

Working Paper Sustainability and Innovation
No. S 7/2012



**Till Gnann, Patrick Plötz,
Florian Zischler, Martin Wietschel**

**Elektromobilität im Personenwirtschafts-
verkehr – eine Potenzialanalyse**

Abstract

Der Wirtschaftsverkehr wird häufig als potenzieller Erstmarkt für Elektrofahrzeuge diskutiert. Der Anteil gewerblich zugelassener Fahrzeuge ist in Deutschland zwar bestandsmäßig gering (10%), bei den Neuzulassungen beträgt er jedoch rund 60 %. Zudem verhelfen hohe Fahrleistungen zu einer schnelleren Amortisation von Mehrinvestitionen für Elektrofahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen durch geringere laufende Kosten. Uneinheitliche Definitionen und eine geringe Datenverfügbarkeit erschweren jedoch eine umfassende quantitative Betrachtung des Wirtschaftsverkehrs. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Abschätzung des Potenzials für Elektrofahrzeuge im Personenwirtschaftsverkehr vorzunehmen. Hierfür werden Batterieladestände von Fahrzeugen simuliert, um die technischen Voraussetzungen zu prüfen und anschließend wird in einer TCO-Berechnung die ökonomisch sinnvollste Fahrzeugoption gewählt. Analysiert werden mehrtägige Fahrprofile, die im Rahmen des Projektes REM2030 erhoben wurden, sowie die derzeit umfangreichste eintägige Fahrprofilatenbank für den Personenwirtschaftsverkehr KiD2002. Die Analysen zeigen, dass sich im Rahmen der methodischen Unsicherheiten kaum Wirtschaftszweige eindeutig bestimmen lassen, die besonders interessant für Elektrofahrzeuge sind, jedoch die Bereiche „Erbringung von sonstigen Dienstleistungen“ (S), „Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen“ (G) und das „Verarbeitende Gewerbe“ (C) aufgrund ihrer Fahrzeugzahl interessante Wirtschaftszweige darstellen. Hohe relative Potenziale lassen sich in allen Wirtschaftszweigen nur mit einer hohen angenommenen Abschreibungsdauer darstellen, zudem ist eine Erhebungsdauer von mehr als einem Tag notwendig, um belastbare Aussagen zu treffen. Im Rahmen des Projektes REM2030 werden daher auch in den kommenden Jahren weitere Fahrprofile für den Wirtschaftsverkehr erhoben.

Keywords: Wirtschaftsverkehr, Elektromobilität, Potenzialanalyse, Fahrprofile, TCO-Analyse

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Einleitung und Motivation	1
2	Einordnung des Personenwirtschaftsverkehrs.....	3
2.1	Definition des Wirtschaftsverkehrs	3
2.2	Der Wirtschaftsverkehr auf der Straße.....	5
2.3	Der Personenwirtschaftsverkehr	7
2.4	Personenwirtschaftsverkehr im Vergleich zum Personenprivatverkehr	10
3	Bestimmung interessanter Wirtschaftszweige für Elektromobilität.....	12
3.1	Potenzialberechnung auf Basis von Fahrprofilen	12
3.1.1	Methodik	12
3.1.2	Datengrundlage	16
3.2	Ökonomisches Potenzial mit REM2030-Fahrprofilen.....	17
3.2.1	Datenerhebung der REM2030-Fahrprofile	17
3.2.2	Ergebnisse	18
3.3	Ökonomisches Potenzial nach KiD2002-Fahrdaten.....	24
3.3.1	Datenauswahl und -überprüfung	24
3.3.2	Ergebnisse	26
3.4	Vergleich und Diskussion.....	31
4	Zusammenfassung und Diskussion.....	34
	Literatur.....	36
A	Anhang	39

1 Einleitung und Motivation

In Elektromobilität werden große Hoffnungen gesetzt, einen deutlichen Beitrag zur langfristigen Senkung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen zu leisten ohne motorisierten Individualverkehr aufzugeben. Bei Personenkraftwagen machen gewerblich gehaltene Fahrzeuge nur ungefähr 10 % des Bestandes aber ca. 60 % der Neuzulassungen aus (siehe Abschnitt 2). Gerade für einen möglichen Einstieg in den Massenmarkt von Elektro-PKW bis 2020 ist der Wirtschaftsverkehr mit PKW also äußerst wichtig, denn viele Fahrzeuge kommen über den Gebrauchtwagenmarkt aus dem Wirtschaftsverkehr in den Gesamtbestand (NPE 2011) und durch die hohen Jahresfahrleistungen haben gewerblich gehaltene Fahrzeuge auch überproportional hohen Anteil an den CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs.

Trotz der Bedeutung des Wirtschaftsverkehrs ist seine Untersuchung schwierig. Zum einen ist der Wirtschaftsverkehr sehr heterogen und dadurch schwerer zu beschreiben als Privatverkehr. Wo sich Privat-PKW im Wesentlichen nur durch die Fahrzeuggröße und die Jahresfahrleistungen unterscheiden, kommen beim Wirtschaftsverkehr eine Vielzahl an Wirtschaftsbranchen und Nutzungsprofile sowie Fahrzeuganforderungen (wie Ladefläche) hinzu. Zum anderen stehen weniger öffentliche Daten für den Wirtschaftsverkehr zur Verfügung. Nur eine breit angelegte Erhebung (KiD 2002) befasst sich auf breiter empirischer Basis mit dem Verkehr gewerblich gehaltener PKW in Deutschland. Dies ist umso gravierender, als dass die Heterogenität deutlich mehr Daten erforderlich macht.

Allerdings ist bekannt, dass im gewerblichen Verkehr zum Teil deutlich höhere Jahresfahrleistungen als im Privatverkehr zurückgelegt werden und durch die damit verbundene leichtere Amortisation der Anschaffungsausgaben hier erhebliche Potenziale für Elektrofahrzeuge liegen sollten (Plötz, Gnann, und Wietschel 2012). Ziel der vorliegenden Studie ist daher eine Abschätzung des Potenzials für den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Personenwirtschaftsverkehr bis 2020. Genauer soll geprüft werden, welche Wirtschaftszweige unter Umständen besonders interessant sind und wie groß diese Potenziale sein können.

Unter Elektromobilität werden hierbei vierrädrige PKW verstanden, die über einen Elektromotor angetrieben und über ein Stromkabel geladen werden können. Dazu zählen sogenannte Batteriefahrzeuge (BEV) und Plug-in-Hybride (PHEV). Brennstoffzellenfahrzeuge werden hier nicht betrachtet, da sie erst

später als BEV und PHEV breiter kommerziell verfügbar werden und der Ausbau der nötigen Infrastruktur für Wasserstoff derzeit nicht absehbar ist (vgl. (Michaelis u. a. 2012)).

2 Einordnung des Personenwirtschaftsverkehrs

2.1 Definition des Wirtschaftsverkehrs

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Wirtschaftsverkehr. Allerdings wird der Begriff „Wirtschaftsverkehr“ oder auch „gewerblicher Verkehr“ in der Literatur nicht einheitlich verwendet (vgl. (Zischler 2011) und (Steinmeyer 2007)). Es lassen sich Definitionen nach verschiedenen Ansätzen unterscheiden. Die Ansätze versuchen eine Abgrenzung von Privat- und Wirtschaftsverkehr (Zischler 2011) nach

- (1) dem Zweck der Fahrt: „Ortsveränderung von Gütern, Personen und Informationen für geschäftliche oder betriebliche Zwecke“ (vgl. (KiD 2002, S.22)),
- (2) dem zulässigen Gesamtgewicht des Fahrzeugs: „Güterkraftverkehr ist die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 Tonnen haben“ (Güterkraftverkehrsgesetz §1) oder
- (3) dem Halter des Fahrzeugs: Die Zulassungsstatistik des Kraftfahrt-Bundesamtes unterscheidet hier gewerblich oder privat zugelassene/gehaltene Fahrzeuge.

Diese verschiedenen Definitionen sind insofern problematisch, als dass bei der Verwendung verschiedener Datensätze Verzerrungen aufgrund der zugrunde liegenden Definition nicht ausgeschlossen werden können. Der vorliegende Artikel stützt sich auf mehrere Datenquellen zu Beschreibung und Untersuchung des Wirtschaftsverkehrs mit nicht ganz einheitlichen Definitionen.

Neben den Abgrenzungsproblemen zwischen Privat- und Wirtschaftsverkehr ist auch die Trennung von Güter und Personenverkehr nicht klar (Steinmeyer 2007). Viele Fahrten, zum Beispiel von Handwerkern oder Geschäftsreisenden, umfassen eine Beförderung von Gütern und Personen. Die Güter können Werkzeuge, Materialien oder andere Gegenstände sein. Nobis und Luley gehen explizit in ihrer Definition des Personenwirtschaftsverkehrs darauf ein: „Der Personenwirtschaftsverkehr ist in den meisten Fällen eine Mischform, da die Ortsveränderung von Dienstleistungen oft mit dem Transport von (Klein-)Gütern verbunden ist. Im Vordergrund steht hier die Tätigkeit der Person am Zielort, die Materialmitnahme stellt ein nachgeordnetes Kriterium dar.“ (Nobis und Luley 2006, zitiert nach (Steinmeyer 2007)).

Die Unsicherheiten bei einer Definition von Personenwirtschaftsverkehr liegen daher sowohl in der Abgrenzung von Privat- und Wirtschaftsverkehr als auch von Güter- und Personenverkehr. Dies ist schematisch und ohne Anspruch auf Vollständigkeit in Abbildung 1 dargestellt.

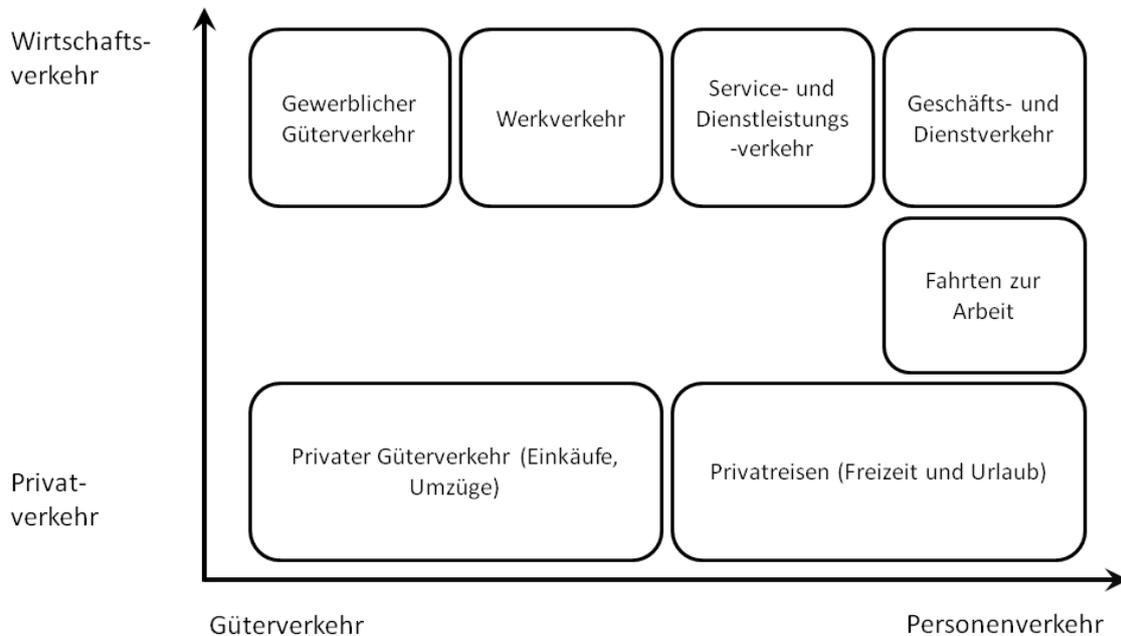


Abbildung 1: Unterteilung des Verkehrs nach privat und gewerblich sowie Personen- und Güterverkehr (eigene erweiterte Darstellung nach (Steinmeyer 2007)).

Für den vorliegenden Text sollen verschiedene Datensätze zur Untersuchung des Personenwirtschaftsverkehrs verwendet werden. Als gemeinsamer Nenner und arbeitsfähiger Versuch zum Umgang mit den vorhandenen empirischen Daten wird folgende Definition des Personenwirtschaftsverkehrs verwendet: Personenwirtschaftsverkehr bezeichnet den Verkehr gewerblich gehaltener Personenkraftwagen. Diese Definition erlaubt die Nutzung und den Vergleich von Zulassungsdaten des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) sowie der Studie Kraftverkehr in Deutschland (siehe unten).

Eine häufig genannte Gruppe von Fahrzeugen, die sich an der Grenze zwischen Privat- und Wirtschaftsverkehr befinden, sind gewerblich gehaltene Fahrzeuge, die auch privat genutzt werden können: sogenannte Dienstwagen. Nach verschiedenen Schätzungen machen diese circa die Hälfte der gewerblichen Neuzulassungen aus (NPE 2011). Allerdings werden diese Fahrzeuge nicht explizit statistisch aufgeführt. Das Kraftfahrt-Bundesamt und die bekannten

deutschen Mobilitätsstudien (Mobilität in Deutschland, Kraftverkehr in Deutschland und das Mobilitätspanel) unterscheiden nur zwischen privat oder gewerblich gehaltenen Fahrzeugen. Aus diesem Grund sind hier keine gesonderten Aussagen über Dienstwagen möglich; diese bilden eine Untergruppe unbekannter Größe der hier betrachteten gewerblich gehaltenen Personenkraftwagen.

2.2 Der Wirtschaftsverkehr auf der Straße

Der Verkehrssektor macht mit 2500 PJ circa 28 % des Endenergieverbrauchs der Bundesrepublik aus (UBA 2011). Dieser wird in Personen- und Güterverkehr unterteilt, wobei der Endenergieverbrauch im Personenverkehr um einen Faktor drei bis vier größer ist als im Güterverkehr. Abbildung 2 zeigt den Endenergieverbrauch im Personen- und Güterverkehr insgesamt sowie im Bereich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) der Jahre 1990 bis 2008 (Plötz et al. 2012). Beide Verkehrsarten werden weiter unterteilt in Verkehr auf der Straße, Schiene, Wasser oder in der Luft. In beiden Gruppen wird der Energieverbrauch jeweils von Straßenverkehr dominiert (siehe Abbildung 2).

Obwohl der spezifische Energieverbrauch im Personenverkehr seit 1990 kontinuierlich sinkt, ist der Energieverbrauch insgesamt durch das erhöhte Verkehrsaufkommen praktisch konstant bei 1850 PJ geblieben. Im Gegensatz hierzu ist der Energieverbrauch des Güterverkehrs angewachsen. Dessen Anteil am Gesamtenergieverbrauch des Transportsektors ist trotz klarer Effizienzgewinne (Senkung des spezifischen Energieverbrauchs in MJ/tkm um ein Viertel in den letzten zwanzig Jahren) von 24 % im Jahr 1990 auf knapp 37 % im Jahr 2008 gestiegen.

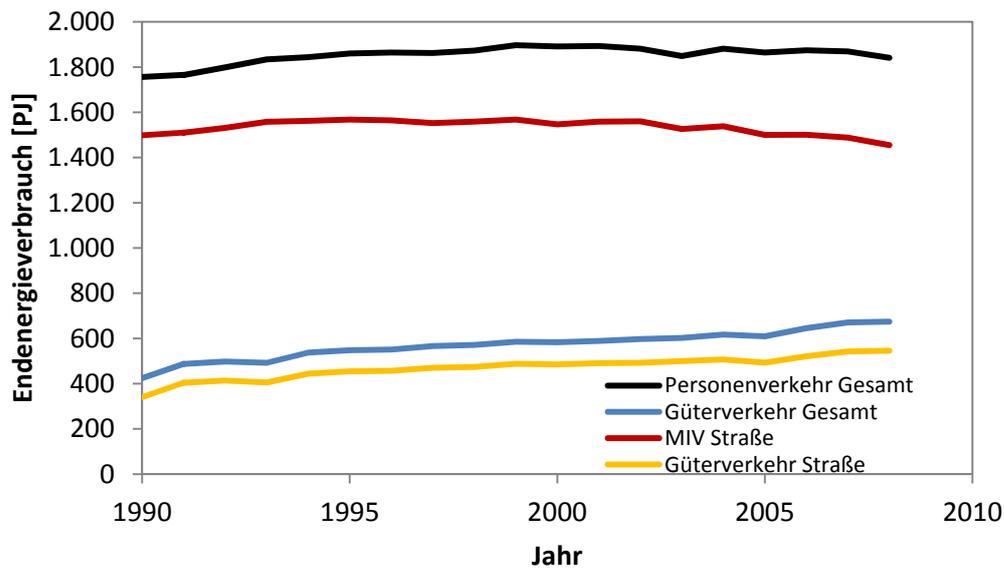


Abbildung 2: Endenergieverbrauch im Personen- und Güterverkehr (eigene Darstellung nach (UBA 2011)).

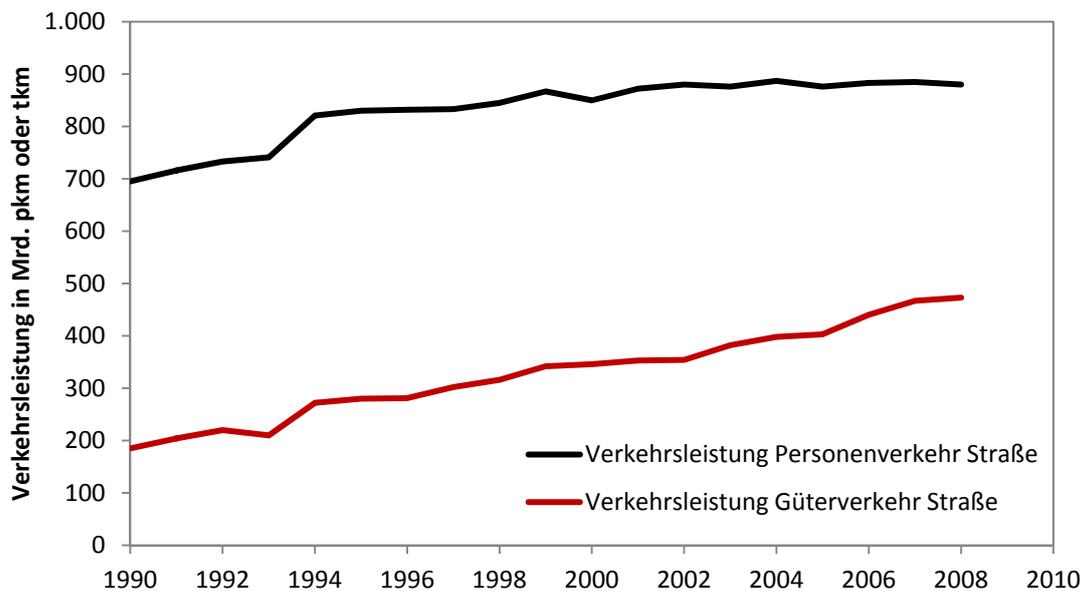


Abbildung 3: Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr in Deutschland (eigene Darstellung nach (UBA 2011)).

Vor allem auf der Straße hat die stetig wachsende Verkehrsleistung, gemessen in Personenkilometern (pkm) oder Tonnenkilometern (tkm), die Effizienzsteigerungen im Verkehrssektor zunichte gemacht. Abbildung 3 zeigt die wachsende

Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr auf der Straße für Deutschland.

Zur Erfüllung der deutschen und europäischen Klimaschutzziele steht der Verkehrssektor damit vor einer enormen Herausforderung: Der absolute Energieverbrauch muss bei einer tendenziell weiter steigenden Verkehrsleistung gesenkt werden, so wie es auch in Vergangenheit der Fall war (UBA 2011, S. 10). Gerade bei ehrgeizigen langfristigen Zielen stößt die Optimierung von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren hier an Grenzen und alternative Antriebe müssen weitere Verbreitung finden, um diese Ziele zu erreichen.

2.3 Der Personenwirtschaftsverkehr

Der Personenwirtschaftsverkehr wird vom Kraftfahrt-Bundesamt gemäß der Klassifikation WZ2008 des statistischen Bundesamtes aufgeteilt (KBA 2010b; Destatis 2008a). Die Klassifikation WZ2008 orientiert sich an den internationalen ISIC- und NACE-Standards, so werden als oberste Gliederungsebenen Abschnitte und Abteilungen gewählt, die in allen Klassifikationen gleich sind. Die Abschnitte werden mit Buchstaben kodiert, die Abteilungen mit zweistelligen Zahlen. Weiter werden Gruppen, Klassen und Unterklassen unterschieden, die mit zweistelligen Zahlen beschrieben und mit Punkten von den Abteilungen getrennt werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Gliederung der Wirtschaftszweige nach verschiedenen Standards; Quelle: (Destatis 2008b, S. 18)

Gliederungsebene	ISIC Rev. 4	NACE Rev. 2	WZ 2008	Kode
Abschnitte	21	21	21	A-U
Abteilungen	88	88	88	01-99
Gruppen	238	272	272	01.1-99.0
Klassen	419	615	615	01.11-99.00
Unterklassen	-	-	839	01.11.0-99.00.0

Das Kraftfahrt-Bundesamt verwendet hierbei nur die oberste Gliederungsebene (Abschnitte) in ihren frei verfügbaren Statistiken, welche im folgenden weiter verwendet werden soll, da diese auch in anderen Untersuchungen des Wirtschaftsverkehrs zum Einsatz kommt (vgl. z.B. (IVS u. a. 2002; WVI u. a. 2010)). Diese Abschnitte (im Folgenden: Wirtschaftszweige) sind in Abbildung 4 mit

ihren Fahrzeugbestandszahlen abgebildet. Man erkennt deutlich, dass in acht Wirtschaftszweige über 100.000 Fahrzeuge gemeldet sind und diese 93 % des gesamten Bestandes umfassen. Zur besseren Einordnung sollen diese kurz beschrieben werden, eine detaillierte Beschreibung findet sich in (Destatis 2008b).

- Im Wirtschaftszweig „S Erbringung von sonstigen Dienstleistungen“ sind mit 1,6 Mio. Fahrzeugen rund 40 % aller gewerblichen PKW in den Abteilungen (im Folgenden: Wirtschaftssegmente) Interessensvertretungen, kirchliche und religiöse Vereinigungen (Abteilung 94), Reparatur von Datenträgern (95) und die Erbringung von persönlichen Dienstleistungen (96) zugelassen.
- Der Zweig „G Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen“ unterhält etwa 630.000 Fahrzeuge (16 % der gewerblichen Fahrzeuge) in den Segmenten Großhandel (46), Kleinhandel (47), Handel mit Kraftfahrzeugen und Reparatur von Kraftfahrzeugen (45).
- Im „Verarbeitenden Gewerbe/Herstellung von Waren (C)“ sind 562.000 Fahrzeuge (14 %) zugelassen, die von der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (10), über die Herstellung von chemischen Erzeugnissen (20) bis hin zum Maschinenbau (28) und der Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen (33) reicht.
- Reisebüros und -veranstalter (79), Gebäudebetreuung; Garten- und Landschaftsbau (81) oder Wach-, Sicherheitsdienste und Detekteien (80) sind Segmente des Wirtschaftszweiges „N Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen“, in dem 340.000 Fahrzeuge (8,5 %) zugelassen sind.
- Das „Baugewerbe (F)“ ist unterteilt in den Hochbau (41), den Tiefbau (42) sowie Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe (43) und ist mit 200.000 Fahrzeugen für 5 % des Wirtschaftsverkehrs verantwortlich.
- Als besonders interessant für Elektrofahrzeuge wird häufig der Bereich „Q Gesundheits- und Sozialwesen“ (150.000 Fahrzeuge, 3,7 %) genannt, der aus den Abschnitten Gesundheitswesen (86), Heime (87) und Sozialwesen (ohne Heime) (88) besteht.

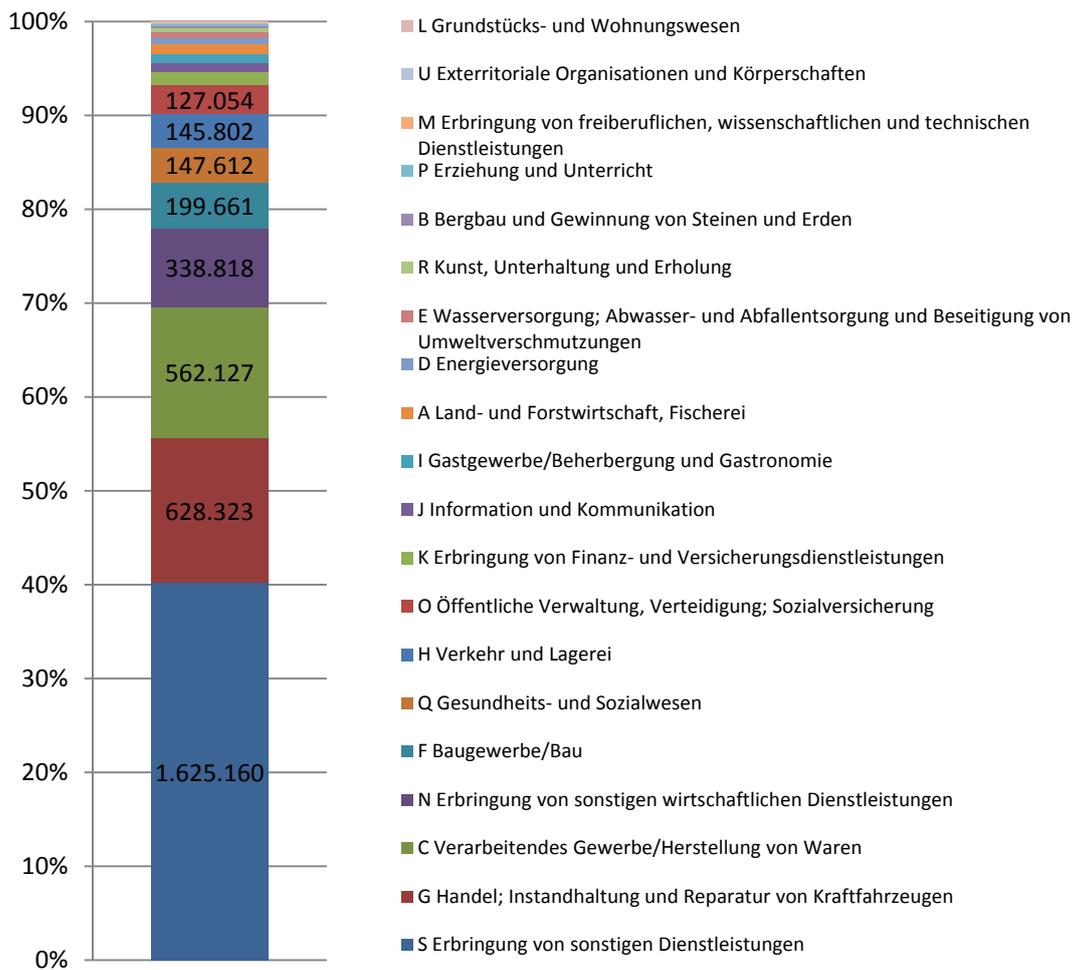


Abbildung 4: Verteilung der PKW-Bestandes im Wirtschaftsverkehr am 01.01.2010; Daten aus (KBA 2010b)

- Mit 145.000 Fahrzeugen (3,5 %) liegt der Wirtschaftszweig „H Verkehr und Lagerei“ an siebter Stelle des Bestandes. Es umfasst die Segmente Landverkehr (49), Schifffahrt (50), Luftfahrt (51), Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr (52), Post-, Kurier- und Expressdienste (53).
- Als achtgrößter Wirtschaftszweig hinsichtlich der Fahrzeugmenge schlägt die „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (O)“ mit rund 130.000 Fahrzeugen (3,2 %) zu Buche.

Hier wird ersichtlich, dass der Wirtschaftsverkehr viele sehr verschiedene Wirtschaftszweige und -segmente umfasst, wodurch allgemeine Aussagen schwierig sind. Im folgenden Abschnitt soll dennoch ein Vergleich des Personenwirtschafts- zum Personenprivatverkehr die wesentlichen Unterschiede aufzeigen.

2.4 Personenwirtschaftsverkehr im Vergleich zum Personenprivatverkehr

In Tabelle 2 sind einige wesentliche Unterschiede des Privat- im Vergleich zum Wirtschaftsverkehr dargestellt. Während private Fahrzeuge knapp 90 % des Fahrzeugbestandes umfassen, liegt der Anteil der jährlichen Zulassungen seit einigen Jahren bei nur etwa 40 % (KBA 2010b; KBA 2010c). Dies liegt an der kürzeren Haltedauer der gewerblichen Fahrzeuge, sowie am Gebrauchtwagenmarkt, in den zahlreiche Fahrzeuge aus dem gewerblichen Verkehr eingehen und der primär private Käufer verzeichnet (vgl. Tabelle 2).

Zudem werden im gewerblichen Bereich tendenziell größere Fahrzeuge zugelassen (siehe hierzu auch Abbildung (Anh.) 2), was mit der Vergabe von Dienstwagen zusammenhängen dürfte. Diese dienen häufig auch dem Prestige der Besitzer und werden deshalb nicht immer kostensparend ausgewählt. Hier wird das zuvor genannte Problem des gewerblichen Verkehrs deutlich, denn Dienstwagen werden in keiner Kraftfahrzeugstatistik, sondern nur steuerlich, jedoch nicht statistisch auswertbar, erfasst. Deshalb kann die Zahl der Dienstwagen in Deutschland nur geschätzt werden (Diekmann u. a. 2011). Im Folgenden wird der gewerbliche Verkehr nicht unterteilt in Dienstwagen und andere gewerbliche Fahrzeuge, da hierfür keine statistische Datenbasis vorliegt.

Tabelle 2: Vergleich der Zulassungen privater und gewerblicher Halter

Kriterium	Privat	Gewerblich
PKW-Bestand am 1.1.2010 (KBA 2010b)	37.645.234	4.242.031
	89,9%	10,1%
PKW-Neuzulassungen 2011 (KBA 2010c)	1.243.759	1.963.684
	38,8%	61,2%
Durchs. Haltedauer [a] (VCD 2008; DAT 2011, S. 16,17)	6,2	3-4
Durchs. Hubraum des Bestandes am 1.1.2010 [ccm] (KBA 2010b)	1638	1994
Durchs. Pkw-Tagesfahrleistung (Mo.-Fr.) [km] (IVS u. a. 2002, S. 241)	40,1	76,8
durchschnittliche Pkw-Tagesfahrleistung (Sa./So.) [km] (IVS u. a. 2002, S. 242)	28,8	29,3

Interessant für Elektromobile sind gewerbliche Fahrzeuge insbesondere wegen ihrer hohen Fahrleistungen, da sie die höheren Investitionen eines Elektrofahrzeugs gegenüber einem Verbrenner mit geringeren Verbrauchskosten ausgleichen können. Während die durchschnittliche Tagesfahrleistung unter der Woche laut KiD2002 im gewerblichen fast doppelt so hoch wie im privaten Verkehr ist, so sieht man die Differenzen in Abbildung 5 noch deutlicher.

Hier sind die unterschiedlichen Jahresfahrleistungen im privaten und gewerblichen Verkehr laut MiD2002 dargestellt. Während 50 % der privaten Halter zwischen 5.000 und 15.000 Kilometer im Jahr zurücklegen, fahren über 50 % der gewerblichen Halter mehr als 20.000 Kilometer.

Es bleibt festzuhalten, dass der Wirtschaftsverkehr wesentliche Unterschiede im Vergleich zum Privatverkehr aufweist und deshalb bezüglich der Fragestellung Elektromobilitätspotenziale gesondert betrachtet werden sollte.

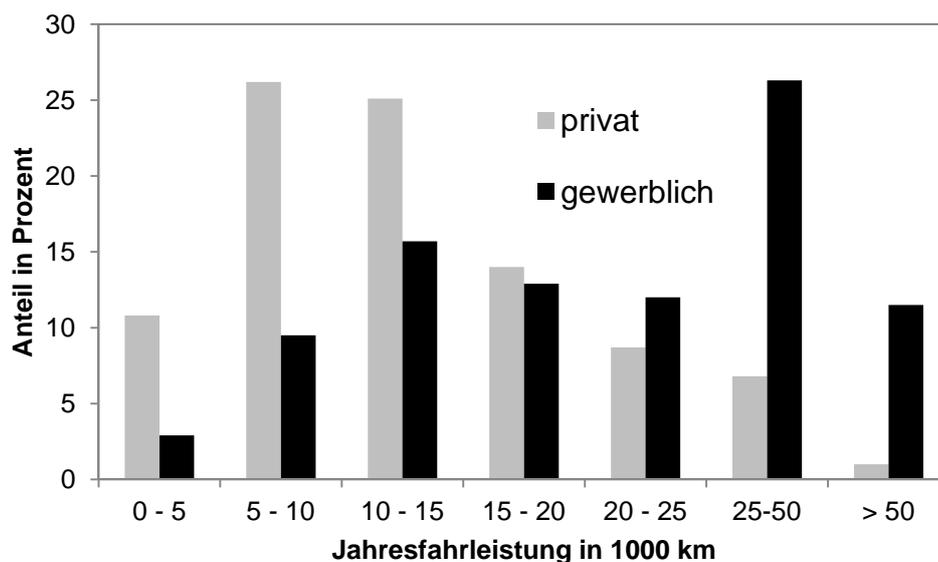


Abbildung 5: Jahresfahrleistungen privater und gewerblicher Halter (eigene Darstellung nach (WVI et al. 2010))

3 Bestimmung interessanter Wirtschaftszweige für Elektromobilität

3.1 Potenzialberechnung auf Basis von Fahrprofilen

3.1.1 Methodik

Zur Ermittlung des ökonomischen Potenzials werden zunächst die Fahrprofile der Fahrzeuge auf ihre technische Realisierbarkeit für ein reines Batteriefahrzeug analysiert sowie der elektrische Fahranteil für ein Plug-In Hybrid Fahrzeug ermittelt, um anschließend die Total Cost of Ownership (TCO) jedes Fahrzeugtyps (Benzin, Diesel, PHEV, BEV) zu vergleichen (siehe Flussdiagramm in Abbildung (Anh.) 1). Hierfür wird der Batterieladestand eines Elektrofahrzeugs für jedes Fahrprofil simuliert und für die technische Ersetzbarkeit geprüft, ob im Beobachtungszeitraum keine Fahrt länger ist als die elektrische Reichweite des Fahrzeuges unter Berücksichtigung von Ladezeiten. Für PHEV wird der Fahranteil ermittelt, der über die gesamte Beobachtungsdauer des Fahrprofils elektrisch zurückgelegt wird, um den elektrischen und verbrennungsmotorischen Fahranteil in der nachfolgenden ökonomischen Analyse mit den jeweiligen Kraftstoffkosten zu belegen.¹

Anschließend an die technische Potenzialberechnung werden die jährlichen Total Cost of Ownership (TCO^{annual}) jedes Fahrzeugtyps berechnet, wozu die nachfolgende Formel verwendet wird:

$$TCO_{r,s,t}^{annual} = I_{r,s,t}^{Fahrzeug} \cdot a_{r,s,t}^{Fahrzeug} + k_t^{Batterie} \cdot \kappa_{r,s,t} \cdot a_{r,s,t}^{Batterie} + d_a \cdot (s_e(t) \cdot c_{r,s,t}^{el} \cdot k_t^{el} + (1 - s_e(t)) \cdot c_{r,s,t}^{conv} \cdot k_t^{conv} \cdot k_{r,s,t}^{Wartung}) + k_{r,s,t}^{Kfz-Steuer}$$

mit

r : Fahrzeuggröße, $r \in \{\text{Kleinwagen, Mittelklasse, Großklasse, LNF}\}$

s : Fahrzeugtyp, $s \in \{\text{BEV, PHEV, ICEV, DIESEL}\}$

t : Beobachtungsjahr, $t \in \{2012, 2020\}$

$I_{r,s,t}^{Fahrzeug}$: Investition für das Fahrzeug ohne Batterie [€]

$a_{r,s,t}^{Fahrzeug}$: Annuitätenfaktor für das Fahrzeug ohne Batterie

$\kappa_{r,s,t}$: Batteriekapazität [kWh]

¹ Für eine detailliertere Beschreibung der Simulation von Batterieprofilen siehe (Gnann, Plötz, und Kley 2012, S. 3,4).

$k_t^{Batterie}$: Investition für eine Kilowattstunde Batteriekapazität [€/kWh]

$a_{r,s,t}^{Batterie}$: Annuitätenfaktor für die Batterie

d_a : Jahresfahrleistung [km]

$s_e(t)$: elektrischer Fahranteil; $s_e(t) \in [0\%; 100\%]$; $s_e(t) = 100\%$, wenn $s = BEV$

$c_{r,s,t}^{el}$: elektrischer Verbrauch [kWh/km]; $c_{r,s,t}^{conv}$: konventioneller Verbrauch [l/km]

k_t^{el} : Kosten für Strom [€/kWh]; k_t^{conv} : Kosten für Treibstoff [€/l]

$k_{r,s,t}^{Wartung}$: Kilometerabhängige Kosten für Wartung und Instandhaltung [€/km]

$k_{r,s,t}^{Kfz-Steuer}$: Jährliche anfallende Kosten für Kfz – Steuer [€/a]

$$a_{r,s,t}^l = \frac{(1 + i_l)^{T_l} \cdot i}{(1 + i_l)^{T_l} - 1}$$

i_l : kalkulatorischer Zinssatz der Investition

T_l : Diskontierungszeitraum/Abschreibungsdauer [a]

$l \in \{\text{Fahrzeug, Batterie}\}$

Die TCO umgerechnet auf ein Jahr (dann TCO_a) ergeben sich demnach zum einen aus den Investitionen, welche hier untergliedert in Fahrzeug- und Batterieinvestitionen ($I_{r,s,t}^{Fahrzeug}$, $\kappa_{r,s,t} \cdot k_t^{Batterie}$) sind, um den Batteriepreis ($k_t^{Batterie}$) anpassen zu können, die mit Hilfe des Annuitätenfaktors $a_{r,s,t}^l$ auf ein Jahr umgerechnet werden. Zum anderen wird der variable Kostenanteil untergliedert in einen kilometerabhängigen Anteil, welcher mit der Jahresfahrleistung (d_a) multipliziert wird, sowie einen kilometerunabhängigen Anteil, welcher ausschließlich die Kfz-Steuer umfasst ($k_{r,s,t}^{Kfz-Steuer}$). Der kilometerabhängige Teil setzt sich zusammen aus einem elektrischen und einen konventionellen Verbrauch ($c_{r,s,t}^{el}$ und $c_{r,s,t}^{conv}$), welcher mit den entsprechenden Kosten (k_t^{el} oder k_t^{conv}) und dem elektrischen und konventionellen Fahranteil ($s_e(t)$ bzw. $(1 - s_e(t))$) multipliziert wird, sowie den Kosten für Wartung und Instandhaltung ($k_{r,s,t}^{Wartung}$).

Ein Vergleich der TCO_a der vier betrachteten Fahrzeugtypen (s) für jedes Fahrprofil führt zur ökonomisch sinnvollsten Alternative. Die technische Ersetzbarkeit durch einen BEV wird dabei berücksichtigt, so dass die ökonomische Analyse auch die zweitbeste ökonomische Lösung zum Ergebnis haben kann, wenn das Fahrprofil nicht mit einem BEV bewältigt werden kann. Das ökonomische Potenzial, welches im Folgenden ermittelt wird, bezeichnet hier den Anteil der Fahrzeuge einer bestimmten Gruppe, die gemäß ihrer Fahrprofile wirtschaftlicher mit einem BEV, bzw. PHEV, bewältigt werden können als mit einem Verbrenner, vorausgesetzt sie sind technisch realisierbar. In dieser Arbeit werden vor allem die wirtschaftlichen Potenziale verschiedener Wirtschaftsbereiche bestimmt, um attraktive Wirtschaftszweige für Elektromobilität zu identifizieren.

Abbildung 6 stellt exemplarisch die TCO_a für Großklassewagen in Abhängigkeit der Jahresfahrleistung im oberen Teil sowie die ökonomisch sinnvollsten Fahrzeugtypen in Abhängigkeit der Jahresfahrleistung im unteren Teil der Abbildung dar.² In hellem grau (gepunktet) ist der Benzinler, in dunklem grau (gestrichelt) der Diesel dargestellt, beide Kurven verlaufen gerade. Die Kostenfunktion des PHEV (blau, Strichpunkte) ist bestimmt durch einen Knick, der den Wechsel vom elektrischen zum verbrennungsmotorischen Fahren (respektive die maximale elektrische Reichweite) darstellt. In grün (durchgezogen) ist das BEV aufgetragen, der bis zu seiner maximalen Reichweite von 45.000 km (entspricht 123 km an 365 Tagen) fahren kann und danach nicht mehr als ökonomische Option zur Verfügung steht.

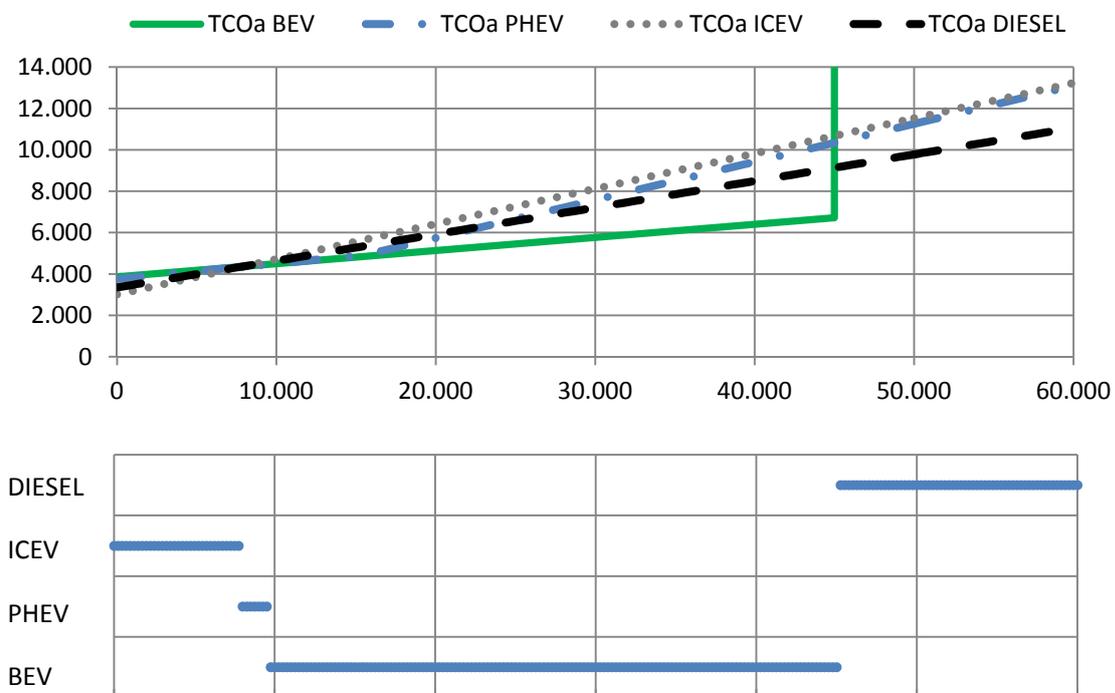


Abbildung 6: Jährliche Total Cost of Ownership verschiedener Fahrzeugoptionen in Abhängigkeit der Jahresfahrleistung mit Werten für das Jahr 2020 (Abschreibungsdauer $T=12$)

Die Investitionen des jeweiligen Fahrzeugtyps bestimmen den Schnittpunkt mit der y-Achse, weshalb hier die Kurve des benzinmotorischen Verbrenners zuun-
 terst liegt. Bei einer Fahrleistung von etwa 8.000 km wird die Kurve des Benzi-

² Die verwendeten Werte sind im Folgenden genannt und im Anhang in Tabelle (Anh.) 1 bis Tabelle (Anh.) 7 beschrieben.

ners vom PHEV geschnitten, der ab dann geringere Kosten aufweist. Zwischen 10.000 und 45.000 Kilometern haben BEV ihre Potenziale, ab 45.000 km greift die Reichweitenrestriktion und der Diesel wird zur ökonomischsten Alternative.

Die Potenzialbereiche von BEV und PHEV unterliegen in dieser Darstellung jedoch der Annahme, dass die elektrische Reichweite vollkommen ausgeschöpft werden kann. Da die wenigsten Fahrzeuge an ihrem oberen Reichweitenlimit fahren werden, sind die oberen Grenzen der Potenzialbereiche geringer. Wie bereits oben erwähnt, wird in den nachfolgenden Analysen zunächst die technische Machbarkeit des Fahrprofils ermittelt und als Grundlage zur Berechnung der ökonomisch sinnvollsten Option gewählt, was auch dazu führen kann, dass ein BEV nicht zum Einsatz kommt, wenn es eine einzelne Fahrstrecke des untersuchten Fahrprofils technisch nicht bewältigen kann.

Verkürzt man nun die Abschreibungsdauer T auf vier Jahre, so verschieben sich die Kostenkurven weiter nach oben, die Distanzen der Kurven erhöhen sich auf das 2,5-fache, womit die Potenzialbereiche deutlich geringer werden. Gleiches gilt für eine Variation des kalkulatorischen Zinssatzes i , eine Erhöhung würde die Potenzialbereiche für Elektrofahrzeuge erhöhen. Eine Effizienzsteigerung im elektrischen Antrieb eines BEV um 25 % reduzierte die Steigung der BEV-Kostenkurve um rund 17 %, womit es bereits bei kleineren Fahrleistungen ökonomische Potenziale hätte.³

Ogleich die TCO-Betrachtung bei der Fahrzeugwahl nicht die einzige ausschlaggebende Entscheidungsgrundlage ist, kann mit dieser Analyse die wirtschaftlich sinnvolle Ersetzbarkeit eines Fahrzeugs aufgrund seines Fahrverhaltens bestimmt werden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass diese Analyse auf den zuvor genannten Annahmen beruht, die, insbesondere für die zukünftigen Werte, nur eine Annäherung an die Realität darstellen können.

³ Die variablen Kosten setzen sich aus den Kosten für Verbrauch und für Wartung & Instandhaltung zusammen. Eine Reduktion der Verbrauchskosten um 25 % würde zu nachfolgender Reduktion der gesamten variablen Kosten führen:

$$\frac{\Delta k_{var}}{k_{var}} = \frac{25\% \cdot 0,242 \frac{kWh}{km} - 0,20 \frac{Euro}{kWh}}{0,242 \frac{kWh}{km} - 0,20 \frac{Euro}{kWh} + 0,024 \frac{Euro}{km}} = 16,71 \%$$

3.1.2 Datengrundlage

Derzeit existieren mit den Datensätzen „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD2002)“ und „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD2010)“ zwei große Fahrprofilerhebungen zum deutschen Personenwirtschaftsverkehr über einen Beobachtungstag (IVS und TU Braunschweig 2002; WVI u. a. 2010).⁴ Da die Möglichkeit des Einsatzes von Elektrofahrzeugen auch von der Lademöglichkeit über Nacht abhängt (Gnann, Plötz, und Kley 2012, S. 5), werden seit Juni 2011 Fahrprofile im Wirtschaftsverkehr durch das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Rahmen des Projektes Regional Eco Mobility 2030 (REM2030) erhoben und in der Fahrprofildatenbank für Wirtschaftsverkehr (im Folgenden: REM2030-Fahrprofile) gesammelt. In den nachfolgenden Abschnitten werden zunächst die REM2030-Fahrprofile, anschließend die Daten der KiD2002 analysiert, eine detailliertere Beschreibung der Datensätze findet sich in den Abschnitten 3.2.1 und 3.3.1.

Als Amortisationsdauer werden sowohl für die Batterie als auch das Fahrzeug vier oder zwölf Jahre angenommen. Da derzeit noch keine verlässlichen Daten bezüglich der Rest-/ Wiederverkaufswerte von Fahrzeugen verfügbar sind, erscheint ein Vergleich der Ergebnisse mit unterschiedlichen Abschreibungsdauern sinnvoll, da vier Jahre der durchschnittlichen Haltedauer eines Fahrzeugs im Wirtschaftsverkehr und zwölf Jahre der durchschnittlichen Fahrzeugnutzungsdauer entsprechen.

Für die nachfolgenden Berechnungen werden folgende Annahmen getroffen:

- Jedem Fahrzeug steht eine Lademöglichkeit über die Nacht zur Verfügung, an der es mit einer Leistung von 3,7 kW geladen werden kann, sofern das Fahrprofil mehr als einen Beobachtungstag umfasst.
- Die Fahrzeuge verfügen gemäß ihrer Größenklasse über unterschiedliche Batteriekapazitäten und ihre Verbräuche sind entsprechend unterschiedlich (vgl. Tabelle (Anh.) 1 und Tabelle (Anh.) 4).
- PHEV werden zuerst vollkommen elektrisch gefahren, bevor sie konventionell betrieben werden (Range-Extender-Modus).

⁴ Die Rohdaten von KiD2010 sind derzeit noch nicht verfügbar (Stand 22.08.2012).

- Da Unternehmen die Mehrwertsteuer der von ihnen beschafften Fahrzeuge zurückfordern können, werden sämtliche Rechnungen ohne Mehrwertsteuer durchgeführt.
- Es werden die Jahre 2012 und 2020 simuliert, zwischen denen sich die Verbräuche der Fahrzeuge verbessern sowie die Treibstoff- und Batteriekosten ändern (vgl. Tabelle (Anh.) 1 bis Tabelle (Anh.) 7). Für Benzin- und Dieselpreise werden 1,34 Euro/l bzw. 1,26 Euro/l für 2012⁵ und 1,71 Euro/l bzw. 1,60 Euro/l für 2020⁶ angenommen, was einer jährlichen Steigerung von 3 % entspricht. Der Batteriepreis je Kilowattstunde liegt bei 590 Euro für BEV und 670 Euro für PHEV 2012, im Jahr 2020 belaufen sich die Preise auf 250 Euro, bzw. 290 Euro⁷.

Sämtliche weiteren Werte sind im Anhang in den Tabelle (Anh.) 1 bis Tabelle (Anh.) 7 aufgeführt.

3.2 Ökonomisches Potenzial mit REM2030-Fahrprofilen

3.2.1 Datenerhebung der REM2030-Fahrprofile

Für die Erhebung der Fahrprofile kommen 50 GPS-Ortungsgeräte (im Folgenden: Datenlogger) in mehreren Erhebungswellen zum Einsatz, die sämtliche Wege eines Fahrzeugs aufzeichnen und per Mobilfunk an einen Server versenden. Dabei werden die Start- und Endzeitpunkte inklusive der Geokoordinaten sowie die Dauer und Länge jeder Fahrt aufgezeichnet. Die Datenlogger werden deutschlandweit an Unternehmen verschiedener Wirtschaftszweige verteilt, um eine möglichst breite regionale Verteilung der Fahrzeuge zu erreichen. Bei der Verteilung auf verschiedene Stadt- und Gemeindegrößen wird eine Gleichverteilung angestrebt, um Verzerrungen zu vermeiden. Die Geräte verbleiben drei bis vier Wochen in den Fahrzeugen.

Der Datensatz umfasst derzeit 263 Fahrprofile aus zehn verschiedenen Wirtschaftszweigen (vgl. Abbildung 7; Stand 01.08.2012). Hierbei wurden zu Beginn

⁵ Nettopreise entsprechen Preisen mit Mehrwertsteuer von 1,60 Euro und 1,50 Euro.

⁶ Nettopreise entsprechen Preisen mit Mehrwertsteuer von 2,03 Euro und 1,90 Euro.

⁷ Nettopreise entsprechen Preisen mit Mehrwertsteuer von 700, bzw. 800 Euro für 2012 und 300, bzw. 350 Euro für 2020.

der Erhebung insbesondere die für Elektromobilität interessanten Wirtschaftszweige analysiert, weshalb beispielsweise der Wirtschaftszweig „Gesundheits- und Sozialwesen“ im Vergleich zum Fahrzeugbestand im Wirtschaftsverkehr derzeit etwas überrepräsentiert ist. Die durchschnittliche Anzahl an Tagen, an denen ein Datenlogger im Fahrzeug eingesetzt war, beträgt 23 Tage, wobei ein Fahrzeug durchschnittlich an 18,66 Tagen bewegt wurde. 75 % der Fahrzeuge fuhren mehr als 16 Tage im Erhebungszeitraum, 25 % sogar mehr als 23 Tage.

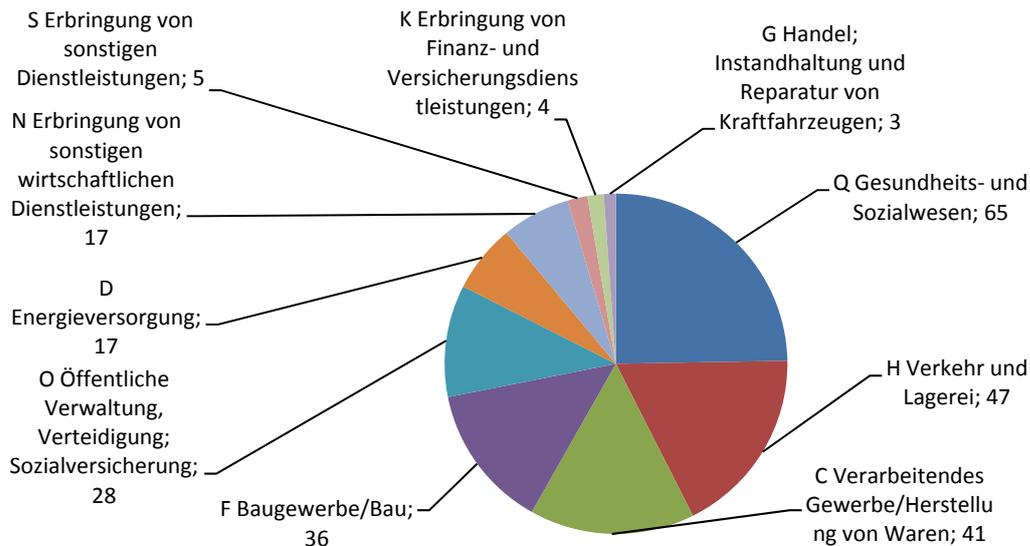


Abbildung 7: Verteilung der Fahrprofile in der REM2030-Fahrprofildatenbank für Wirtschaftsverkehr (Stand 01.08.2012)

3.2.2 Ergebnisse

Abbildung 8 zeigt die relative Häufigkeit der durchschnittlichen Tagesfahrstrecken der Fahrzeuge im Datensatz. Hier ist eine rechtsschiefe Verteilung der Tagesfahrstrecken erkennbar, wie sie auch im Privatverkehr auftritt (vgl. z.B. (Plötz, Gnann, und Wietschel 2012)), jedoch sind die Fahrstrecken im Personenwirtschaftsverkehr länger als im Privatverkehr. Man sieht eine Häufung der kleinen Werte zwischen 0 und 100 Kilometer sowie eine stetige Abnahme von der größten Klasse (15-30 km) mit einigen wenigen Datenpunkten über 300 Kilometer.

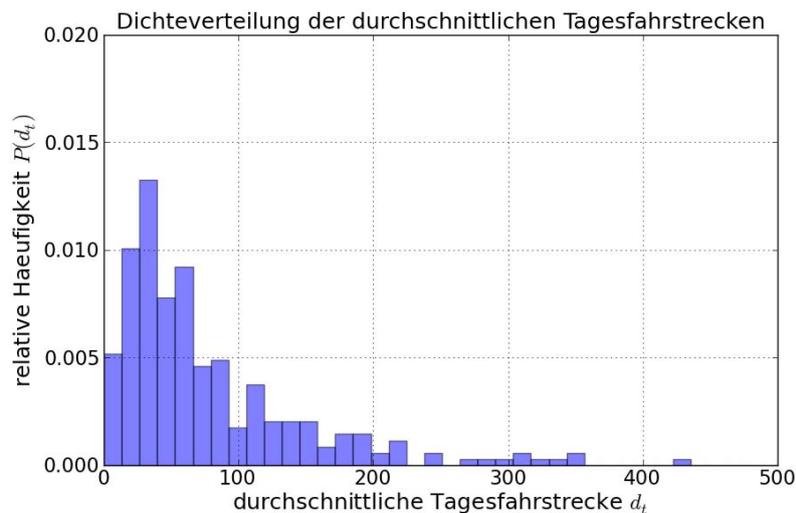


Abbildung 8: Verteilung der durchschnittlichen Tagesfahrstrecken je Fahrzeug (gemittelt über den gesamten Betrachtungszeitraum)

Vergleicht man die Abbildung mit Fahrstreckenverteilungen aus dem Privatverkehr (Plötz, Gnann, und Wietschel 2012), so wird deutlich, dass die gemessenen Fahrzeuge deutlich mehr fahren. Hier könnte jedoch auch eine Verzerrung der Ergebnisse aufgrund einer Überrepräsentierung von fahrintensiven Wirtschaftssegmenten (z. B. Post- und Kurierdiensten oder dem Taxigewerbe) vorliegen. Die Heterogenität des Wirtschaftsverkehrs und die breite Streuung der Tagesfahrstrecken legt eine detailliertere Betrachtung der einzelnen Wirtschaftszweige nahe. Hierzu sind in der folgenden Abbildung 9 die Fahrleistungen gemäß ihrer Wirtschaftszweige aufgetragen.

In dieser Abbildung sind die durchschnittlichen Tagesfahrleistungen der einzelnen Fahrzeuge mit Boxplots dargestellt, die jeweiligen Mengen an verfügbaren Fahrprofilen sind für sämtliche Wirtschaftszweige in Klammern hinter der Bezeichnung angegeben, der Mittelwert als lila Punkt. Für das Baugewerbe kann man die Darstellung also wie folgt lesen: Neun der betrachteten Fahrzeuge des Baugewerbes fahren durchschnittlich zwischen zehn und 25 Kilometer am Tag, 18 weitere Fahrzeuge (50 %) liegen innerhalb des grauen Kastens und fahren zwischen 25 und 50 Kilometer im täglichen Mittel, während die restlichen neun Fahrzeuge mehr als 50 und bis zu 135 Kilometer am Tag fahren. Der Mittelwert liegt bei 42 Kilometern. Innerhalb der Zweige kommt es also zu erheblichen Streuungen der Tagesfahrleistungen zwischen verschiedenen Fahrzeugen.

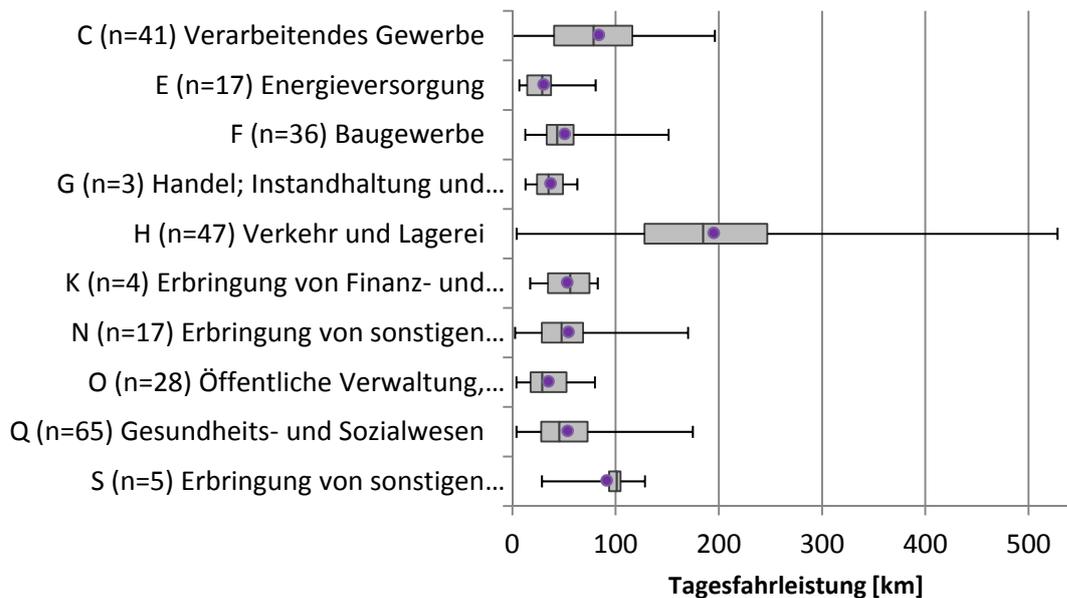


Abbildung 9: Tagesfahrleistung nach Wirtschaftszweigen aus Datenerhebung REM2030 (Mittelwert in lila); (Stand 01.08.2012)⁸

Es lässt sich festhalten, dass gemäß den Messungen die Fahrzeuge der Wirtschaftszweige E, F und O zum großen Teil weniger als 50 Kilometer am Tag fahren sowie die Fahrzeuge der Wirtschaftszweige C, N, Q und S zwischen 25 und 100 Kilometer am Tag zurücklegen. Der deutlich fahrintensivste Wirtschaftszweig ist Verkehr und Lagerei (H), in dem ausschließlich Taxis und Paketdienstleister betrachtet wurden. Hier liegen die mittleren Tagesfahrstrecken der betrachteten Fahrzeuge zwischen 150 und 250 Kilometern, teilweise werden noch weitaus größere Strecken gefahren.

Dass hohe (elektrische) Fahrleistungen die im Vergleich zum Verbrenner hohe Investition eines Elektrofahrzeugs über geringere Verbrauchskosten amortisieren können, zeigt sich in nachfolgenden Berechnungen des ökonomischen Potenzials zur Substitution der betrachteten verbrennungsmotorisch betriebenen

⁸ Der Boxplot ist eine Darstellung zur Verteilung von Messwerten. Hierbei ist der kleinste Wert des sogenannten unteren Fühlers mit dem linken Ende des Strichs am Rand dargestellt, und die ersten 25 % aller Messwerte liegen vor dem linken Rand des Kastens in der Mitte. Dieser umfasst die mittleren 50 % aller Werte und schließt mit dem oberen Quartil (75 %-aller Werte liegen links dieses Wertes) ab. Rechts davon sind die restlichen 25 % der Werte bis zum oberen Fühlerende (dem größten Messwert) dargestellt. Der Median (50 % aller Messwerte liegen links, 50 % rechts dieses Punktes) ist mit einem vertikalen Strich dargestellt, der arithmetische Mittelwert zum Vergleich mit einem lila Punkt.

Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge für die Jahre 2012 (Abbildung 10) und 2020 (Abbildung 11 und Abbildung 12).

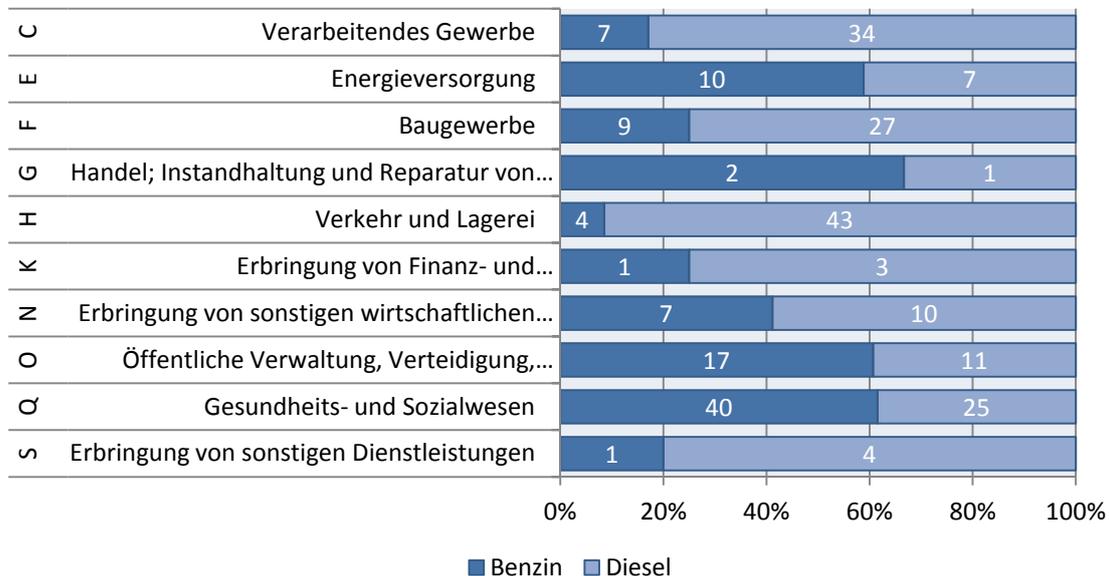


Abbildung 10: Ökonomisches Potenzial im Jahr 2012 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer $T=4a$) gemäß REM2030-Datenerhebung (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

Wie zuvor beschrieben wird die Option mit den geringsten jährlichen TCO ermittelt, was in Abbildung 10 aufgegliedert nach Wirtschaftszweigen für das Jahr 2012 dargestellt ist. Die Zahlen in den jeweiligen Balken geben den Umfang der Teilstichprobe an. Die Ergebnisse zeigen, dass im Jahr 2012 unter den getroffenen Annahmen kein Fahrzeug das Potenzial hat, aus rein ökonomischen Gesichtspunkten als Elektrofahrzeug betrieben zu werden. Die größten Anteile haben gemäß den Berechnungen die Dieselfahrzeuge mit fast 70-90 % in den fahrintensiven Wirtschaftszweigen und 30-50 % in der Energieversorgung (E), dem Gesundheits- und Sozialwesen (Q) und der Öffentlichen Verwaltung (O).

Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass für die Berechnung eine Amortisationsdauer von vier Jahren ohne Restwerte für alle Fahrzeugtypen angenommen wurde, da noch keine realen Werte für den Wiederverkaufswert von Elektrofahrzeugen bekannt sind. Dies ist natürlich eine sehr pessimistische Annahme für Elektrofahrzeuge, die höhere Anschaffungskosten als Benzin- und Dieselfahrzeuge haben, aber niedrigere Betriebskosten. Alternativ kann für das Fahrzeug eine Lebensdauer von zwölf Jahren angenommen werden, was für das Jahr 2020 in Abbildung 12 als Vergleich zur Potenzialanalyse mit vier Jahren Abbildung 11 aufgetragen ist.

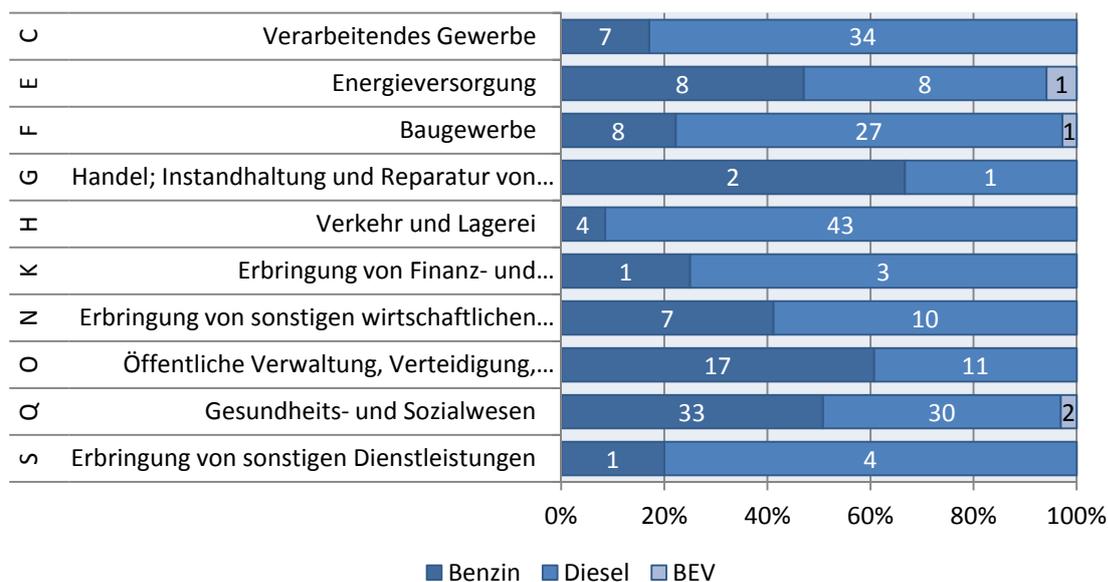


Abbildung 11: Ökonomisches Potenzial im Jahr 2020 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer $T=4a$) gemäß REM2030-Datenerhebung (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

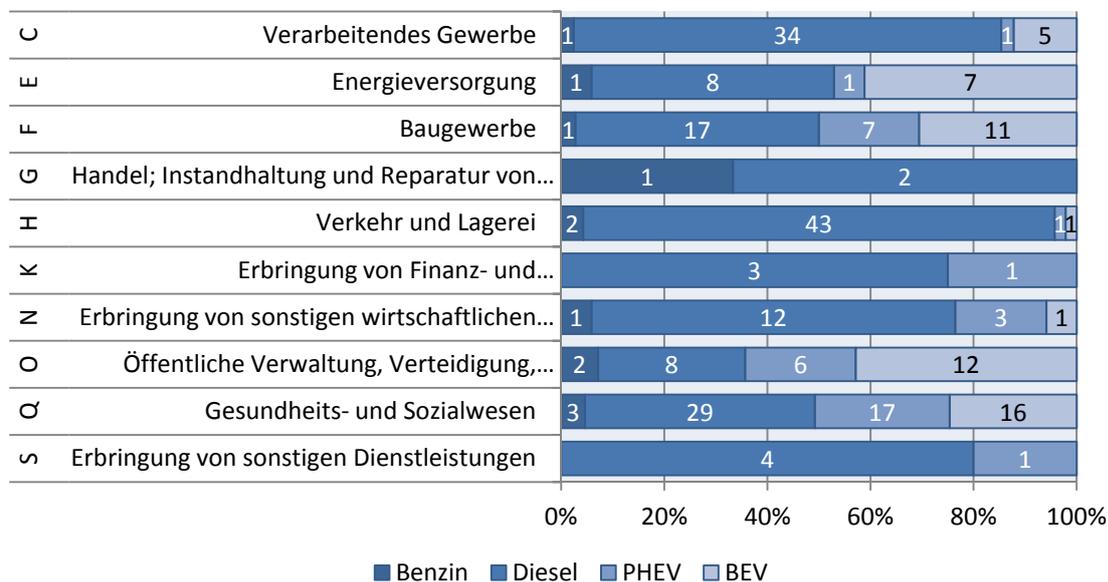


Abbildung 12: Ökonomisches Potenzial im Jahr 2020 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer $T=12a$) gemäß REM2030-Datenerhebung (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

Bei vier Jahren Amortisationsdauer sind die Potenziale für Elektrofahrzeuge fast ebenso gering wie zuvor, es sind nur vier Fahrzeuge in den Wirtschaftszweigen Energieversorgung (E) und Gesundheits- und Sozialwesen (Q) ökonomisch sinnvoll durch reine Batteriefahrzeuge zu ersetzen, die Anteile von Benzin- und Dieselfahrzeugen bleiben etwa gleich wie zuvor.

Bei zwölf Jahren Abschreibungsdauer sind hingegen deutliche Potenziale für Elektrofahrzeuge beobachtbar, 53 reine Batteriefahrzeuge und 38 PHEV verteilen sich auf fast alle Wirtschaftszweige mit größerer Stichprobenzahl. Gemäß den Daten scheinen die Öffentliche Verwaltung (O), das Baugewerbe (F) und auch der Bereich Gesundheits- und Sozialwesen (Q) sowie die Energieversorgung (E) interessant für Elektrofahrzeuge mit etwa 65 % (O), bzw. 50 % Elektromobilen (F, Q und E). Der häufig als für Elektrofahrzeuge attraktiv genannte Wirtschaftszweig Verkehr und Lagerei (H) kann gemäß den Rechnungen größtenteils besser mit Dieselfahrzeugen betrieben werden.

Es bleibt festzuhalten, dass ökonomische Potenziale gemäß der Berechnungen für Elektromobile nur bei größeren Amortisationsdauern darstellbar sind, wobei dies mit einer Rechnung mit Restwerten vergleichbar wäre. Dann treten Potenziale in fast allen Wirtschaftsbereichen auf, jedoch erst bei einer Senkung der Batteriepreise (hier 2020). Es lassen sich auf Basis der zugrunde liegenden Annahmen folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die Abschreibungsdauer hat erheblichen Einfluss auf die ökonomischen Potenziale von Elektrofahrzeugen.
- Die rein ökonomischen Potenziale von BEV sind für die vorliegenden Fahrprofile höher als die von PHEV, PHEV konkurrieren zudem stark mit Dieselfahrzeugen.
- Innerhalb der Stichprobe sind besonders die öffentliche Verwaltung (O), das Baugewerbe (F), die Energieversorgung (E) und der Zweig Gesundheits- und Sozialwesen (Q) interessant für Elektromobilität mit hohen relativen Potenzialen. In diesen Wirtschaftszweigen sind insgesamt 525.000 Fahrzeuge zugelassen.
- Die laut KBA-Bestand großen Wirtschaftszweige haben nur geringe Potenziale (Wirtschaftszweig C; 560.000 Fahrzeuge; BEV+PHEV-Potenzial: 15%) oder ihre Ergebnisse sind aufgrund der Anzahl ihrer Datensätze kaum verallgemeinerbar ((G; 630.000 Kfz.; drei Datensätze) sowie (S; 1.600.000; fünf Datensätze)).
- Aus den Betrachtungen ist dabei kein direkter Zusammenhang zwischen der Fahrstrecke und der Ersetzbarkeit durch ein Elektrofahrzeug erkennbar (vgl.

Abbildung 9 mit Abbildung 10 bis Abbildung 12), da dies einer Unterscheidung nach Fahrzeuggröße bedarf.

Jedoch muss hier auf den geringen Stichprobenumfang hingewiesen werden, der nur vorsichtige Schlussfolgerungen zulässt. Deshalb wird im Folgenden auf den deutlich größeren Datensatz der KiD2002 zurückgegriffen, um die Ergebnisse anschließend zu vergleichen.

3.3 Ökonomisches Potenzial nach KiD2002-Fahrdaten

3.3.1 Datenauswahl und -überprüfung

Um eine größere Datenbasis als die erhobenen Fahrprofile zu nutzen, werden zum Vergleich die Daten von „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD2002)“ (IVS und TU Braunschweig 2002) ausgewertet. Dieser Datensatz wurde im Jahr 2002 erhoben umfasst Informationen von 68.880 Fahrzeugen (Nettostichprobe) aus dem Wirtschaftsverkehr. „Diese Verkehrserhebung [wurde] als schriftlich postalische Stichtagsbefragung durchgeführt. [...] Die Befragungen erstreckten sich über die Dauer von zwölf Monaten von November 2001 bis Oktober 2002. [...] Mit diesem Stichtagskonzept wurde bei der Grunderhebung mit insgesamt 16 Erhebungswochen bzw. 112 Stichtagen der Zeitraum von ca. einem Jahresdrittel abgedeckt.“ (IVS u. a. 2003, S. 2, 3).

Für die nachfolgenden Analysen werden aus der Fahrzeug-Datei des Datensatzes alle Personenkraftwagen ausgewählt, die am Stichtag bewegt wurden, sowie deren angegebene Kraftstoffarten mithilfe der Systematisierung von Kfz des KBA dekodiert (IVS u. a. 2002, S. 107–120; KBA 2005, S. 77), was die Stichprobe auf 14.545 Datensätze reduziert. Insgesamt wurden die Fahrer von 29.079 Pkw befragt, 14.534 Fahrzeuge wurden jedoch am Beobachtungstag nicht bewegt oder ihr Fahrtenbuch wurde nicht ausgefüllt. Da mithilfe der Tagesfahrleistung die ökonomischen Potenziale berechnet werden, werden Fahrzeuge ohne Fahrten für die folgenden Analysen ausgeschlossen.

Da zum Erhebungszeitpunkt die Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2003 gültig war, werden nachfolgend einige Wirtschaftszweige der Klassifikation von 2008 zusammengefasst (vgl. hierzu Tabelle (Anh.) 8 und (Destatis 2008b, S.

54, 55)). Zur Ermittlung der ökonomischen Potenziale werden die Formeln und Werte aus den Abschnitten 3.1 und A.2 verwendet.⁹

Ein Vergleich der Anteile an Dieselfahrzeugen laut Angabe und der in 3.1 vorgestellten TCO-Berechnung ist in Abbildung 13 dargestellt. Hier ist der Anteil der Dieselfahrzeuge gemäß der Angabe durch den Befragungsteilnehmer (in schwarz), sowie gemäß der Berechnungen für das Jahr 2012 ermittelte Dieselanteil (gestrichelt in blau) mit unterschiedlichen Abschreibungsdauern aufgeteilt nach Wirtschaftszweigen dargestellt. Die Wirtschaftszweige sind hier nach der Größe ihrer Anteile am Kfz-Bestand im Wirtschaftsverkehr von links nach rechts absteigend sortiert (vgl. Abbildung 4).

Die blauen Kurven kann man in dieser Darstellung als Ergebnisbereich interpretieren, in dem der tatsächliche Dieselanteil liegen sollte. Bis auf kleinere Abweichungen, die mit der Stichprobengröße, der Preisdifferenz der Kraftstoffe von 2002 und 2012 oder der Effizienzsteigerung beim Kraftstoffverbrauch erklärt werden könnten, kann die Berechnung als adäquat angesehen werden, da sie den Anteil an Dieselfahrzeugen im Rahmen einer gewissen Unsicherheit reproduziert.

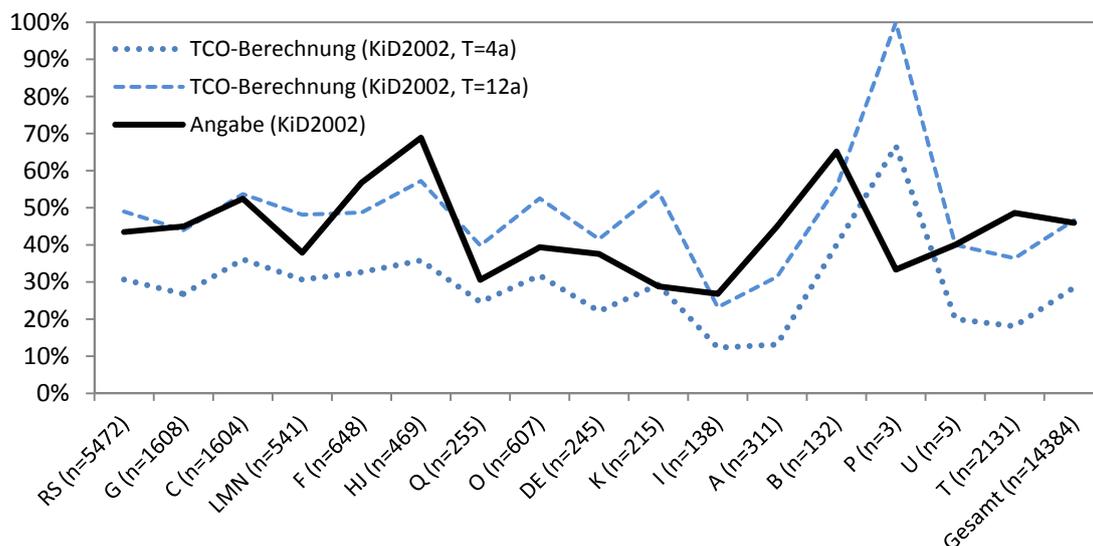


Abbildung 13: Vergleich des Dieselanteils laut Angabe (schwarz) und gemäß der TCO-Berechnungen (blau gestrichelt) der Daten der KiD2002 aufgeteilt nach Wirtschaftszweigen sortiert nach Größe

⁹ Die Jahresfahrleistung der Fahrzeuge wird als 250faches der berechneten Tagesfahrleistung angenommen. Die Gültigkeit dieser Annahme bedarf weiterer empirischer Überprüfung.

Im nächsten Abschnitt werden die Fahrzeuge hinsichtlich ihres Potenzials zur Ersetzbarkeit mit ökonomischem Vorteil analysiert.

3.3.2 Ergebnisse

In Abbildung 14 ist zunächst wie in Abbildung 8 die Häufigkeitsverteilung der Fahrstrecken in einem Histogramm dargestellt. Es ist, wie bereits zuvor, eine rechtsschiefe Verteilung der Fahrstrecken zu erkennen, deren Größenordnung mit der Betrachtung der REM2030-Fahrprofile übereinstimmt. Der größere Stichprobenumfang bewirkt eine kontinuierlichere Verteilung.

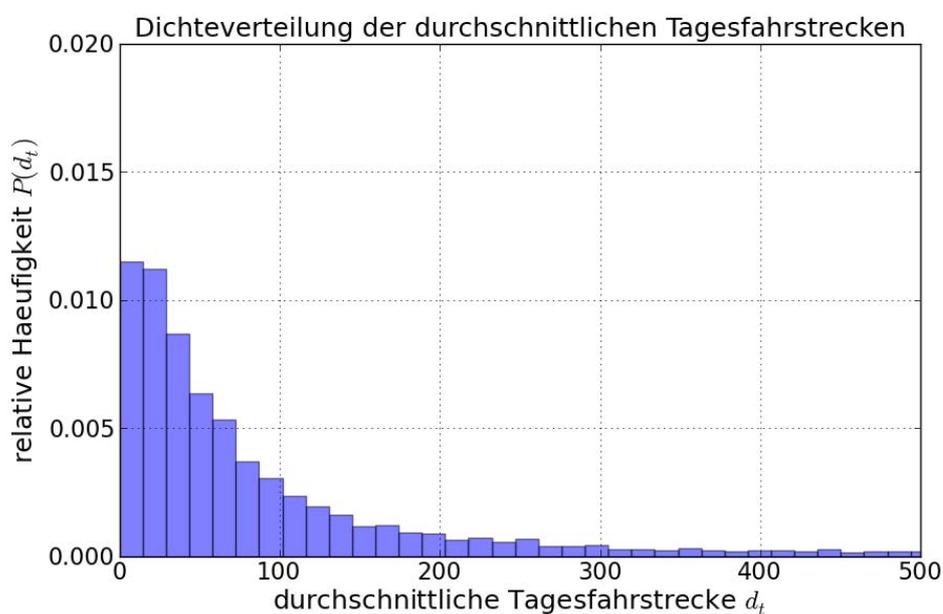


Abbildung 14: Verteilung der durchschnittlichen Tagesfahrstrecken je Fahrzeug gemäß KiD2002

In Abbildung 15 ist analog zu Abbildung 9 die Verteilung der Tagesfahrleistungen mithilfe von Boxplots in den einzelnen Wirtschaftszweigen dargestellt. Abgesehen vom Wirtschaftszweig Erziehung und Unterricht (P), der mit drei Fahrzeugen unterrepräsentiert ist, liegen die unteren Quartile zumeist bei 25 Kilometern. Die Mediane, welche die Teilstichprobe halbieren, betragen 35-40 km für die Wirtschaftszweige A, I, Q, T und U, bei etwa 50 km für die Wirtschaftszweige C, F, G, K, L&M&N, O sowie R&S und bei 60-75 km für B und H&J. Auch bei den oberen Quartilen lassen sich drei Gruppen erkennen:

A und I liegen im Bereich 50 km, B, C, H&J und O um 150 km und alle anderen Wirtschaftszweige liegen bei etwa 100 km.

Dieses Bild ist ähnlich zur Verteilung der Tagesfahrleistungen aus der REM2030-Erhebung, die oberen Quartile sind aber bis auf den Wirtschaftszweig H&J, bzw. H deutlich höher. Dies könnte an der Personenbefragung an einem Berichtstag bei KiD2002 liegen, wodurch eine Fehleinschätzung der Jahresfahrleistung möglich wäre.

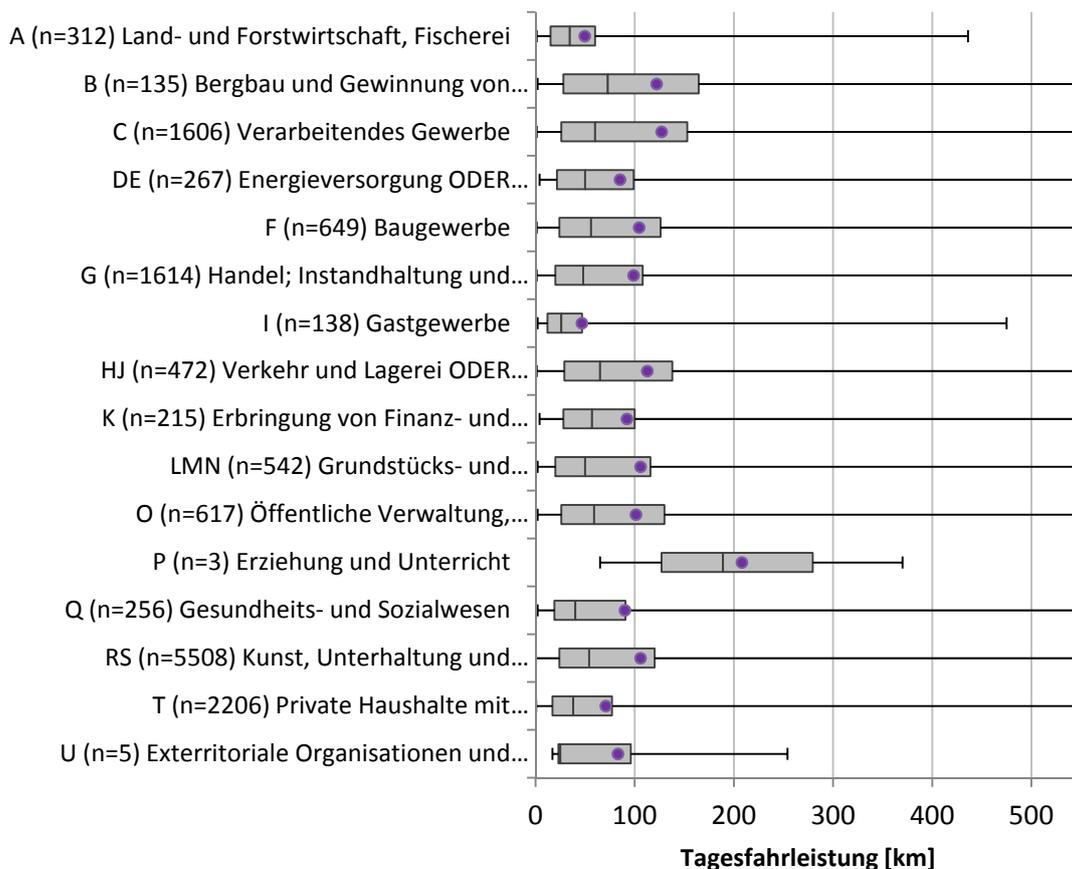


Abbildung 15: Tagesfahrleistung nach Wirtschaftszweigen aus gemäß KiD2002 (Mittelwert in lila)¹⁰

Bei der Datenerhebung mittels Datenloggern hingegen wurden die mittleren Fahrstrecken jedes Wochentags und daraus die mittleren Tagesfahrstrecken eines dreiwöchigen Zeitraums berechnet, weshalb diese geringer ausfallen könnten. Für das Wirtschaftssegment Verkehr und Lagerei (H) ist eine Überrep-

¹⁰ Zur Interpretation eines Boxplots siehe Fußnote 8.

räsentation der Segmente Taxigewerbe und Paketdienstleister für die hohen Werte im REM2030-Datensatz, bzw. die Zusammenlegung mit dem Wirtschaftssegment Information und Kommunikation (I) in der KiD2002 bedingt durch die frühere Klassifikation der Wirtschaftszweige ein möglicher Grund für unterschiedliche Werte.

Betrachtet man Abbildung 16, welche die ökonomischen sinnvollsten Fahrzeuge nach Wirtschaftszweigen für das Jahr 2012 mit einer Abschreibungsdauer von vier Jahren darstellt, so erkennt man wie in Abbildung 10 keine Potenziale für Elektrofahrzeuge in allen Wirtschaftszweigen, der Anteil der Dieselfahrzeuge ist im Vergleich zur Datenerhebung in REM2030 geringer.

Für das Jahr 2020 gibt es sowohl für die Abschreibungsdauern von vier (Abbildung (Anh.) 5) als auch für die von zwölf Jahren (Abbildung 17) Potenziale für Elektrofahrzeuge in fast allen Wirtschaftszweigen. Für eine Abschreibungsdauer von vier Jahren liegen diese zwischen 5 % und 15 % in allen Wirtschaftszweigen mit größerem Teilstichprobenumfang.

Für zwölf Jahre Amortisationszeit sind BEV die ökonomisch sinnvollste Option für 40 % der Fahrzeuge jedes Wirtschaftssegments, Plug-In Hybride haben Potenziale um 10 % in fast allen Wirtschaftszweigen.

Auch hier sind im Vergleich zu den Fahrprofilen aus REM2030 die Ergebnisse der ökonomischen Analysen der KiD2002 deutlich positiver für Elektrofahrzeuge, vermutlich aufgrund der höheren Fahrleistungen. Dies könnte mit der Erhebungsdauer zusammenhängen, da eine Hochrechnung nur eines Berichtstags auf eine Jahresfahrleistung für diese Analyse zu kurz sein könnte. Zudem wird hier die technische Ersetzbarkeit – limitiert durch die Fahrlänge – von herkömmlichen Fahrzeugen durch reine Elektrofahrzeuge (BEV) nur über einen Berichtstag ermittelt, was zu einer Überschätzung führen kann (vgl. (Gnann, Plötz, und Kley 2012, S. 3)). Für eine realistische Abschätzung der technischen Ersetzbarkeit sollten längere Berichtsräume erhoben werden.

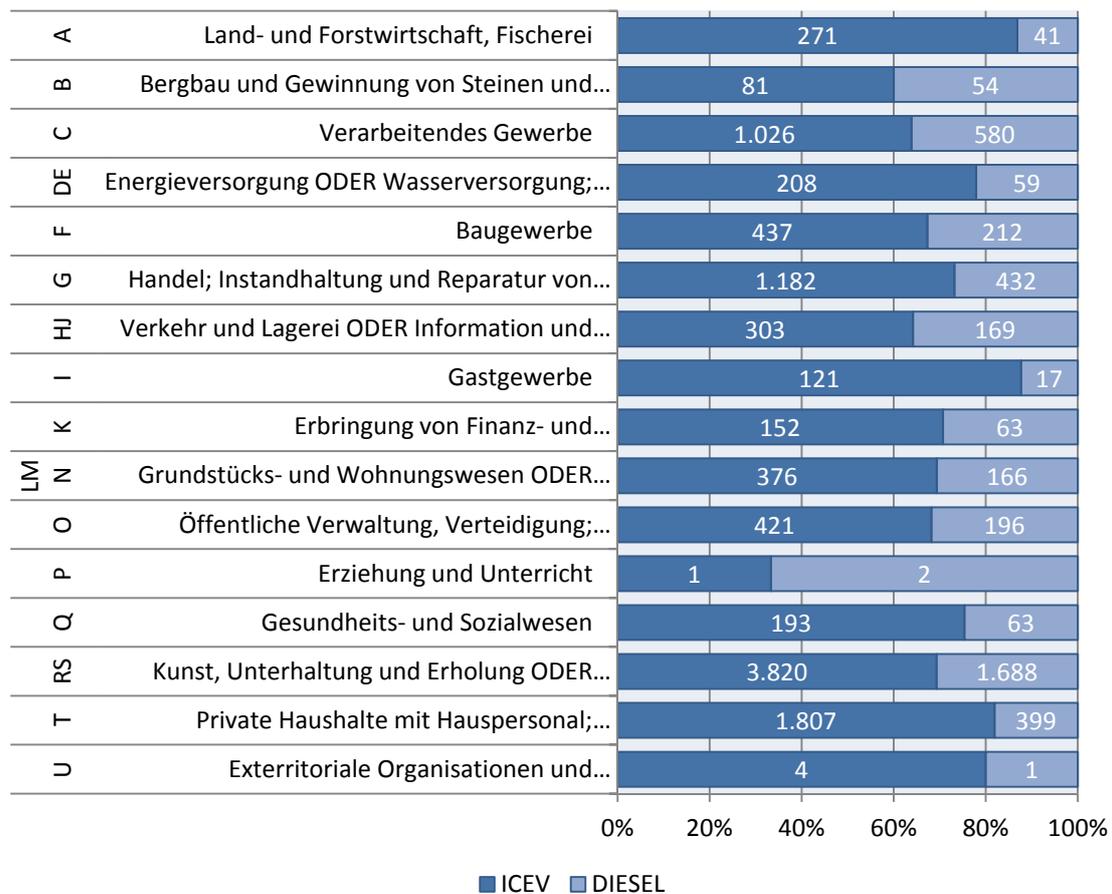


Abbildung 16: Ökonomisches Potenzial 2012 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer $T=4a$) mit Daten aus KiD2002 (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

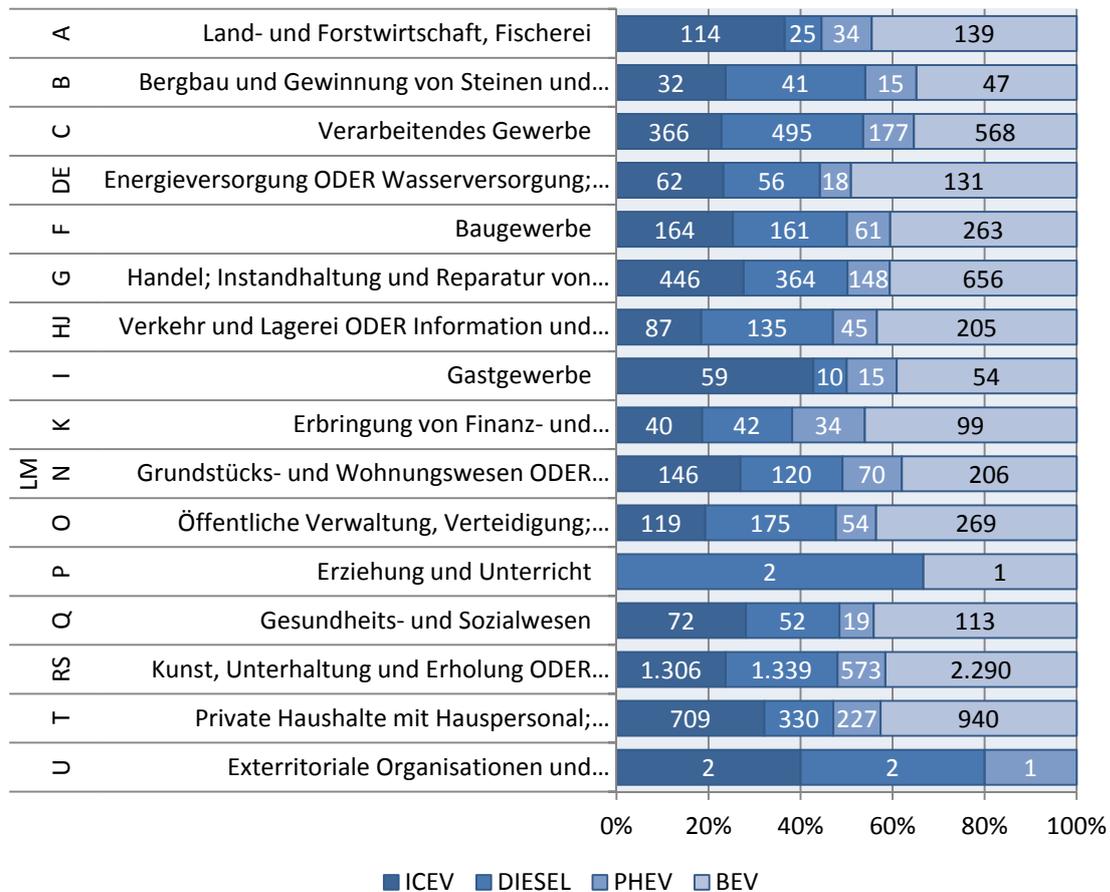


Abbildung 17: Ökonomisches Potenzial 2020 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer $T=12a$) mit Daten aus KiD2002 (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die Abschreibungsdauer hat auch in der Betrachtung der Daten der KiD2002 einen erheblichen Einfluss auf das Elektromobilitätspotenzial im Jahr 2020.
- Auch bei der KiD2002 sind die Potenziale von BEV im Vergleich zu PHEV etwa doppelt so hoch in allen Wirtschaftszweigen mit ausreichendem Stichprobenumfang.
- Entgegen der Ergebnisse mit den Daten aus REM2030, können keine Wirtschaftszweige ermittelt werden, die hier besonders hervorstechen – die relativen Potenziale sind überall etwa gleichverteilt.
- Ebenso wenig lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Fahrleistung und EV-Potenzialen erkennen, in der Summe haben sowohl die Wenigfahrer (A und I) ähnliche Potenziale wie die Vielfahrer (B, H&J). Hier wäre eine Untergliederung nach Fahrzeuggrößen zweckmäßig.

3.4 Vergleich und Diskussion

Die Erhebungen KiD2002 und die REM2030-Fahrprofile sind zwei Datensätze, mit denen sich der deutsche Wirtschaftsverkehr analysieren lässt. Vergleicht man die Erhebungen so erkennt man deutliche Unterschiede (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich der Fahrprofil Datensätze anhand verschiedener Merkmale

Merkmale	REM2030-Daten	KiD2002
Erhebungsdesign	Aufzeichnung	Befragung
Erhebungsdauer	3 Wochen	1 Tag
Nettostichprobe	263 Fahrprofile	14.545 Fahrprofile
Mittlere Tagesfahrleistung	69,9 km	99,5 km (49,8 km) ¹¹

Während die Fahrprofile aus REM2030 mithilfe von Datenloggern aufgezeichnet wurden, befragten die Institute, welche die Erhebung KiD durchführten, ihre Probanden mithilfe eines Fragebogens. Der Unterschied im Erhebungsdesign kann zu einer Fehleinschätzung der Fahrleistungen bei der KiD2002 am betreffenden Tag führen, wodurch die unterschiedlichen Ergebnisse zustande kommen. Für den REM2030-Datensatz wurden Fahrprofile über mindestens drei Wochen aufgezeichnet, die KiD2002 hingegen enthält nur Fahrten eines Beobachtungstags. Die dreiwöchige Erhebung soll eine Überschätzung der eigenen Fahrleistung vermeiden, die Eintagesbetrachtung führt möglicherweise zu einer Überschätzung des Elektromobilitätspotenzials, da beispielsweise keine Ladungen über Nacht betrachtet werden können (Gnann, Plötz, und Kley 2012, S. 5). Die Nettostichprobe, welche für die Analysen genutzt wurde, umfasst für die REM2030-Stichprobe 263 Fahrprofile und für die KiD2002 14.545 Fahrprofile. Würde man jedoch jedes der Fahrprofile aus dem REM2030-Datensatz in einzelne Tage zerlegen, so hätte man 5.523 Datensätze zur Verfügung. Die mittlere Fahrleistung von 69,9 Kilometern im Datensatz von REM2030 und 99,5 Kilometern in der KiD2002 verdeutlichen die bereits genannten Unterschiede. Behält man die Datensätze KiD2002, welche am Erhebungstag nicht fahren, bei, so reduziert sich die mittlere Fahrstrecke auf 49,8 Kilometer (der Stichprobenumfang wächst umfasst dann 29.079 Fahrzeuge).

¹¹ Bei Hinzunehmen der Fahrzeuge ohne Fahrten am Beobachtungstag halbiert sich die mittlere Tagesfahrleistung.

Eventuell ist auch der Dienstwagenanteil in den REM2030-Fahrprofilen unterrepräsentiert, da Unternehmen angesprochen wurden und diese vermutlich häufiger gemeinschaftlich genutzte Fahrzeuge zur Verfügung stellen. Ebenso kann die Annahme hinterfragt werden, ob die Jahresfahrleistung eines Fahrzeugs aus der KiD2002 mittels Multiplikation der Tagesfahrleistung mit 250 zweckmäßig ist. Im REM2030-Datensatz wird eine mittlere Tagesfahrleistung aus dem dreiwöchigen Beobachtungszeitraum zur Ermittlung der Jahresfahrleistung verwendet, was für eine längere Beobachtungsdauer spricht.

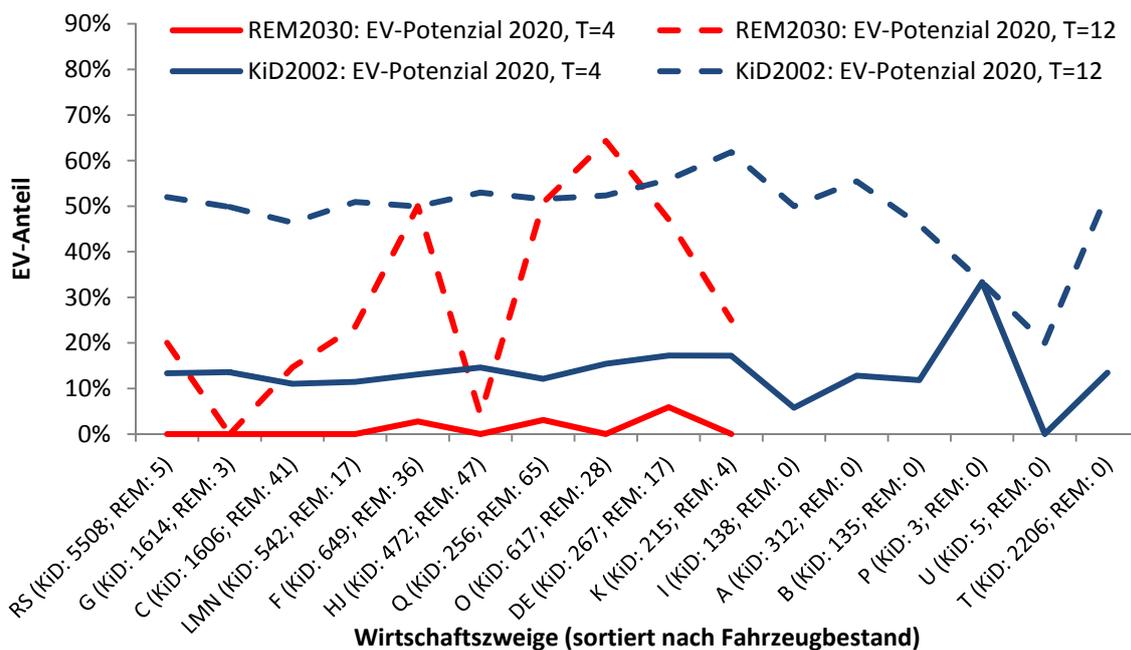


Abbildung 18: Vergleich der ökonomischen Analysen auf Basis von KiD2002- und REM2030-Daten aufgeteilt nach Wirtschaftszweigen und sortiert nach deren Größe (Teilstichprobenumfang in Klammern)

Ein Vergleich der ökonomischen Potenziale der Elektrofahrzeuge bietet Abbildung 18. Hierin sind die Anteile der PHEV und BEV aus den vorangegangenen Analysen addiert und ein EV-Potenzial der verschiedenen Ergebnisse für das Jahr 2020 aufgegliedert nach Wirtschaftszweigen sortiert gemäß ihres Anteils am Bestand im Jahr 2008 aufgetragen (vgl. Abbildung 4). Die Ergebnisse der KiD2002-Auswertung sind dabei in blau, die Auswertung der REM2030-Daten in rot mit zwölf Jahren Amortisationsdauer (jeweils gestrichelt) und vier Jahren (jeweils durchgezogene Linien) dargestellt.

Wie bereits zuvor erwähnt, sind bei einem Vergleich der Ergebnisse verschiedener Abschreibungsdauern die Potenziale der KiD2002 deutlich höher als die

mithilfe der REM2030-Fahrprofile ermittelten Daten. Dies könnte an der weniger umfangreichen Überprüfung der technischen Ersetzbarkeit aufgrund der kürzeren Erhebungsdauer der KiD2002 liegen. Zudem erkennt man die großen Abweichungen der Ergebnisse mit REM2030-Daten für zwölf Jahre Abschreibungsdauer, was zum einen an der kleinen und nur bedingt repräsentativen Stichprobe liegen kann, zum anderen sind möglicherweise einzelne Wirtschaftssegmente innerhalb der Wirtschaftsbranchen überrepräsentiert. Auf dem hier vorliegenden Aggregationsniveau lässt sich der Unterschied zwischen den KiD2002- und REM2030-Stichproben allerdings nicht verstehen. Jedoch lassen sich auch Gemeinsamkeiten in den Ergebnissen erkennen: Die Abschreibungsdauer hat einen erheblichen Einfluss auf das Elektromobilitätspotential und es lassen sich keine Wirtschaftszweige ermitteln, die in beiden Analysen besonders hervorstechen.

Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die Vorteile des Datensatzes KiD2002 sind vor allem in der großen Datenmenge zu sehen, allerdings sind ökonomischen Potenziale, die mit den Daten der KiD2002 ermittelt wurden, eventuell zu hoch, da der Erhebungszeitraum für eine Analyse der technischen Ersetzbarkeit zu kurz ist.
- Die Analysen mit Daten von REM2030 führen zu deutlich geringeren Potenzialen, da die technische Ersetzbarkeit über einen längeren Zeitraum analysiert wird, wodurch gegebenenfalls längere Strecken einbezogen werden. Die geringe Datenbasis lässt allerdings nur bedingt verallgemeinerbare Schlussfolgerungen zu.
- Die Abschreibungsdauer hat in beiden Analysen einen starken Einfluss auf die Höhe der Elektromobilitätspotenziale.
- Besonders interessante Wirtschaftszweige lassen sich im Datenvergleich nicht mit ausreichender Sicherheit ermitteln. In der REM2030-Erhebung weisen die Segmente O und Q vergleichsweise hohes Potenzial auf. Hier sind besonders öffentliche Einrichtungen und ambulante Pflegedienste untersucht worden.

4 Zusammenfassung und Diskussion

In den vorigen Abschnitten wurde eine Einordnung des Personenwirtschaftsverkehrs in den Gesamtverkehr gegeben und anschließend das Potenzial des Einsatzes von Elektrofahrzeugen mit einem ökonomischen Vorteil gegenüber herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen ermittelt. Hierzu wurden Fahrprofile des Projekts REM2030 sowie die KiD2002 analysiert. Dabei können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- (1) Der Wirtschaftsverkehr ist sehr heterogen hinsichtlich der Fahrzeuggrößen, Fahrleistungen und Fahrzwecke und erfordert eine spezifische Analyse der verschiedenen Wirtschaftszweige.
- (2) Es lassen sich Potenziale zur ökonomisch lukrativen Ersetzbarkeit von Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge ermitteln, allerdings erst mit signifikanten Anteilen (>10 % der zu betrachtenden Fahrzeuge) bei einer zukünftigen Batteriekostenreduktion (hier dargestellt für das Jahr 2020). Hierbei gibt es keine Wirtschaftszweige, die ein besonders hohes relatives Potenzial aufweisen, wenn man beide Datensätze betrachtet.
- (3) Aufgrund der hohen Anzahl an zugelassenen Fahrzeugen erscheinen die Wirtschaftszweige Erbringung von sonstigen Dienstleistungen (S), Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (G) und das Verarbeitende Gewerbe (C) in absoluten Zahlen an potenziellen Elektrofahrzeugen am interessantesten. Die Größe und Heterogenität dieser Wirtschaftszweige erfordert aber weitere Detailanalysen.
- (4) Die Amortisationszeit spielt für die ökonomische Betrachtung eine wesentliche Rolle, hohe Werte führen zu großen Potenzialen für Elektromobilität, niedrige zu geringeren. Eine Restwertbetrachtung für Elektrofahrzeuge wäre zweckmäßig, jedoch sind hierfür bislang keine empirischen Daten verfügbar.
- (5) Die ökonomischen Analysen mit Datensätzen von nur einem Berichtstag führen möglicherweise zu einer Potenzialüberschätzung, wie der Vergleich der vorangegangenen Berechnungen zeigt, weshalb künftig vermehrt Datensätze zu Fahrprofilen mit längeren Erhebungsdauern erhoben werden sollten.

Diese Schlussfolgerungen unterliegen jedoch den zuvor getroffenen Annahmen, die mit Unsicherheiten behaftet sind: Sowohl die technischen und ökonomischen Parameter, die in die Analysen eingehen, als auch die Annahmen über die Abschreibungsdauer lassen sich diskutieren. Hier könnten in zukünftigen Arbeiten Sensitivitätsanalysen eine mögliche Abhilfe bieten.

In den bisherigen Analysen ist kein Fahrzeuggrößenwechsel abgebildet, ein Umstieg auf kleinere Fahrzeuge könnte die Potenziale nochmals verschieben. Zudem ist diese Betrachtung rein ökonomisch geprägt, eine Marktdurchdringung mit den angenommenen Potenzialen könnte aber auch von anderen Entwicklungen gehemmt (z. B. Ladeflächenreduktion durch Batterie) oder verstärkt werden (beispielsweise durch Zufahrtsbeschränkungen für verbrennungsmotorisch betriebene Fahrzeuge oder Nachtbelieferungsmöglichkeiten durch Lärmreduktionen).

Zukünftige Arbeiten könnten die Einflüsse von Fahrzeug-, Gemeinde- und Unternehmensgröße untersuchen, um ein klareres Bild über die Potenziale zu erhalten. Ebenso sind die Zusammenfassung von ähnlichen Wirtschaftsbereichen (wie schon in KiD2002 vorgeschlagen (IVS u. a. 2002)) oder Identifikation von Tourtypen (siehe z. B. für den LKW-Verkehr (Liedtke, Babani, und Friedrich 2011)) weitere interessante Forschungsgebiete. Auch die Integration von Brennstoffzellenfahrzeugen für Vielfahrer könnte die Analysen nach 2020 erweitern.

Um den Wirtschaftsverkehr weitergehend zu analysieren und beispielsweise das Problem der Potenzialüberschätzung zu adressieren, wird das Fraunhofer ISI auch in den kommenden Jahren Fahrprofile im Wirtschaftsverkehr erheben.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Michael Haag für seine Unterstützung während der Analysen, sowie der Fraunhofer-Gesellschaft und den Ministerien des Landes Baden-Württemberg für die Förderung dieser Studie als Teil des Innovationsclusters „Regional Eco Mobility 2030 (REM2030)“.

Literatur

- Bünger, U., und W. Weindorf. 2011. Well-to-Wheel Analyse von Elektrofahrzeugen - Studie für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) im Rahmen des Innovationsreports „Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt“. München: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) – interner Bericht.
- DAT. 2011. DAT Report 2011. Ostfildern: Deutsche Automobil Treuhand (DAT).
- Destatis 2008a. „Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008)- Statistisches Bundesamt (Destatis)“. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html>.
- Destatis 2008b. „Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen, Ausgabe 2008 (WZ 2008) - Statistisches Bundesamt (Destatis)“. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html>.
- Diekmann, L., E. Gerhards, S. Klinski, B. Meyer, S. Schmidt, und M. Thöne. 2011. Steuerliche Behandlung von Firmenwagen in Deutschland. Forschungskoope- ration des FiFo Köln mit Prof. Dr. jur. Stefan Klinski (Berlin) und dem Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (Berlin).
- Fraunhofer ISI. 2010. „Referenzmodell für Elektrofahrzeuge und Beladeinfrastruktur“.
- Gnann, T., P. Plötz, und F. Kley. 2012. „Vehicle charging infrastructure demand for the introduction of plug-in electric vehicles in Germany and the US“. In Los Angeles.
- Helms, H., J. Jöhrens, J. Hanusch, U. Höpfner, U. Lambrecht, und M. Pehnt. 2011. UMBReLA Umweltbilanzen Elektromobilität. Ergebnisbericht. Heidelberg: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. http://www.emobil-umwelt.de/images/ergebnisbericht/ifeu_%282011%29_-_UMBReLA_ergebnisbericht.pdf.
- IVS, IVT, WVI, KBA, und P.U.T.V. 2002. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD2002) - Schlussbericht Band 1. Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e. V., Heilbronn, Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Braunschweig, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, Projektforschung Unternehmensberatung Transport und Verkehr, Gappenhach. http://daten.clearingstelle-verkehr.de/194/04/kid2002_-_schlussbericht_band1.pdf.
- IVS, IVT, WVI, KBA, und P.U.T.V. 2002. 2003. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD2002) - Kurzbericht. Institut für Verkehr- und Stadtbauwesen der TU Braunschweig, IVT Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V., WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, KBA Kraftfahrt-Bundesamt, und P.U.T.V. Projektplanung, Unterneh-

- mensberatung, Transport und Verkehr.
<http://www.kid2010.de/de/page&id=5&navid=305>.
- IVS, und TU Braunschweig. 2002. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD2002). Braunschweig: IVS Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, Technische Universität Braunschweig.
- KBA 2005 Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): Verzeichnis zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA).
- KBA 2010a Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010)“. http://www.kba.de/nn_159782/DE/Statistik/Projekte/fp__kid__befragung__2010.html.
- KBA 2010b Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Haltern, Wirtschaftszweigen (FZ23). Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). <http://www.kbashop.de/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?langId=-3&storeId=10001&catalogId=10051&productId=22503>.
- KBA 2010c Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): Fahrzeugzulassungen (FZ) - Neuzulassungen an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Haltern, Wirtschaftszweigen (FZ24). Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). <http://www.kbashop.de/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?langId=-3&storeId=10001&catalogId=10051&productId=22503>.
- Liedtke, G., J. Babani, und H. Friedrich. 2011. „Identifikation von Tourtypen in Fahrzeugtagebüchern“. Hrsg. U. Clausen. Wirtschaftsverkehr 2011 - Modelle-Strategien-Nachhaltigkeit. Begleitband zur gleichnamigen Fachtagung am 12. und 13. April 2011 in Dortmund (April 12): 55–75.
- Michaelis, J., P. Plötz, T. Gnann, und M. Wietschel. 2012. „Vergleich alternativer Antriebstechnologien Batterie-, Plug-in-Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeug“. In Tagungsband „Alternative Antriebe bei sich wandelnden Mobilitätsstilen“. Karlsruhe.
- Nobis, C. und T. Luley. 2007. "Personenwirtschaftsverkehr in Deutschland – Empirische Befunde auf Grundlage der KiD 2002 und MiD 2002", in: Hrsg. B. Lenz und C. Nobis, Wirtschaftsverkehr: Alles in Bewegung? Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, Bd. 14, Mannheim.
- NPE 2011. Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, Berlin
- Plötz, P., T. Gnann, und M. Wietschel. 2012. „Total Ownership Cost Projection for the German Electric Vehicle Market with Implications for its Future Power and Electricity Demand“. Enerday. 7th Conference on Energy Economics and Technology Infrastructure for the Energy Transformation, 27.04.12, Dresden.
- Plötz, P., B. Schlomann, C. Rohde, M. Arens, T. Fleiter, S. Hirzel, E. Jochem, M. Klobasa, F. Marscheider-Weidemann, K. Reichardt, M. Mai., F. Toro. Rationelle Energieverwendung. BWK Bd. 64 (2012), Nr. 4., S. 117-126

- Steinmeyer, I. 2007. "Definition und Bedeutung des Personenwirtschaftsverkehrs – Ein Sachstandsbericht aus dem Jahr 2006." Wirtschaftsverkehr in der Verkehrsplanung. Beiträge aus dem Verkehrsplanungsseminar 2005/2006. Schriftenreihe A des Instituts für Land- und Seeverkehr 44. Seiten 23-44.
- VCD. 2008. CO₂-basierte Dienstwagenbesteuerung. Berlin: Verkehrsclub Deutschland (VCD).
- WVI, IVT Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V., DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., und KBA Kraftfahrt Bundesamt. 2010. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD2010). WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. <http://www.kid2010.de/de/page&id=5&navid=305>.
- WVI, IVT, DLR, und KBA. 2010. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD2010). WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Braunschweig, IVT Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e. V., Heilbronn, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für Verkehrsforschung, Berlin, KBA Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. <http://www.kid2010.de/de/page&id=5&navid=305>.
- Umweltbundesamt (UBA). 2011. "Energieeffizienz in Zahlen". Verena Graichen, Sabine Gores, Gerhard Penninger, Wiebke Zimmer, Vanessa Cook, Barbara Schloemann, Tobias Fleiter, Adrian Strigel, Wolfgang Eichhammer, Hans-Joachim Ziesing. Climate Change Nr. 13/2011. Umweltbundesamt.
- Zischler 2011: „Potentialanalyse Elektromobilität für Gemeinden in Baden-Württemberg“, Abschlussarbeit am Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

A Anhang

A.1 Berechnungsverfahren

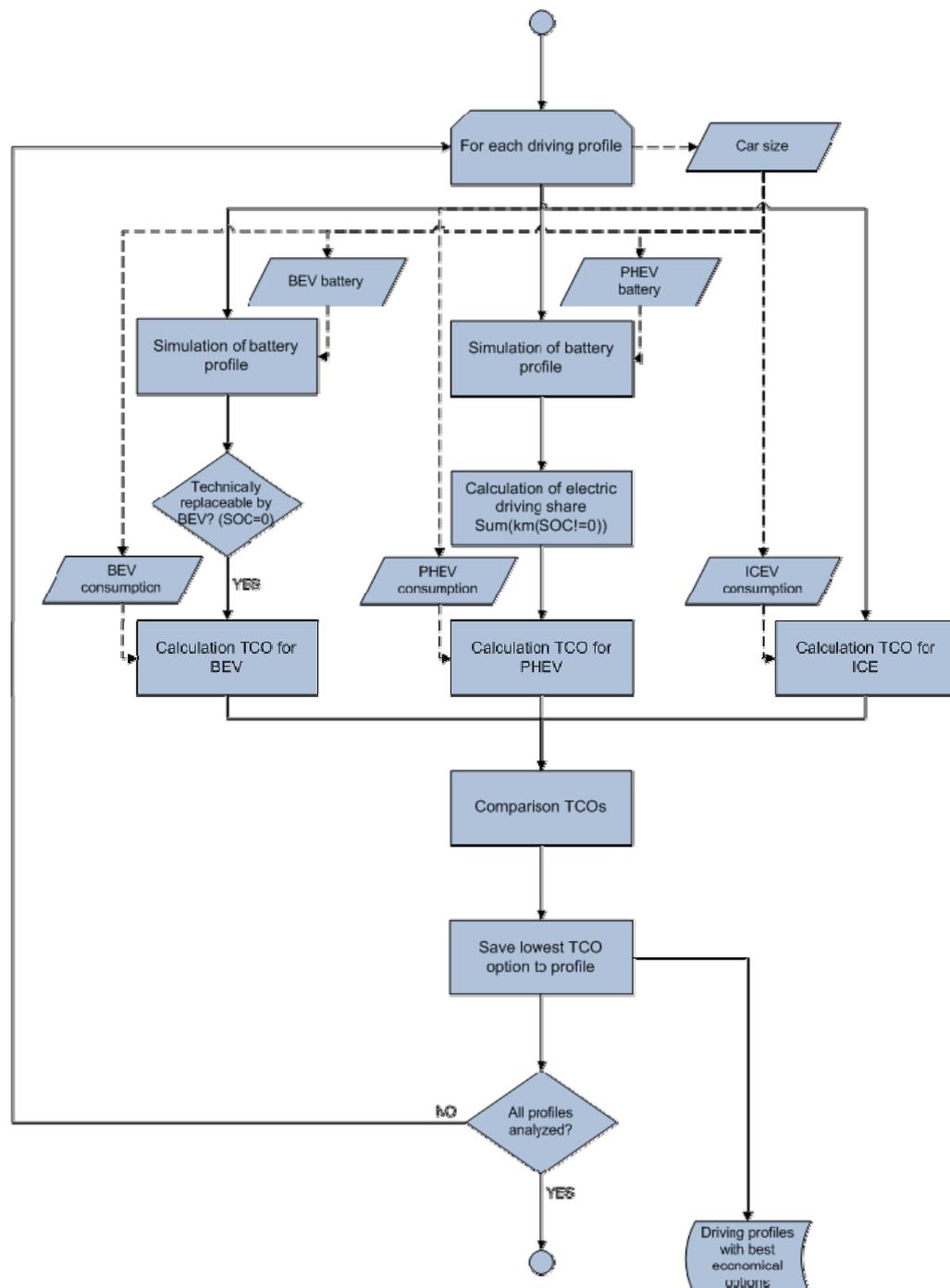


Abbildung (Anh.) 1: Berechnungsverfahren des ökonomischen Potenzials auf Basis von Fahrprofilen

A.2 Eingangsparameter¹²

Tabelle (Anh.) 1: Technische Parameter 2012

Parameter	Fahrzeuggröße	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Energieverbrauch konventionell [l/100 km]	Klein	6,1	4,8	6,5	-
	Mittel	7,6	6,0	8,0	-
	Groß	10,2	7,6	10,7	-
	LNF	15,1	11,3	16,1	-
Energieverbrauch elektrisch [kWh/100 km]	Klein	-	-	21,3	19,1
	mittel	-	-	22,9	23,3
	Groß	-	-	28,0	25,1
	LNF	-	-	42,0	37,6
Batteriekapazität [kWh]	Klein	-	-	6	15
	mittel	-	-	10	20
	Groß	-	-	14	40
	LNF	-	-	14	40

Tabelle (Anh.) 2: Nettoinvestitionen 2012

Parameter	Fahrzeuggröße	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Nettoinvestition	Klein	8.563	10.092	9.575	7.955
Fahrzeug ohne Batterie [€]	Mittel	19.560	21.560	21.529	18.391
	Groß	27.475	29.060	30.877	28.362
	LNF	28.640	29.500	32.842	28.467

Tabelle (Anh.) 3: Wartungs- und Instandhaltungskosten (netto) 2012

Parameter	Fahrzeuggröße	ICEV	Diesel	PHEV	BEV
Wartung und Instandhaltung [€/km]	Klein	0,025	0,022	0,025	0,013
	Mittel	0,025	0,023	0,025	0,014
	Groß	0,025	0,023	0,025	0,015
	LNF	0,122	0,120	0,122	0,103
Kfz-Steuer [€/a]	Klein	24	114	24	23
	Mittel	114	242	114	30
	Groß	248	428	248	36
	LNF	132	132	132	36

¹² Sämtliche Eingangsdaten beruhen auf (Fraunhofer ISI 2010; Helms u. a. 2011; Bünger und Weindorf 2011, S. 87–100).

Tabelle (Anh.) 4: Technische Parameter 2020

Parameter	Fahrzeuggröße	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Energieverbrauch konventionell [l/100 km]	Klein	5,4	4,3	5,8	-
	Mittel	6,5	5,3	7,0	-
	Groß	8,5	6,6	9,3	-
	LNF	12,6	9,6	13,8	-
Energieverbrauch elektrisch [kWh/100 km]	Klein	-	-	18,8	17,2
	mittel	-	-	20,2	21,1
	Groß	-	-	24,7	24,2
	LNF	-	-	37,0	34,3
Batteriekapazität [kWh]	Klein	-	-	6	15
	mittel	-	-	10	20
	Groß	-	-	14	40
	LNF	-	-	14	40

Tabelle (Anh.) 5: Nettoinvestitionen 2020

Parameter	Fahrzeuggröße	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Nettoinvestition Fahrzeug ohne Batterie [€]	Klein	8.563	10.092	9.575	7.955
	Mittel	19.560	21.560	21.529	18.391
	Groß	27.475	29.060	30.877	28.362
	LNF	28.640	29.500	32.842	28.467

Tabelle (Anh.) 6: Wartungs- und Instandhaltungskosten (netto) 2020

Parameter	Fahrzeuggröße	ICEV	Diesel	PHEV	BEV
Wartung und Instandhaltung [€/km]	Klein	0,025	0,022	0,025	0,013
	Mittel	0,025	0,023	0,025	0,014
	Groß	0,025	0,023	0,025	0,015
	LNF	0,122	0,120	0,122	0,103
Kfz-Steuer [€/a]	Klein	24	114	24	7
	Mittel	114	242	114	8
	Groß	248	428	248	10
	LNF	132	132	132	10

Tabelle (Anh.) 7: Fahrzeugunabhängige technische und wirtschaftliche Parameter

Parameter	2012	2020
Entladetiefe	75%	75%
Batteriepreis BEV ohne MwSt. [€/kWh]	590	250
Batteriepreis PHEV ohne MwSt. [€/kWh]	670	290
Strompreis ohne MwSt. [€/kWh]	0,20	0,20
Benzinpreis ohne MwSt. [€/l]	1,34	1,71
Dieselpreis ohne MwSt. [€/l]	1,26	1,60
Amortisationsdauer Batterie [a]	4	4
Amortisationsdauer Fahrzeug [a]	4	4
Kapitalzinssatz Batterie	3%	3%
Kapitalzinssatz Fahrzeug	3%	3%

A.3 Weitere Analysen

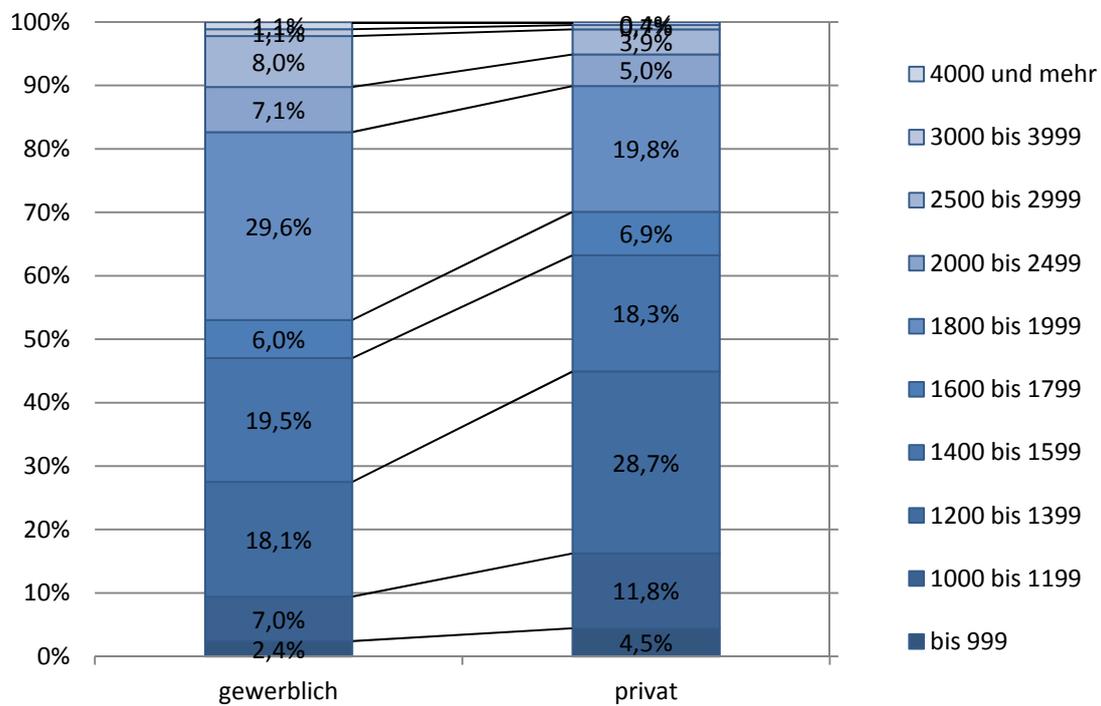


Abbildung (Anh.) 2: Anteile verschiedener Hubraumklassen an den Neuzulassungen des Jahres 2010 unterteilt nach gewerblichen und privaten Haltern; Daten aus (KBA 2010b, Tab. 5)

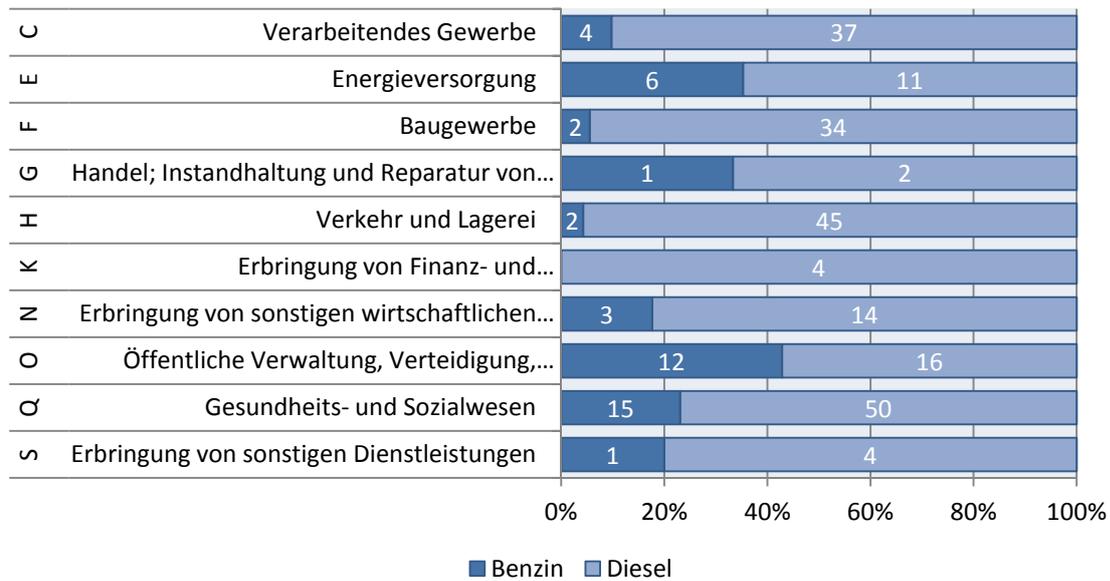


Abbildung (Anh.) 3: Ökonomisches Potenzial 2012 unter den getroffenen Annahmen (T=12) gemäß REM2030-Fahrprofilen

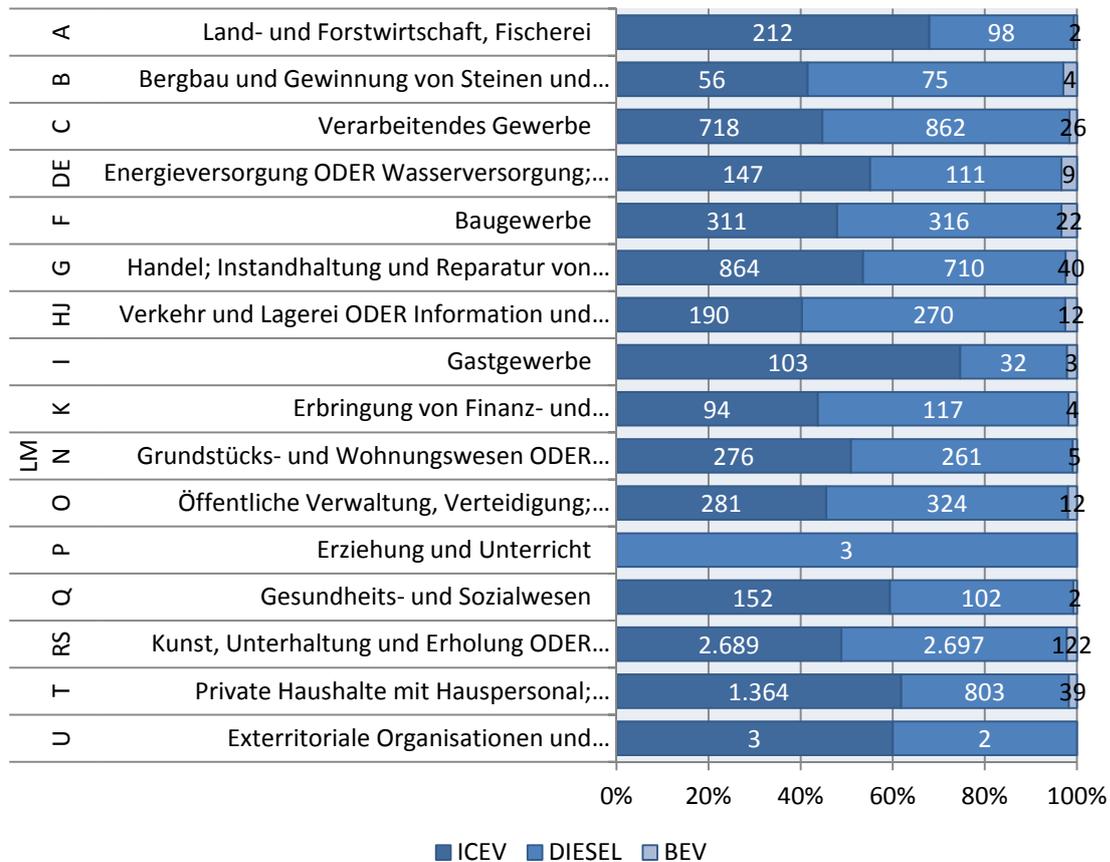


Abbildung (Anh.) 4: Ökonomisches Potenzial 2012 unter den getroffenen Annahmen (T=12) gemäß KiD2002

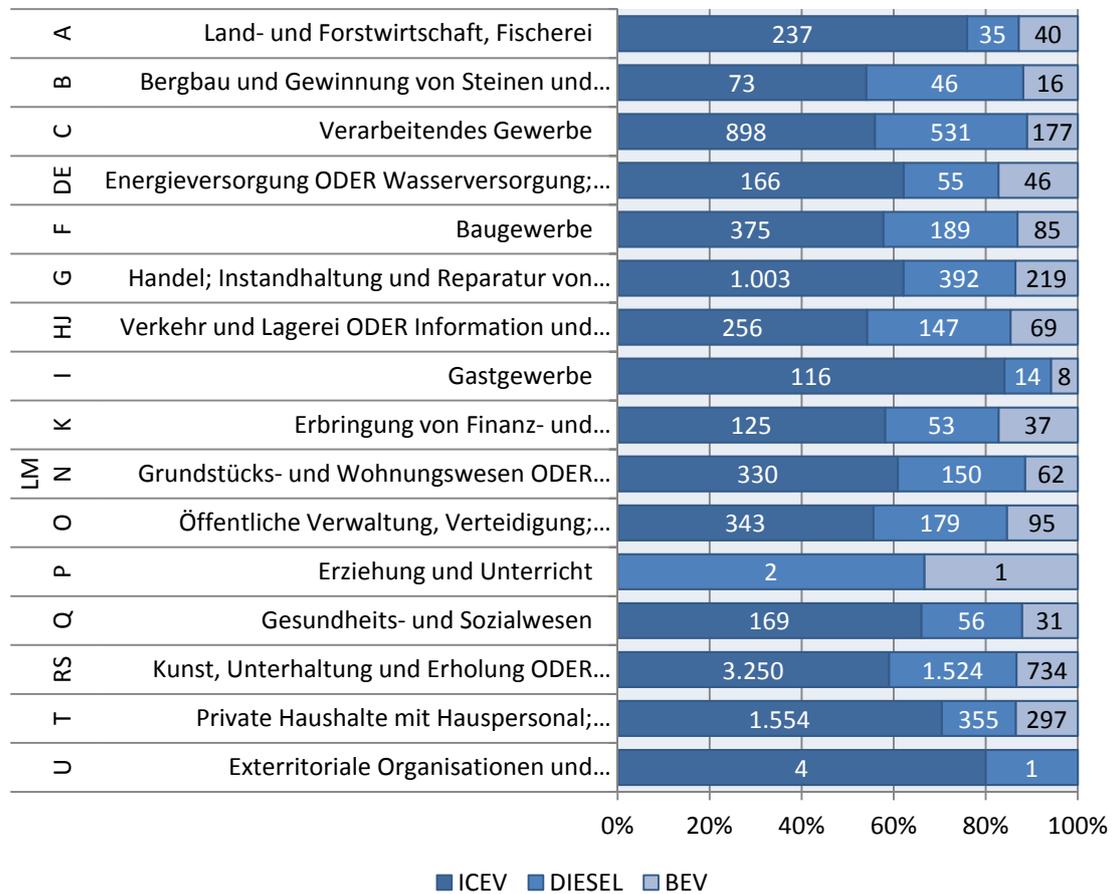


Abbildung (Anh.) 5: Ökonomisches Potenzial 2020 unter den getroffenen Annahmen (Abschreibungsdauer T=4a) mit Daten aus KiD2002 (IVS und TU Braunschweig 2002) (Zahlen entsprechen Anzahl der Fahrzeuge)

A.4 Umstiegsschlüssel WZ2003 auf WZ2008

Tabelle (Anh.) 8: Umstiegsschlüssel WZ2003 und WZ2008 (Destatis 2008b, S. 54f)

Abschn	Bezeichnung 2003	Abschn	Bezeichnung 2008
A	Land- und Forstwirtschaft	A	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
B	Fischerei und Fischzucht		
C	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	B	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
D	Verarbeitendes Gewerbe	C	Verarbeitendes Gewerbe
E	Energie- und Wasserversorgung	D	Energieversorgung
		E	Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen
F	Baugewerbe	F	Baugewerbe
G	Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen und Gebrauchsgütern	G	Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen
H	Gastgewerbe	I	Gastgewerbe
I	Verkehr und Nachrichtenübermittlung	H	Verkehr und Lagerei
		J	Information und Kommunikation
J	Kredit- und Versicherungsgewerbe	K	Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen
K	Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen, anderweitig nicht genannt	L	Grundstücks- und Wohnungswesen
		M	Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen
		N	Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen
L	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	O	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung
M	Erziehung und Unterricht	P	Erziehung und Unterricht
N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	Q	Gesundheits- und Sozialwesen
O	Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen	R	Kunst, Unterhaltung und Erholung
		S	Erbringung von sonstigen Dienstleistungen

P Private Haushalte	T Private Haushalte mit Hauspersonal; Herstellung von Waren und Erbringung von Dienstleistungen durch private Haushalte für den Eigenbedarf ohne ausgeprägten Schwerpunkt
Q Exterritoriale Organisationen und Körperschaften	U Exterritoriale Organisationen und Körperschaften



Authors' affiliations

Till Gnann¹³, Patrick Plötz, Florian Zischler; Martin Wietschel

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI)
Competence Center Energy Technology and Energy Systems

Contact: Brigitte Kallfass

Fraunhofer Institute for Systems
and Innovation Research (Fraunhofer ISI)
Breslauer Strasse 48
76139 Karlsruhe
Germany
Phone: +49 / 721 / 6809-150
Fax: +49 / 721 / 6809-203
E-mail: brigitte.kallfass@isi.fraunhofer.de
URL: www.isi.fraunhofer.de

Karlsruhe 2012

¹³ till.gnann@isi.fraunhofer.de