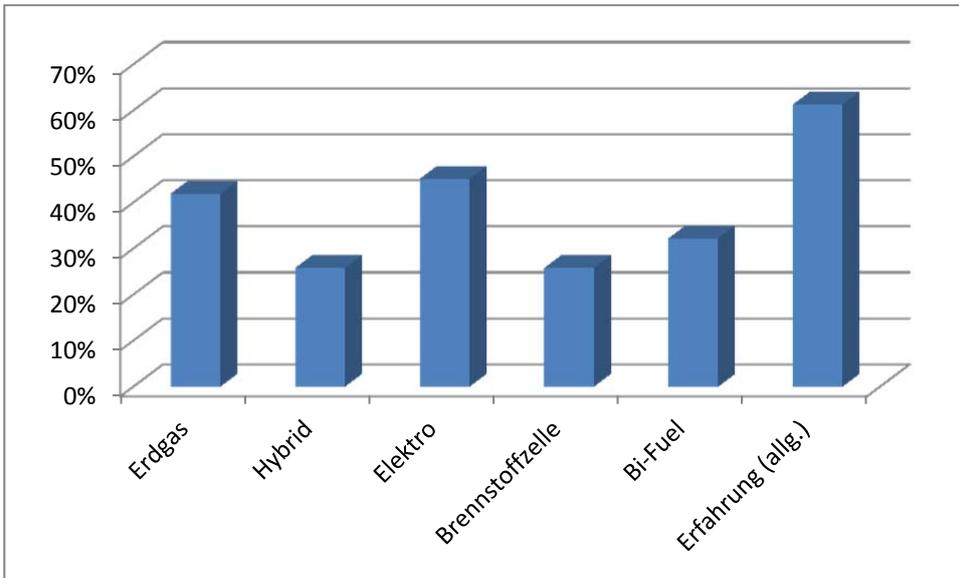


Abbildung (Anhang) 34: Unternehmen, die bereits mit alternativen Antrieben Praxis-Erfahrung haben

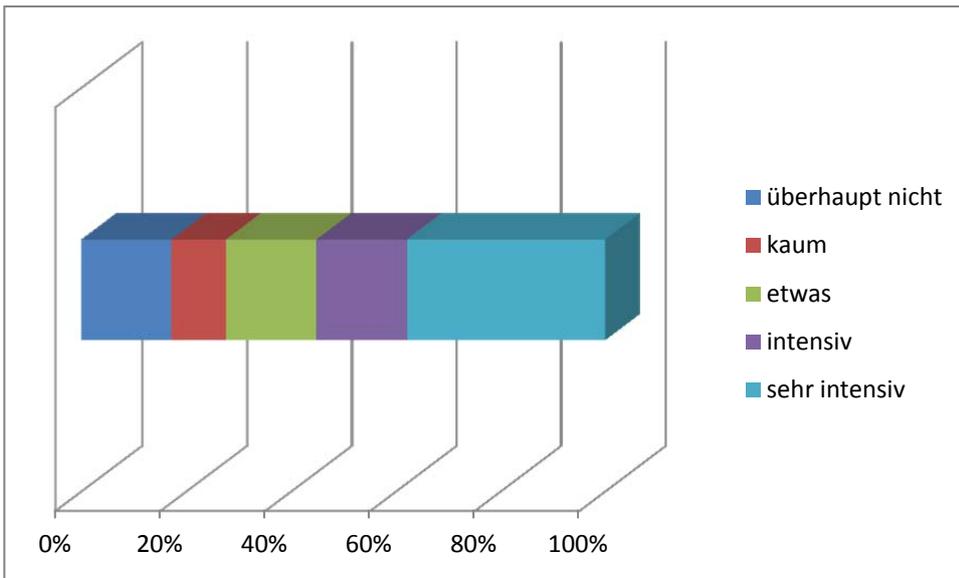


Abbildung (Anhang) 35: Beschäftigung mit dem Thema „Beschaffung eines Elektrofahrzeugs“

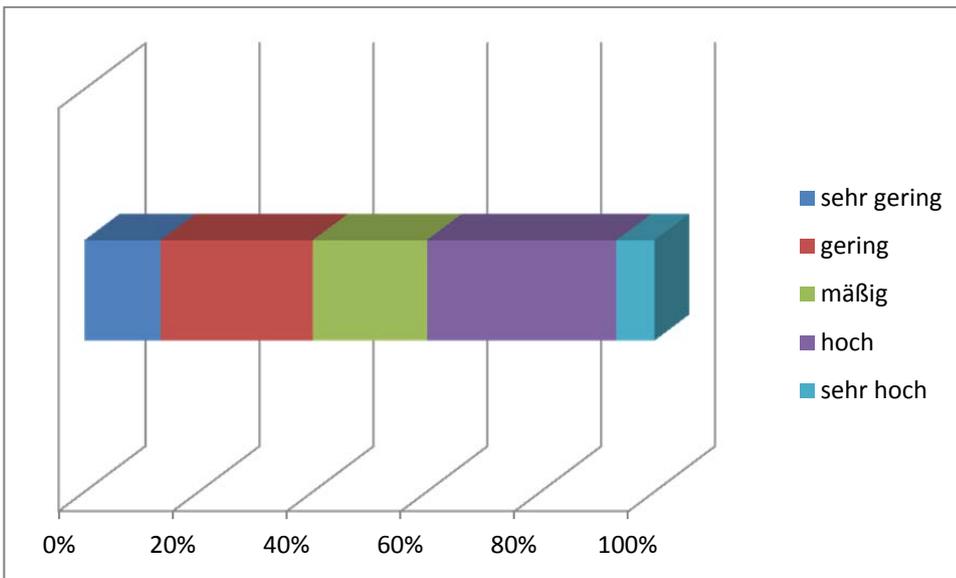


Abbildung (Anhang) 36: Einschätzung zum mittelfristigen Potenzial von Elektrofahrzeugen in der firmeneigenen Flotte

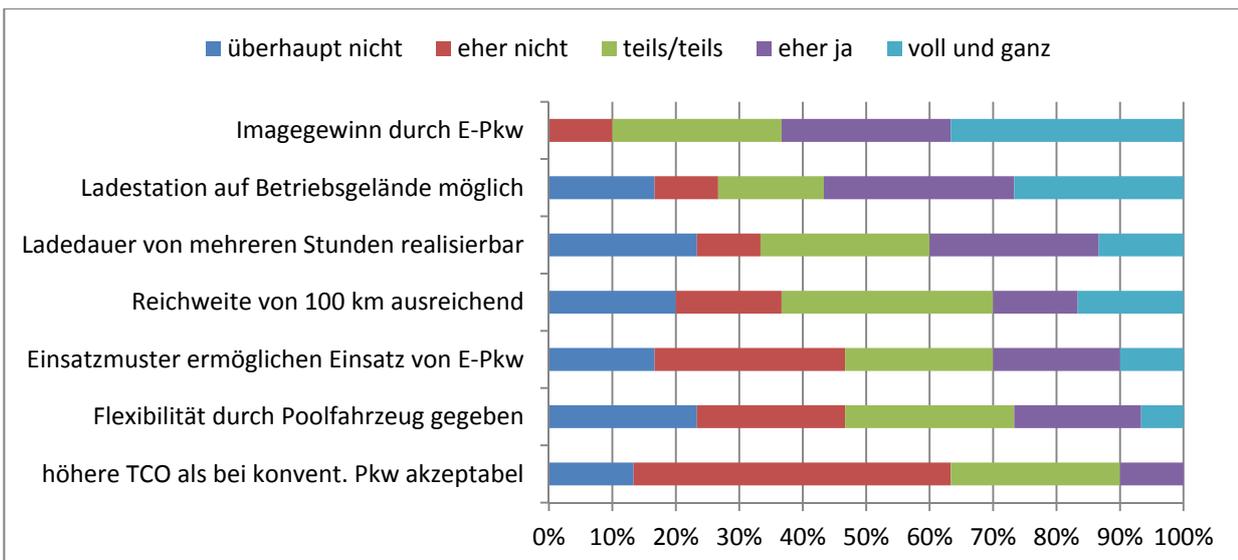


Abbildung (Anhang) 37: Aussagen zum Einsatz von Elektrofahrzeugen in der eigenen Firmenflotte

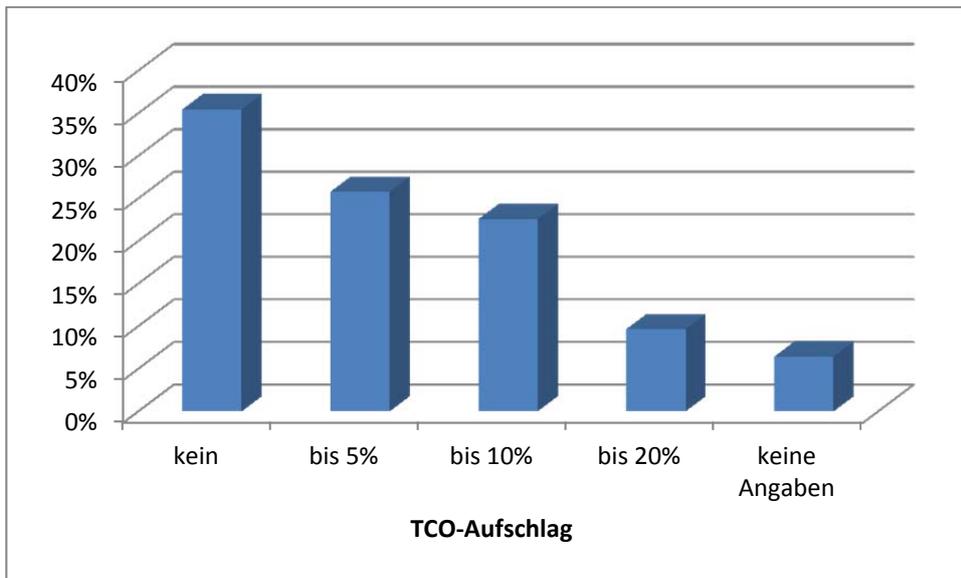


Abbildung (Anhang) 38: Zusätzliche Zahlungsbereitschaft (TCO) für Elektrofahrzeuge

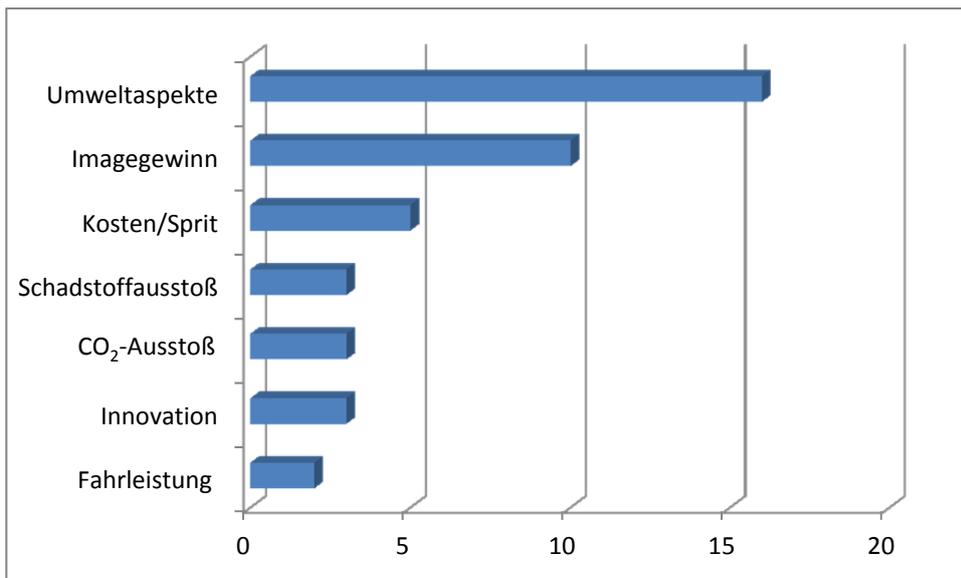


Abbildung (Anhang) 39: Gründe für den Einsatz von Elektrofahrzeugen

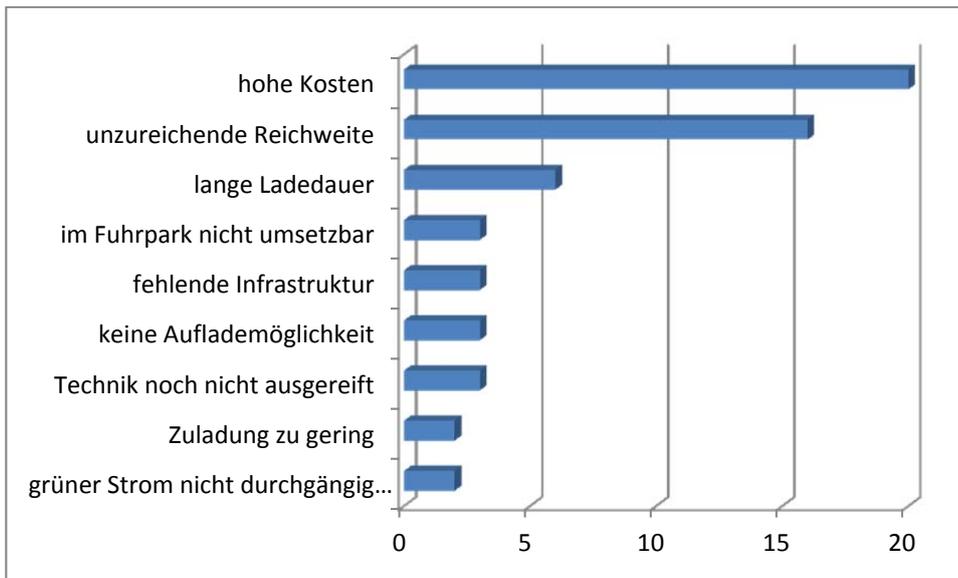


Abbildung (Anhang) 40: Gründe gegen den Einsatz von Elektrofahrzeugen

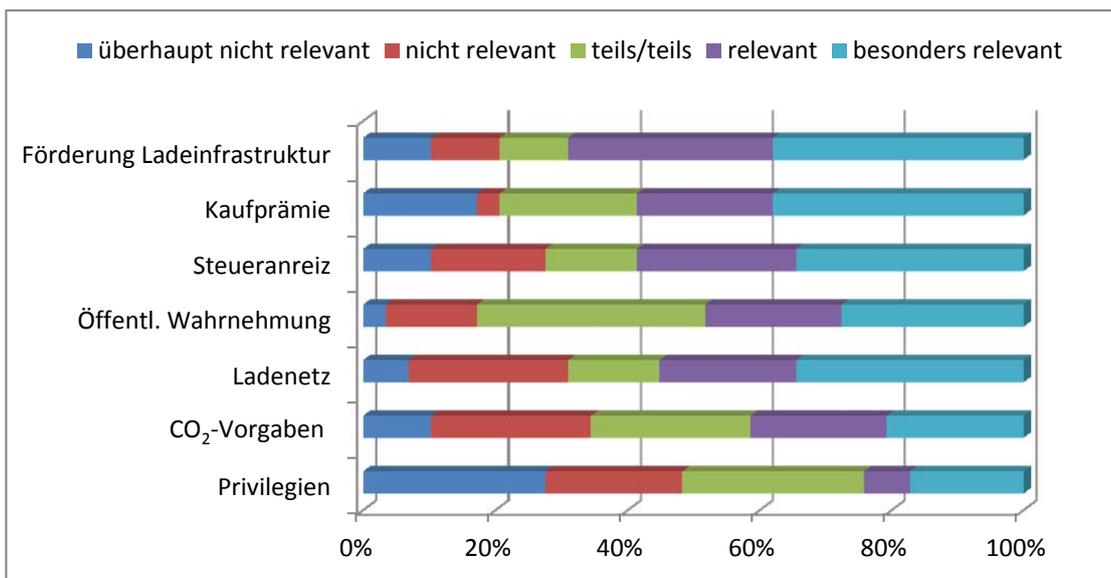


Abbildung (Anhang) 41: Einschätzung der Relevanz von Fördermaßnahmen für den Einsatz von Elektrofahrzeugen

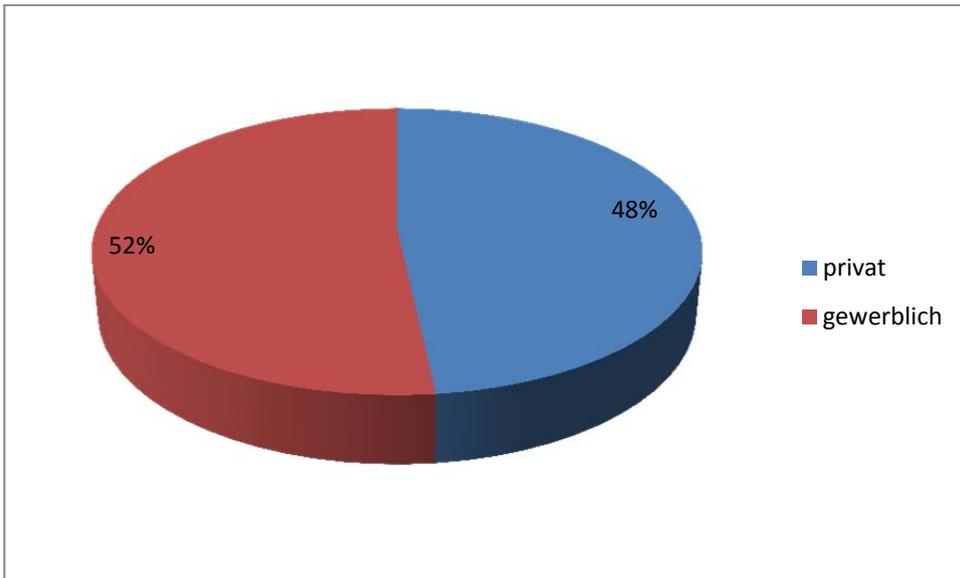


Abbildung (Anhang) 42: Bereiche, die in Zukunft das größere Potenzial für Elektrofahrzeuge haben

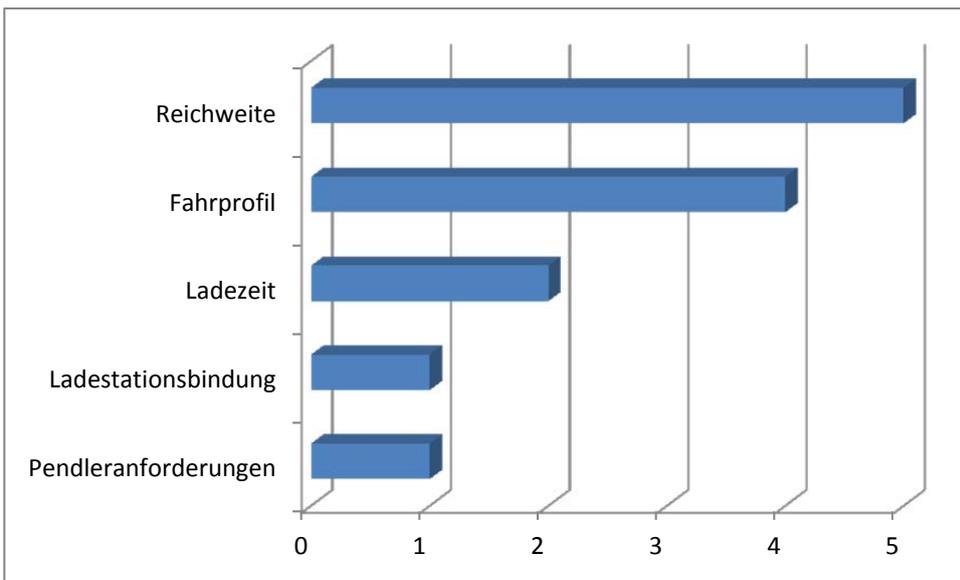


Abbildung (Anhang) 43: Gründe für ein größeres Potenzial im privaten Bereich

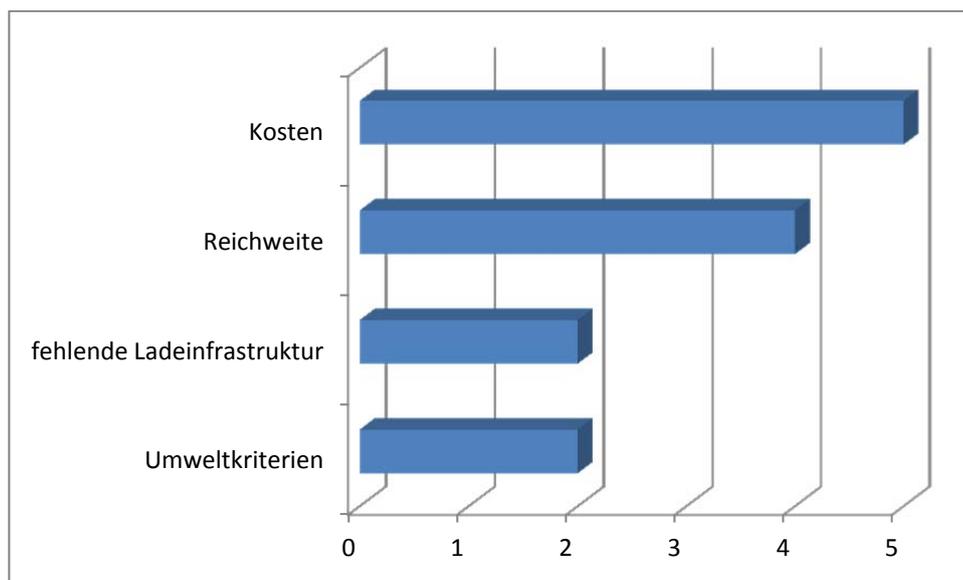


Abbildung (Anhang) 44: Gründe für ein größeres Potenzial im gewerblichen Bereich

Anhang F: Annahmen TCO-Modell

In diesem Anhang wird die Bestimmung einiger in der TCO-Betrachtung verwendeten Größen vorgestellt. Annahmen zum Anschaffungspreis der Fahrzeuge und zu den Kraftstoffkosten entsprechen den Annahmen Anhang A und sind dort aufgeführt. Die Restwertbestimmung ist detailliert in Abschnitt 5.3.2 vorgestellt. Somit wird in an dieser Stelle vor allem auf die variablen Kosten und die Fixkosten der TCO-Betrachtung eingegangen

Variable Kosten

Für die Bestimmung der variablen Kosten werden wie für die Restwertbestimmung drei stellvertretende Pkw⁴⁵ pro Segment und Fahrzeugtyp herangezogen und aus [18] die Kosten für die folgenden Kategorien ausgelesen.

Wartung & Pflege

Unter der Kategorie Wartung & Pflege finden sich Kosten für die Pflege und Wäsche der Pkw, für Reifenwechsel, Reparaturen und Inspektionen. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Kostenarten zwischen konventionellen und batterieelektrischen Pkw nicht unterscheiden. Für batterieelektrische Pkw werden die Kosten des Otto-Fahrzeugs des gleichen Segments herangezogen.

Schmierstoffe

Die Kategorie Schmierstoffe bildet die Kosten für Ölwechsel bzw. -nachfüllung ab. Für batterieelektrische Pkw wird dagegen angenommen, dass keine relevanten Schmierstoffkosten entstehen.

Fixkosten

Für die Bestimmung der Fixkosten wurde – wenn möglich – ebenfalls oben genanntes Verfahren angewandt.

Versicherungen

Für die Bestimmung der Versicherungskosten wurde ein gemittelter Durchschnitt aus nur Haftpflicht, Haftpflicht mit Teilkasko und mit Vollkasko gemäß [41] ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass es bezüglich der Versicherung keine Unterschiede zwischen konventionellen und elektrischen Pkw gibt. Für batterieelektrische Pkw werden die Versicherungskosten der entsprechenden Otto-Fahrzeuge herangezogen.

Kfz-Steuer

Die Kfz-Steuern für konventionelle Fahrzeuge werden ebenfalls aus [18] ausgelesen. Für die elektrischen Pkw wird die Berechnung nach der Methodik des Bundesministeriums für Finanzen (Erstzulassung 1.7.2009 – 31.12.2011) [42] herangezogen.

Für batterieelektrische Pkw wird abweichend von [42], in der eine Steuerbefreiung von 10 Jahren vorgesehen ist, von einer Steuerbefreiung über die gesamte Betriebszeit ausgegangen.

⁴⁵ KBA Topseller 2010

Es wird angenommen, dass sich die Höhe der Kfz-Steuer (CO₂-und hubraumbasiert) trotz Effizienzsteigerung bei den Verbrennungsmotoren zukünftig nicht ändert. Implizit wird durch das Vorgehen davon ausgegangen, dass sich die Kfz-Steuer den Effizienzsteigerungen bei konventionellen Pkw anpasst.

Hauptuntersuchung & Abgasuntersuchung

Die Kosten für Haupt- und Abgasuntersuchung sind aus [43] , wobei batterieelektrische Pkw von der Abgasuntersuchung ausgenommen sind.

Inflationsrate & Diskontsatz

Inflationsrate

Die Inflationsrate bzw. Verbraucherpreisindex wurde aus einem Mittelwert der historischen Daten von 1990 bis 2010 in Deutschland ermittelt [44]. Die Inflationsrate bleibt über die Zeit konstant 1,48 % pro Jahr. Diese gilt für alle Kostenelemente außer den Kraftstoffen.

Abzinsungszinssatz⁴⁶-Diskontierung

Der Abzinsungszinssatz zur Berechnung der Diskontierungsrate wurde an [45], [46] angelehnt und beträgt konstant 4,4 % pro Jahr.

Kraftstoffteuerungsrate

Die Kraftstoffe unterliegen neben der oben genannten allgemeinen Inflationsrate noch einer zusätzlichen spezifischen Kraftstoffteuerungsrate, welche je nach Kraftstoff und betrachtetem Zeitraum unterschiedlich ist. Zur Berechnung der Teuerungsrate wurden für die Stützjahre 2008, 2020 und 2030 aus [47] die Kraftstoffpreise entnommen, so dass über lineare Interpolation die Kraftstoffteuerungsrate für die in Tabelle (Anhang) 11 genannten Zeiträume bestimmt werden konnte.

Tabelle (Anhang) 11: Annahmen zu jährlichen Kraftstoffteuerungsrate

Zeitraum	Strom	Benzin	Diesel
2010 - 2020	0,00 % p.a.	0,89 % p.a.	0,72 % p.a.
2020 - 2030	0,23 % p.a.	1,06 % p.a.	1,12 % p.a.
2030 - 2040	0,13 % p.a.	1,07 % p.a.	1,12 % p.a.

⁴⁶ Auch: Zinsfuß oder interest rate

Anhang G: Fahrzeugnutzungsprofile

Tabelle (Anhang) 12: Fahrzeugnutzungsprofile privat zugelassener Pkw

Tag	Profil	Einteilungskriterien				Eigenschaften				
		Anzahl Fahrten	Zweck ^a	Startzeit der ersten Fahrt	Tagesfahrleistung [km]	Anteil pro Tag [%]	Tagesfahrleistung [km]	Start der ersten Fahrt	Längste Standzeit während des Tages	Ende der letzten Fahrt
Werktag	1_0	0	-	-	-	38	0	-	-	-
Werktag	1_1	-	-	0 – 12 h	> 37,5	19	76	07:36	08:50 – 16:03	Arbeitsstelle 18:22
Werktag	1_2	-	mindestens 1x A	0 – 12 h	< 37,5	18	19	07:36	08:20 – 16:16	Arbeitsstelle 17:44
Werktag	1_3	-	0 x A	0 – 12 h	< 37,5	16	16	09:11	10:06 – 13:38	Einkaufsort 14:52
Werktag	1_4	-	-	12 – 24 h	-	9	21	15:38	16:09 – 18:00	Freizeitort 18:31
Samstag	2_0	0	-	-	-	47	0	-	-	-
Samstag	2_1	2 – 3	0 x A	0 – 12 h	< 37,5	15	12	09:55	10:17 – 12:13	Einkaufsort 12:38
Samstag	2_2	-	-	12 – 24 h	-	14	25	15:00	15:33 – 17:37	Freizeitort 18:11
Samstag	2_3	-	mindestens 1x A & 0x A (> 3 Fahrten)	0 – 12 h	< 37,5	13	18	09:23	10:40 – 15:27	zu Hause 16:52
Samstag	2_4	-	-	0 – 12 h	> 37,5	11	80	08:38	10:53 – 16:13	Freizeitort 18:41
Sonntag	3_0	0	-	-	-	66	0	-	-	-
Sonntag	3_1	-	-	12 – 24 h	-	14	29	14:58	15:34 – 18:08	Freizeitort 18:42
Sonntag	3_2	-	-	0 – 12 h	< 37,5	14	16	09:47	10:37 – 14:20	Freizeitort 15:12
Sonntag	3_3	-	-	0 – 12 h	> 37,5	6	93	09:27	11:01 – 15:45	Freizeitort 17:36

^a Das Kürzel A entspricht Arbeitsstelle

Tabelle (Anhang) 13: Fahrzeugnutzungsprofile potenziell batterieelektrischer gewerblich zugelassener Pkw 2020

		Einteilungskriterien				Eigenschaften			
Tag	Profil	Tagesfahrleistung [km]	Anteil private Fahrten	Anteil pro Tag [%]	Tagesfahrleistung [km]	Start der ersten Fahrt	Längste Standzeit während des Tages	Standort	Ende der letzten Fahrt
							Uhrzeit		
Werktag	0	0	-	26	-	-	-	-	-
Werktag	1	≤ 80	≤ 0,5	30	39	08:32	09:53 – 13:21	öffentlicher Raum	14:38
Werktag	2	> 80	≤ 0,5	15	105	07:55	10:09 – 14:34	öffentlicher Raum	16:30
Werktag	3	≤ 80	> 0,5	26	34	07:49	08:47 – 15:59	zu Hause	17:11
Werktag	4	> 80	> 0,5	3	102	07:46	09:21 – 15:43	zu Hause	18:35
Samstag	0	0	-	62	-	-	-	-	-
Samstag	1	≤ 80	≤ 0,5	17	32	09:26	10:29 – 12:58	öffentlicher Raum	13:46
Samstag	2	> 80	≤ 0,5	1	115	09:46	11:19 – 15:37	Betriebsgelände	17:55
Samstag	3	≤ 80	> 0,5	19	26	09:58	10:44 – 13:54	zu Hause	14:42
Samstag	4	> 80	> 0,5	2	100	09:51	12:00 – 15:57	zu Hause	18:42
Sonntag	0	0	-	69	-	-	-	-	-
Sonntag	1	≤ 80	≤ 0,5	3	38	09:55	11:16 – 12:53	öffentlicher Raum	13:40
Sonntag	2	> 80	≤ 0,5	1	134	08:49	11:01 – 13:49	öffentlicher Raum	17:39
Sonntag	3	≤ 80	> 0,5	26	32	11:02	11:51 – 17:03	zu Hause	18:18
Sonntag	4	> 80	> 0,5	2	104	11:06	12:06 – 16:43	zu Hause	18:09

Tabelle (Anhang) 14: Fahrzeugnutzungsprofile potenziell batterieelektrischer gewerblich zugelassener Pkw 2030

Tag	Profil	Einteilungskriterien		Eigenschaften					
		Tagesfahrleistung [km]	Anteil private Fahrten	Anteil pro Tag [%]	Tagesfahrleistung [km]	Start der ersten Fahrt	Längste Standzeit während des Tages		Ende der letzten Fahrt
							Uhrzeit	Standort	
Werktag	0	0	-	26	-	-	-	-	-
Werktag	1	≤ 80	≤ 0,5	28	39	08:29	9:50 – 13:25	öffentlicher Raum	14:48
Werktag	2	> 80	≤ 0,5	18	124	07:51	11:11 – 15:21	öffentlicher Raum	17:23
Werktag	3	≤ 80	> 0,5	26	35	07:48	09:06 – 16:20	zu Hause	17:39
Werktag	4	> 80	> 0,5	3	106	07:42	9:21 – 15:52	zu Hause	19:01
Samstag	0	0	-	62	-	-	-	-	-
Samstag	1	≤ 80	≤ 0,5	16	32	09:26	10:29 – 12:59	öffentlicher Raum	13:47
Samstag	2	> 80	≤ 0,5	1	118	09:24	11:04 – 15:24	Betriebsgelände	17:49
Samstag	3	≤ 80	> 0,5	19	27	09:56	10:46 – 14:01	zu Hause	14:54
Samstag	4	> 80	> 0,5	2	102	09:41	11:54 – 16:11	zu Hause	19:07
Sonntag	0	0	-	69	-	-	-	-	-
Sonntag	1	≤ 80	≤ 0,5	3	38	09:55	11:16 – 12:53	öffentlicher Raum	13:40
Sonntag	2	> 80	≤ 0,5	1	131	08:54	10:47 – 15:22	öffentlicher Raum	18:32
Sonntag	3	≤ 80	> 0,5	26	32	11:01	11:51 – 17:04	zu Hause	18:19
Sonntag	4	> 80	> 0,5	2	104	11:06	12:06 – 16:43	zu Hause	18:09

Anhang H: Stromerzeugung für Elektromobilität

Tabelle (Anhang) 15: Brennstoffmix der Differenz der Stromerzeugung zwischen Szenarien mit Elektromobilität und Basisszenario für 2020

Differenzstromerzeugung nach Brennstoffen 2020 in MWh				
	ohne LM / ohne EE-Zubau	mit LM / ohne EE-Zubau	ohne LM / mit EE-Zubau	mit LM / mit EE-Zubau
Braunkohle	546.398	883.559	-394.803	-69.570
Steinkohle	1.340.234	889.057	416.748	-42.223
Erdgas	175.724	37.412	125.933	-5.147
Kernenergie	33.057	97.472	-76.176	-20.833
Heizöl leicht	15.570	0	13.768	-604
Heizöl schwer	20.387	1.742	15.106	-934
Biogas	2.330	6.829	525.979	525.917
feste Biomasse	601	0	-8.032	-2.118
Pflanzenöl	2.083	2.018	-554	1.572
Laufwasser	0	0	0	0
Wind onshore	3.586	3.586	1.545.053	1.569.354
Wind offshore	8.488	8.488	-7.057	16.021
PV	0	0	0	0
Import	0	0	0	0
Summe	2.148.458	1.930.163	2.155.964	1.971.435
Turbinenstrom	245.971	-271.927	269.327	-269.663

Tabelle (Anhang) 16: Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien der Differenzstromerzeugung sowie nicht nutzbare fluktuierende erneuerbare Energien bezogen auf das maximal verfügbare Dargebot für 2020

	ohne LM / ohne EE-Zubau	mit LM / ohne EE-Zubau	ohne LM / mit EE-Zubau	mit LM / mit EE-Zubau
CO₂-Emissionen (t)	1.920.610	1.752.090	178.924	-4.576
CO₂-Emissionsfaktor (kg/kWh_{el})	0,894	0,908	0,083	-0,002
Anteil erneuerbarer Energien	1%	1%	95%	107%
Überschuss Wind und PV bez. auf Dargebot	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%

Tabelle (Anhang) 17: Brennstoffmix der Differenz der Stromerzeugung zwischen Szenarien mit Elektromobilität und Basisszenario für 2030

Differenzstromerzeugung nach Brennstoffen 2030 in MWh				
	ohne LM / ohne EE-Zubau	mit LM / ohne EE-Zubau	ohne LM / mit EE-Zubau	mit LM / mit EE-Zubau
Braunkohle	2.395.091	4.407.841	-2.251.054	-431.195
Steinkohle	5.016.202	3.652.868	1.385.370	-125.046
Erdgas	2.232.861	555.938	1.630.774	13.187
Kernenergie	0	0	0	0
Heizöl leicht	443.487	84.762	332.286	-66
Heizöl schwer	330.229	79.713	266.534	14.367
Biogas	-817	-531	2.844.422	2.847.550
feste Biomasse	8.405	35.973	-132.136	-106.066
Pflanzenöl	1.651	4.232	-19.620	-15.964
Laufwasser	0	0	0	0
Wind onshore	41.880	286.892	8.397.434	8.741.505
Wind offshore	511.873	1.726.812	-1.331.310	17.493
PV	0	0	0	0
Import	897.774	106.247	738.236	10.177
Summe	<i>11.878.634</i>	<i>10.940.748</i>	<i>11.860.937</i>	<i>10.965.944</i>
Turbinenstrom	1.503.802	-1.198.578	1.448.731	-1.120.172

Tabelle (Anhang) 18: Emissionsfaktor und Anteil erneuerbarer Energien der Differenzstromerzeugung sowie nicht nutzbare fluktuierende erneuerbare Energien bezogen auf das maximal verfügbare Dargebot für 2030

	ohne LM / ohne EE-Zubau	mit LM / ohne EE-Zubau	ohne LM / mit EE-Zubau	mit LM / mit EE-Zubau
CO₂-Emissionen (t)	8.472.251	8.223.364	734.696	185.409
CO₂-Emissionsfaktor (kg/kWh_{el})	0,713	0,752	0,062	0,017
Anteil erneuerbarer Energien	5%	19%	82%	105%
Überschuss Wind und PV bez. auf Dargebot	2,3%	1,6%	3,0%	2,3%

Anhang I: Modellbeschreibung PowerFlex

Das am Öko-Institut entwickelte Strommarktmodell PowerFlex ist ein Fundamentalmodell, welches thermische Kraftwerke, Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerke und flexible Stromverbraucher kostenminimal einsetzt, um die Stromnachfrage zu decken. Die zu minimierende Zielfunktion ist die Summe über die im Jahr anfallenden, kurzfristigen Stromerzeugungskosten. Das Modell PowerFlex ist sowohl als lineares als auch als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem formuliert und wird gegenwärtig zur Ex-ante-Szenarienanalyse von Ausbaupfaden für erneuerbare Energien, Elektromobilität und Smart Grids und zur Ex-post-Bewertung von Politikmaßnahmen, wie z. B. dem europäischen Emissionshandel, eingesetzt.

Die einzelnen Kraftwerke werden im Modell detailliert mit Hilfe technischer und ökonomischer Parameter abgebildet. Kraftwerke mit einer installierten elektrischen Leistung größer 100 MW werden blockscharf und mit individuellem Wirkungsgrad erfasst. In der gemischt-ganzzahligen Modellvariante werden des Weiteren drei Betriebszustände unterschieden: An- und Abfahren, Teillast und Vollast. Neben technologiespezifischen Laständerungsgradienten werden auch die Wirkungsgrade in den einzelnen Betriebszuständen unterschieden.

Kleinere thermische Stromerzeugungsanlagen werden in technologie- und baujahrspezifischen Gruppen zusammengefasst und mit Hilfe von typspezifischen Parametern charakterisiert. Diese Anlagen können ihre Leistung ohne Berücksichtigung von Lastgradienten ändern. Gleiches gilt für Pumpspeicherkraftwerke, die in Gruppen mit einem vergleichbaren Verhältnis von Speicherkapazität zu installierter elektrischer Leistung zugeordnet werden. Insgesamt setzt sich der thermische Kraftwerkspark aus rund 250 Einzelblöcken und 150 Technologieaggregaten zusammen.

Kraftwerke, die Biogas, Holz oder Pflanzenöl einsetzen, werden als Technologieaggregate im Modell abgebildet und sind somit Teil des thermischen Kraftwerksparks. Ihr Einsatz wird in zukünftigen Szenarienjahren als flexibel angenommen. Das zur Verfügung stehende Stromangebot aus Laufwasser, Wind offshore, Wind onshore und Photovoltaik (PV) wird mit Hilfe generischer Einspeiseprofile in stündlicher Auflösung vorgegeben. Die tatsächlich eingespeiste Menge an Wasser-, Wind- und Photovoltaikstrom wird modellendogen bestimmt: Das Modell kann dargebotsabhängige, erneuerbare Energien als überschüssig klassifizieren, sofern ihre Einspeisung die Nachfrage übersteigt.

Das Erzeugungsprofil für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich aus einem typischen Fernwärmeprofil und einer angenommenen Gleichverteilung für industrielle KWK-Anlagen zusammen. Für jeden Hauptenergieträger ergibt sich somit ein individuelles KWK-Profil. Für so genannte must-run-Kraftwerke, die vom Strommarkt unabhängig operieren, wie z. B. Gichtgas-Kraftwerke oder Müllverbrennungsanlagen, wird eine gleichverteilte Stromeinspeisung unterstellt.

Die Stromnachfrage wird analog zur fluktuierenden Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien in stündlicher Auflösung vorgegeben. Das Nachfrageprofil setzt sich aus der Netzlast und einer angenommenen Gleichverteilung der Industriestromnachfrage zusammen. Die Bereitstellung von Regelleistung wird durch Vorgabe einer ganzjährigen Sockellast thermischer Kraftwerke in Höhe von 14 GW abgebildet.

Eine zentrale Modellanwendung ist die Abbildung verschiedener Flexibilitäten auf der Nachfrageseite durch Speicher oder flexible Verbraucher. Als flexible Verbraucher können

beispielsweise Prozesse mit einem thermischen Speicher, wie z. B. Geräte zur elektrischen Kälte- und Wärmebereitstellung oder mit einem zeitvariablen Einsatz modelliert werde. Zu diesen gehört auch die Abbildung von Elektrofahrzeugen ohne und mit Lademanagement im Modul E-Mobilität.

Der kostenminimale Einsatz von thermischen Kraftwerken, Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien und Pumpspeicherkraftwerken wird auf Basis einer vollständigen Voraussicht unter Berücksichtigung technischer und energiewirtschaftlicher Nebenbedingungen, wie zum Beispiel Deckung der Last, Bereitstellung von KWK-Wärme oder Regelleistung, bestimmt.

Das Optimierungsproblem ist in GAMS implementiert und wird mit Hilfe des Simplex-Algorithmus gelöst. Es besteht in der linearen Variante bei einem ganzjährigen Optimierungszeitraum (8.760 Zeitschritte) aus ca. 2,5 Mio. Variablen, in der gemischt-ganzzahligen Variante sind es bei einer day-ahead-Optimierung ca. 15.000 binäre Variablen je Optimierungszeitraum (365 Optimierungszeiträume mit je 24 Zeitschritten).

Als Modellergebnisse werden basierend auf dem stundenscharfen Kraftwerkseinsatz der dazugehörige Brennstoffmix, die entsprechenden CO₂-Emissionen und der daraus resultierende Strompreis ausgegeben. Darüber hinaus können je nach Fragestellung weitere Modellergebnisse, wie z. B. die Menge nicht genutzter fluktuierender Stromerzeugung oder die Einsatzprofile, Benutzungsstunden und Deckungsbeiträge von thermischen Kraftwerken, Speichern und Flexibilitätsoptionen, dargestellt und ausgewertet werden.

Modul E-Mobilität im Strommarktmodell PowerFlex

Mit dem Modul E-Mobilität werden das Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Stromerzeugung im PowerFlex-Modell detailliert modelliert. Damit ist es möglich, eine große Anzahl verschiedener Fahrzeugnutzungsprofile (z. Zt. ca. 60) im Modell stundenscharf zu verarbeiten. Dies erlaubt die Abbildung detaillierter Inputdaten für die Elektromobilität. Im Modul E-Mobilität sind sowohl reine batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) als auch Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV), die einen Teil ihres Energiebedarfs durch Kraftstoff decken können, implementiert.

Der Stromverbrauch für die Batterieladung der Fahrzeuge kann ohne Lademanagement (ungesteuert) oder mit Lademanagement (preisoptimiert gesteuert) in die Modellierung des Strommarkts integriert werden. Im ungesteuerten Fall ist die Nachfrage der Fahrzeuge ein fest vorgegebenes Profil, das zur bisherigen Stromnachfrage hinzukommt.

In Fall des Ladens mit Lademanagement werden pro Fahrzeugnutzungsprofil zwei Zeitreihen an das Strommarktmodell übergeben: der Verbrauch im Fahrzeug beim Fahren und die in jeder Stunde zur Ladung verfügbare maximale Anschlussleistung. Die durchgeführten Fahrten sind mit Lademanagement dieselben wie im Fall ohne Lademanagement.

Die Optimierungsaufgabe ist weiterhin die Minimierung der kurzfristigen Stromerzeugungskosten, wobei nun auch Strom für die Ladung der Fahrzeugbatterien produziert werden muss. Gleichzeitig muss das Modell die in Kapitel 7 dargestellten Restriktionen für die Fahrzeuge einhalten: Um den zeitlich vorgegebenen Energieverbrauch der Fahrzeuge beim Fahren liefern zu können, muss der Füllstand der Batterie ausreichen. Das Modell kann über die Höhe des Batteriefüllstands in jeder Stunde entscheiden, indem es über die Ladeleistung in jeder Stunde (im Rahmen der in jeder Stunde verfügbaren Anschlussleistung) entscheidet. Die Ladeleistung ist wiederum ein – zeitlich variabler – Teil der

Stromnachfrage, die mit dem Optimierungskalkül zu möglichst niedrigen Kosten gedeckt werden soll. Dies führt dazu, dass das Lademanagement die Ladung der Batterien in Stunden mit möglichst niedrigen Stromerzeugungskosten verschiebt.

Unten stehende Abbildung zeigt die beschriebenen Input- und Output-Größen für die Strommarktmodellierung inklusive der Abbildung der Elektromobilität im Überblick.

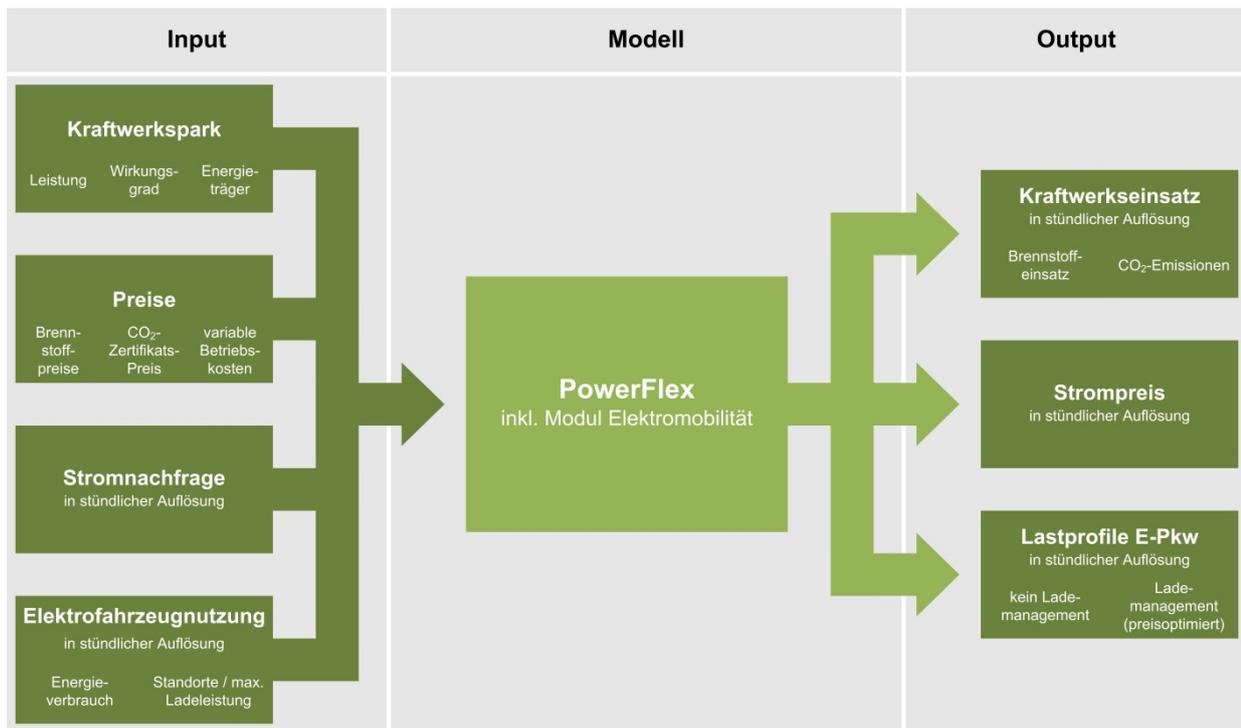


Abbildung (Anhang) 45: Schematische Darstellung von Input- und Output-Größen der Strommarktmodellierung mit PowerFlex und dem Modul Elektromobilität