

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik

# **Modellierung des technisch-wirtschaftlichen Einsatz- potentials von Elektrofahrzeugen in Großstädten**

Stefan Brunnert

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

**Vorsitzender:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Kennel

**Prüfer der Dissertation:**

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herzog

Die Dissertation wurde am 05.10.2011 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
am 25.10.2012 angenommen.



# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Projektleiter für Elektromobilität bei den Stadtwerken München GmbH (SWM). Die Verbindung von beruflicher Tätigkeit und Promotion ermöglichte es mir, das Dissertationsthema in der erfolgten Breite und wissenschaftlichen Tiefe zu bearbeiten.

Mein außerordentlicher Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner, der sich eingehend mit dem meinerseits neu entwickelten Modell auseinandergesetzt und mir mit vielen Anregungen zur Seite gestanden hat. Zudem hat er entscheidend mit dazu beigetragen, dass ich bereits frühzeitig meine angestrebte berufliche Neuorientierung umsetzen konnte. Hierbei hat er mir das Vertrauen entgegen gebracht, dass ich trotz des beruflichen Wechsels die Promotion zu Ende führe.

Auf Seiten der SWM gebührt mein besonderer Dank meinen beiden Vorgesetzten Herrn Günter Bauer und Herrn Hans Lerchl für das Ermöglichen dieser berufsbegleitenden Promotion. Für das neben einander von Promotion und täglicher Arbeit bei den SWM wurde eine sehr faire Lösung gefunden.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herzog bedanke ich mich herzlich für die freundliche Übernahme des Koreferats.

Jede wissenschaftliche Arbeit erfordert auch eine stete Reflektion der zugrunde gelegten Ansätze und verwendeten bzw. entwickelten Methoden. Durch die Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) und dem Institut fortiss der TU München hatte ich das hierfür notwendige Umfeld. Ohne die wertvollen Diskussionsbeiträge aller Beteiligten wäre diese Arbeit nicht zu Stande gekommen. Einen außerordentlichen Dank möchte ich in diesem Zusammenhang Frau Maria-Alexandra Steyer aussprechen, die mit ihrer Diplomarbeit zur Analyse des städtischen Verkehrs Münchens die notwendige statistische Datenbasis geschaffen hat, auf der auch die in dieser Arbeit definierten Beispielszenarien aufbauen.

München, Januar 2013

Stefan Brunnert



## **Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein neu entwickeltes Modell zur perspektivischen Ermittlung des technisch/wirtschaftlichen Einsatzpotentials von Elektrofahrzeugen. Das Modell basiert auf der Überlegung, von einem anfänglich definierten Gesamtbestand an konventionellen Fahrzeugen, schrittweise das mögliche Potential für Elektromobilität zu bestimmen. Der Gesamtbestand durchläuft nacheinander verschiedene Filter. Werden die Anforderungen eines Filters nicht bzw. nicht in Gänze erfüllt, so reduziert sich entsprechend das Potential für die Elektromobilität. Beispielhaft werden, bezogen auf die Großstadt München, drei Szenarien bezüglich einer zukünftigen Potentialentwicklung bis zum Jahr 2030 aufgezeigt.

## **Abstract**

This paper describes a new developed model to investigate the technical and economical potential of electric cars. The model based on the consideration, to assign gradually the prospective potential for electric mobility, starting from an initial defined total stock of conventional cars. The segments pass through successively several filters. If requirements of a filter are not or not complete redeemed, than will be accordingly reduced the potential for electric cars. Exemplary will be demonstrated the prospective evolution of the electric cars potential for munich in three scenarios in the period from 2010 to 2030.



# Inhalt

1.	Einleitung.....	10
1.1.	Motivation und Ziel der Arbeit.....	10
1.2.	Methodische Vorgehensweise und Betrachtungsumfang.....	10
2.	Marktumfeld für Elektromobilität.....	13
2.1.	Klimaschutz, Endlichkeit fossiler Energieträger, Versorgungssicherheit und effiziente Energieverwendung.....	13
2.2.	Automobilstandort Deutschland: Wirtschaftliche Erwägungen.....	18
2.3.	Politische Zielsetzungen/Förderungen.....	20
3.	Elektrofahrzeuge: Die Angebotsseite.....	24
3.1.	Aktueller Entwicklungsstand bei Elektrofahrzeugen.....	25
3.2.	Die Batterie: Herzstück des Elektrofahrzeugs.....	28
4.	Elektrofahrzeuge: Die Nachfrageseite.....	31
4.1.	Segmentierung des Individualverkehrs am Beispiel München.....	33
4.1.1.	Fahrzeugbezogene Segmentierung.....	34
4.1.2.	Nutzerbezogene Segmentierung.....	37
4.1.2.1.	Natürliche Halter.....	37
4.1.2.2.	Juristische Halter.....	40
4.1.2.3.	Gesamt-Zusammensetzung des Verkehrs nach Haltergruppen.....	49
4.2.	Pendler im Großraum München.....	50
5.	Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge.....	55
5.1.	Ladetechniken.....	55
5.2.	Räume für den Aufbau von Ladeinfrastruktur.....	57
5.3.	Ladezeiten.....	59
5.4.	Nutzeranforderungen an Ladeinfrastruktur.....	60
5.5.	Wirtschaftliche Aspekte.....	61
5.6.	Schlussfolgerungen.....	63

6.	Stufenmodell zur Modellierung des Potentials / Maßgebliche Einflussgrößen.....	65
6.1.	Filter „Fahrzeugangebot“.....	68
6.2.	Filter „Alltagstauglichkeit“.....	68
6.2.1.	Platzangebot.....	69
6.2.2.	Höchstgeschwindigkeit.....	70
6.2.3.	Reichweite.....	70
6.2.3.1.	Filterung nach benötigter Reichweite.....	72
6.2.3.2.	Filterung nach psychologisch gewünschter Reichweite.....	73
6.3.	Filter „Wirtschaftlichkeit“.....	74
6.3.1.	Kapitalgebundene Kosten.....	74
6.3.2.	Verbrauchsgebundene Kosten.....	76
6.3.3.	Betriebsgebundene Kosten.....	77
6.3.4.	Gesamtkosten.....	77
6.4.	Filter „Weiche Faktoren“.....	78
6.4.1.	Innovation.....	79
6.4.2.	Fahrspaß.....	79
6.4.3.	Privilegien.....	79
6.4.4.	Lifestyle & Design.....	80
6.4.5.	Umweltbewusstsein.....	80
6.5.	Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung.....	81
6.6.	Systemseitige Umsetzung des Modells.....	82
7.	Definition von Beispielszenarien.....	88
7.1.	Parametrisierung Filter „Fahrzeugangebot“.....	88
7.2.	Parametrisierung Filter „Alltagstauglichkeit“.....	90
7.3.	Parametrisierung Filter „Wirtschaftlichkeit“.....	92
7.3.1.	Entwicklung Anschaffungskosten Elektrofahrzeuge.....	92
7.3.2.	Monetäre Kaufanreize durch finanzielle Förderung.....	96
7.3.3.	Entwicklung Öl- und Kraftstoffpreise.....	97
7.3.4.	Entwicklung Endkundenpreise Strom.....	101
7.3.5.	Bestimmung des wirtschaftlichen Potentials.....	103
7.4.	Parametrisierung Filter „Weiche Faktoren“.....	104



8.	Ergebnisse aus den Beispielszenarien.....	104
8.1.	Gesamtpotential Elektrofahrzeuge.....	105
8.2.	Potential Elektrofahrzeuge im privaten Bereich.....	107
8.3.	Potential Elektrofahrzeuge im gewerblichen Bereich.....	108
9.	Umweltauswirkungen.....	109
10.	Zusammenfassung / energiewirtschaftliche Aspekte.....	113
11.	Abkürzungsverzeichnis.....	119
12.	Literatur.....	121

# 1. Einleitung

## 1.1. Motivation und Ziel der Arbeit

Das Thema Elektromobilität für den Individualverkehr wird derzeit ebenso prominent wie polarisierend diskutiert. In Zeiten knapper werdender Rohölvorkommen und pessimistischer Prognosen bezüglich der Entwicklung des Weltklimas aufgrund beständig steigender CO<sub>2</sub>-Emissionen werden mit Blick auf den Straßenverkehr als einem der größten CO<sub>2</sub>-Emittenten Wege diskutiert, um Mobilität umweltverträglicher und energiepolitisch nachhaltig zu gestalten.

Das Elektrofahrzeug wird in diesem Kontext als ein möglicher Baustein der Zukunftsvision von umweltgerechter und Ressourcen schonender Mobilität gesehen. Bisher bestehen allerdings in diesem Bereich vielerlei Herausforderungen und Informationsdefizite, die eine Einschätzung der Zukunftsfähigkeit dieses Antriebskonzeptes erschweren. Insbesondere die Abschätzung des Marktpotentials von Elektrofahrzeugen bei sich sukzessive verändernden Rahmenbedingungen stellt eine Herausforderung dar.

Ziel dieser Dissertation ist die Entwicklung eines Modells mit dem anhand technisch-wirtschaftlicher Rahmenbedingungen eine quantitative Abschätzung der zukünftigen Potentialentwicklung von Elektrofahrzeugen vorgenommen werden kann. Nach eingehenden Recherchen handelt es sich hierbei um ein neues Modell, welches in der vorliegenden Form weder in diesem noch einem ähnlich gelagerten Anwendungsfall (im Rahmen von Analysen zur Marktrelevanz anderer alternativer Antriebstechnologien) bisher eingesetzt wurde. Der Neuigkeitswert liegt insbesondere in der erzielbaren Aussagetiefe des Modells: Bisherige Studien/Arbeiten (u. a. auch analysiert und verwertet im Rahmen des Kapitel 4.) zeigen das Marktpotential von alternativen Fahrzeugkonzepten qualitativ auf, während mit diesem Modell valide Daten zur Potentialentwicklung von Elektrofahrzeugen bezogen auf eine definierte Grundgesamtheit von Bestandsfahrzeugen generiert werden können. Die konkrete Anwendung des Modells wird aufgezeigt anhand von Szenarienberechnungen bezogen auf die Stadt München.

## 1.2. Methodische Vorgehensweise und Betrachtungsumfang

Im Rahmen der Arbeit werden zunächst die grundlegenden Motivationsgründe für ein Engagement im Bereich der Elektromobilität dargelegt, das aktuelle Marktumfeld erläutert sowie die absehbaren Entwicklungen analysiert: Von den politischen Rahmenbedingungen

und Förderinitiativen, über das absehbar verfügbare Elektrofahrzeug-Angebot, bis hin zur Nachfrageseite, die beispielhaft für München aufbereitet wurde.

Bei der Betrachtung von Angebots- und Nachfrageseite wird im Besonderen der Frage nachgegangen, wie einer Marktsegmentierung unter Berücksichtigung sowohl fahrzeug- als auch nutzerbezogener Kriterien vorgenommen werden kann. Letztendlich wurde ein Konzept entwickelt, das eine kombinierte Betrachtung beider Kriterien (entsprechend einer Matrix) ermöglicht. Um später die Szenarienrechnungen auf Basis der fahrzeug- und nutzerbezogenen Kriterien beispielhaft für München durchführen zu können, war es mangels Daten bzw. -qualität zudem erforderlich, gewisse Informationen ergänzend zu erheben bzw. gesondert aufzubereiten. Hierzu gehörte zum einen eine Erhebung zu den Anwendungsgewohnheiten und Anforderungen gewerblicher Halter an ihre Fahrzeuge, um auch für diese Gruppe über entsprechende nutzerbezogene Daten verfügen zu können. Zum anderen wurde eine Systematik für eine einheitliche Aufbereitung der Münchner Fahrzeug-Bestandsdaten entwickelt, da keine in sich konsistente Datenquelle zur Verfügung stand und auf unterschiedliche, heterogene Datenquellen zurück gegriffen werden musste.

Abgeschlossen wird die Marktanalyse mit Kapitel 5. Im Rahmen dieses Kapitels werden die brachenübergreifenden Überlegungen zur Bereitstellung der ergänzend benötigten Ladeinfrastruktur, die ggf. ein limitierendes Element bei der zukünftigen Marktentwicklung der Elektrofahrzeuge sein kann, analysiert und bewertet. Am Ende stehen Schlussfolgerungen und Festlegungen, inwieweit entsprechende Einflüsse im Rahmen der Modellierung des Elektrofahrzeugpotentials zu berücksichtigen sind.

In Kapitel 6 wird zunächst das eigens entwickelte Modell zur technisch/wirtschaftlichen Potentialerhebung von Elektrofahrzeugen grundlegend beschrieben. Darauf aufbauend befasst sich dieses Kapitel dann mit der Ausgestaltung der einzelnen Stufen des Modells: Hier werden die maßgeblichen Einflussgrößen für die Potentialerhebung, die sich aus den Analysen und Bewertungen im Rahmen der vorangegangenen Kapitel ergeben haben, festgelegt.

Auf Basis der zuvor definierten Einflussgrößen werden schließlich in Kapitel 7 die konkreten Parameterfestlegungen für drei mögliche Elektrofahrzeug-Potentialszenarien erläutert. Die Ergebnisse der Szenarien-Rechnungen speziell bezogen auf München enthält schließlich Kapitel 8. Dargestellt werden die Potentialentwicklungen in Fünfjahres-Schritten, ausgehend vom Referenzjahr 2010 bis zum Jahr 2030. Der Zeitraum 2010 – 2020 wird hierbei als

Markteinführungsphase bezeichnet, während die Folgejahre (2020 – 2030) die sogenannte Marktetablierungsphase bilden.

Das Kapitel 9 gibt eine abschließende Zusammenfassung und einen kurzen energie-wirtschaftlichen Gesamtausblick. U. a. wird auch kurz auf die möglichen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale und Energieeinsparungen eingegangen, die aus einer verstärkten Etablierung der Elektromobilität im Fahrzeugmarkt resultieren können.

Im Rahmen dieser Arbeit sind Elektrofahrzeuge definitionsgemäß Fahrzeuge mit reinem elektrischem Antrieb und elektrochemischem Energiespeicher. Der Antrieb erfolgt über einen oder mehrere Elektromotor(en), die von einer Batterie als alleiniger Energiequelle gespeist werden. Die Batterie ist am Stromnetz aufladbar. Fahrzeuge mit dualem Antriebsstrang wie beispielsweise Hybride oder Fahrzeuge mit zusätzlichem Motor zur Speisung des Energiespeichers - sogenannte Range Extender - werden gemäß dieser Definition nicht untersucht.

Betrachtungsgegenstand ist der Individualverkehr, d. h. schienengebundene Fahrzeuge oder sonstige Fahrzeuge des Öffentlichen Nahverkehrs werden nicht in die Potentialerhebung einbezogen. Zudem wurde bewusst eine Einschränkung auf zweispurige Fahrzeuge vorgenommen, da Nutzer einspuriger Fahrzeuge in der Regel keine wirtschaftlichen Bewertungskriterien als Entscheidungsgrundlage für oder gegen eine Antriebsart zugrunde legen bzw. anwenden können. Vergleichsmaßstab für das elektrisch betriebene Pedelec beispielsweise wäre das herkömmliche muskelangetriebene Fahrrad. Um eine wirtschaftliche Bewertung herbeiführen zu können, müsste Muskelkraft in diesem Fall monetär bewertet werden. Auch bei Motorrädern fällt es schwer, wirtschaftliche Kriterien anzusetzen. Diese werden in der Regel überwiegend im Sommer als Sekundär-Fahrzeuge für Wochenend- und Urlaubsfahrten genutzt. Im Vordergrund steht der Spaß-/Fahrgenussfaktor, wirtschaftliche Kriterien sind eher nachgelagerter Natur.

Bei den zweispurigen Fahrzeugen wird differenziert nach Personenkraftwagen (Pkw) und Nutzfahrzeugen (Nfz). Nach dem Personenbeförderungsgesetz sind als Pkws alle Kraftfahrzeuge definiert, „die nach ihrer Bauart und Ausstattung zur Beförderung von nicht mehr als neun Personen (einschließlich Führer) geeignet und bestimmt sind“ (§ 4 Abs. 4 PBefG). Sie sind nicht an Schienen oder eine Fahrleitung gebunden und werden durch die Kraft einer eigenen Maschine bewegt. [1] Laut EU-Gesetzgebung (Richtlinie 70/156/EWG) betrifft dies alle Fahrzeuge der Klasse M1 („Für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz.“) [2]. Hierzu gehört

auch die Gruppe der sog. Kleintransporter. Alle anderen zweispurigen Fahrzeuge, im Wesentlichen LKW, fallen unter die Kategorie der Nutzfahrzeuge (Nfz).

## 2. Marktumfeld für Elektromobilität

In diesem Kapitel werden zunächst die grundlegenden Motivationsgründe für ein Engagement im Bereich der Elektromobilität beschrieben und analysiert.

### 2.1. Klimaschutz, Endlichkeit fossiler Energieträger, Versorgungssicherheit und effiziente Energieverwendung

Die klimatischen Bedingungen auf unserem Planeten befinden sich seit jeher in stetigem Wandel [3]. Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass die im Laufe der vergangenen Jahrzehnte beobachteten klimatischen Veränderungen vorwiegend anthropogener Natur, d.h. durch Menschen verursacht sind [4]. Seit 1750 ist die Konzentration des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, das als einer der Hauptgründe für die klimatischen Veränderungen gilt und gut 97% der gesamten Treibhausgasemissionen ausmacht [5], in der Erdatmosphäre um 38% angestiegen [3]. Diese Entwicklung ist primär auf die Nutzung fossiler Energieträger und zunehmende Waldzerstörung zurück zu führen [3].

2007 betrug der CO<sub>2</sub>-Anteil des Verkehrssektors an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa (EU) rund 23 % [6], [7] (Abbildung 1). Bezogen auf Deutschland (D) ergibt sich ein ähnliches Bild. Der Verkehrssektor trägt somit erheblich zur CO<sub>2</sub>-Belastung der Umwelt bei.

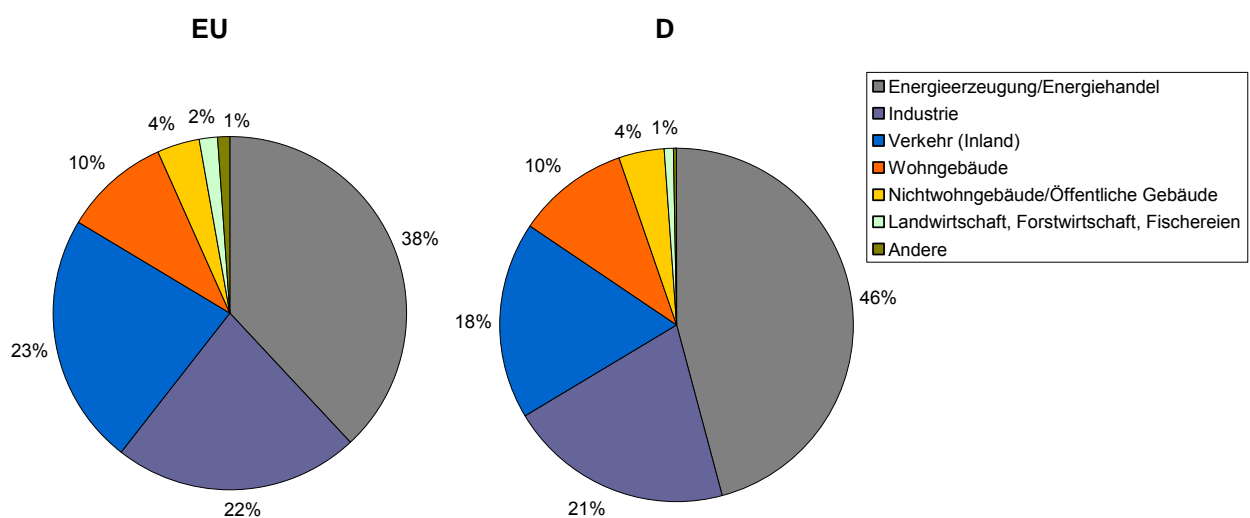
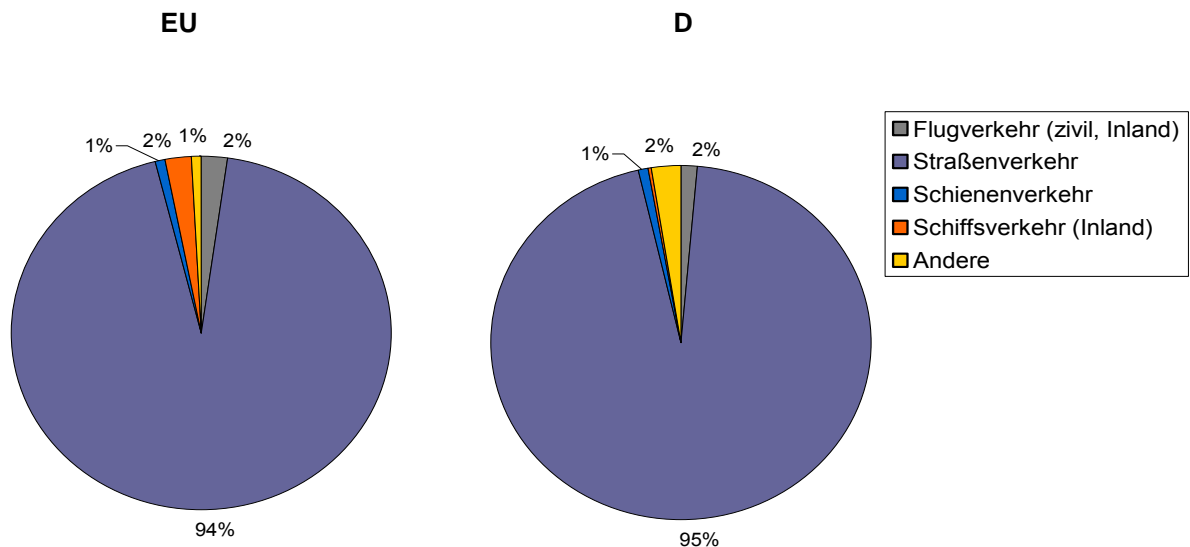


Abbildung 1: Anteil der Sektoren an den Gesamtemissionen EU (links) und Deutschland (rechts)

Innerhalb des Verkehrssektors war der Straßenverkehr im Jahr 2007 mit gut 94% der maßgebliche Verursacher von Treibhausgas-Emissionen in Europa [6], [7] (Abbildung 2). Seit 1990 haben die Treibhausgasemissionen in diesem Sektor im Durchschnitt um 1,4% p.a. zugenommen [8]. In Deutschland liegt der CO<sub>2</sub>-Anteil des Straßenverkehrs an den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors in gleicher Größenordnung wie in Europa.



**Abbildung 2: Anteil CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor EU (links) und Deutschland (rechts)**

Die hohen Emissionsanteile des Verkehrs sowohl der EU als auch Deutschlands weisen bereits darauf hin, dass dieser auch zu den maßgeblichen Energieverbrauchern zählt. Im Jahr 2007 wurden auf EU-Ebene durch den Verkehrssektor insgesamt 377,2 Millionen Tonnen Rohöläquivalent (TOE<sup>1</sup>) verbraucht. Auf den Straßenverkehr entfallen davon 81,9% [9]. Bei einem gesamten Energieverbrauch der EU-Staaten von 1.157,7 Millionen Tonnen Rohöläquivalent<sup>2</sup> macht dieser einen Anteil von gut 27,7% aus.

In Deutschland benötigte der Verkehrssektor im Jahr 2007 rund 62,4 Millionen Tonnen Rohöläquivalent<sup>2</sup>, wovon wiederum 82,3% auf den Straßenverkehr entfallen. Bei einem Gesamtenergieverbrauch von 210,3 Millionen Tonnen Rohöläquivalent [9] lag der Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtenergieverbrauch damit bei 24,4%.

Bezüglich der Reservensituation wird beispielsweise in einer Studie der Exxon-Mobil-Tochter Esso die Ölreichweite, d. h. die statischen Reserven, auf über 46 Jahre geschätzt [10]. Die

<sup>1</sup> TOE ist eine Maßeinheit für die Menge an Energie die durch das Verbrennen einer Tonne Rohöl freigesetzt wird,  
<sup>2</sup> 1 TOE entspricht 11,63 MWh.

statische Reichweite gibt an, wie lange die Reserven unter der Annahme eines weltweit gleichbleibenden Ölverbrauchs noch zur Abdeckung der Nachfrage reichen. Ein verstärkter Ölverbrauch der Schwellenländer wie z. B. Indien und China würde die tatsächliche Reichweite verkürzen, im Gegenzug würden neue Ölfunde diese ggf. wiederum erhöhen. Speziell bei der Reservenbetrachtung spielt zudem eine wichtige Rolle, wie sich die Rohölpreise entwickeln. Mit steigenden Notierungen werden bisher unwirtschaftliche Lagerstätten wirtschaftlich erschließbar und erhöhen somit die Reserven. Eine Abschätzung der tatsächlich vorhandenen Reserven und Ressourcen (Reserven zuzüglich der derzeit wirtschaftlich nicht erschließbaren Quellen) wird zudem durch - aus strategischen Gründen - nicht nachvollziehbare Angaben der meist staatlich kontrollierten Förderunternehmen erschwert. Daher kommen verschiedene Studien auch zu den unterschiedlichsten Ergebnissen. Wann genau der Peak Oil erreicht sein wird ist umstritten. Unter Peak Oil wird der Zeitpunkt der höchsten Ölförderung, ab dem die Fördermengen wegen sinkender Reserven zurückgehen, verstanden. Vorliegende Berechnungen variieren stark und lassen keinen eindeutigen Schluss zu. Sicher ist allerdings, dass Erdöl endlich ist und ein Fördermaximum existiert. Eine Studie der Bundeswehr z. B., die sich mit den sicherheits- und wehrpolitischen Folgen einer Ölverknappung befasst, kommt zu dem Ergebnis, dass eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht, dass der Peak Oil bereits um das Jahr 2010 zu verorten ist und sicherheitspolitische Auswirkungen je nach Entwicklung der hierbei global relevanten Faktoren mit einer Verzögerung von 15 bis 30 Jahren erwartet werden können [11].

Bereits jetzt ist die Europäische Union stark abhängig von Rohölimporten (Tabelle 1). Die EU mussten im Jahr 2008 ca. 90% ihres Bedarfs an Rohöl durch Importe decken. 34% der europäischen Rohölimporte wurden durch Einfuhren aus OPEC-Staaten gedeckt, von denen wiederum 44,2% aus der Region des Persischen Golfs stammten. Die OPEC-Staaten verfügen über mehr als 70% der weltweiten Erdölreserven. 2020 werden über 40% der weltweiten Fördermengen aus der Golfregion stammen. [12]

**Tabelle 1: Statistische Daten Rohöl, Basisjahr 2008**

Anteil Rohölbedarf EU aus Importen	90%
Anteil Importe EU aus OPEC-Staaten	34%
<i>davon Anteil aus Golfregion</i>	<i>44%</i>
Anteil Erdölreserven OPEC-Staaten weltweit	70%
Anteil Fördermengen Golfregion (2020) weltweit	40%

Eine Diversifizierung der Versorgungsquellen der EU ist unter diesen Umständen schwierig, was erhebliche Versorgungsrisiken birgt. Insbesondere für Deutschland ist das Risiko der Versorgung mit Energierohstoffen seit Ende der 1970er Jahre signifikant gestiegen. Nach

Italien weist Deutschland das derzeit höchste Versorgungsrisiko unter den G7-Staaten auf [13]. Mitentscheidend dafür ist insbesondere die in den letzten Jahren stetig zunehmende Abhängigkeit Deutschlands von russischen Energieimporten. Mehr als 40% der Rohölimporte stammen inzwischen aus Russland [13].

Bei weltweiter Betrachtung ergibt sich bezüglich der Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Ölbedarf folgendes Bild: Voranschreitendes wirtschaftliches Wachstum, insbesondere in Schwellenländern<sup>2</sup>, wird das Verkehrsaufkommen zukünftig weiter ansteigen lassen. Ein Großteil der Weltbevölkerung verfügt zwar aktuell nicht über die Möglichkeit sich ein eigenes Automobil anzuschaffen, viele haben nicht einmal Zugang zu jedweder Art von motorisierten Fortbewegungsmitteln [14]. Diese Situation verändert sich jedoch schnell und wird den Rohöl-Verbrauch und den Ausstoß klimaschädlicher Gase weiter erhöhen. Bei Zugrundelegung eines Referenzszenarios, bei dem keine Änderung der politischen Bestrebungen zur Minderung des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes angenommen wird, geht die International Energy Agency (IEA) in ihrem Report von 2009 davon aus, dass die durch den Straßenverkehr induzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 2007 bis 2030 um 43% ansteigen werden [15].

Wesentliche Schritte zur Reduzierung des Rohölverbrauchs und zur Senkung der Treibhausgasemissionen sind daher der Umbau der Energiesysteme hin zu einer emissionsfreien Versorgung aus erneuerbaren Energien, eine nachhaltige Landnutzung und die Etablierung alternativer, Ressourcen schonender Antriebskonzepte im motorisierten Straßenverkehr [3]. Die Elektromobilität bietet die Chance, diesen Transformationsprozess nachhaltig zu unterstützen [16].

Nach Sterner [3] sind voll elektrifizierte Fahrzeuge um den Faktor 3-4 effizienter als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Letztere können lediglich 20-25% der Energie, die bei der Treibstoffverbrennung frei gesetzt wird, in Bewegung umsetzen. 75-80% der Energie bleiben demnach ungenutzt und werden in Form von Abwärme frei gesetzt. Demgegenüber ist Hightech-Leistungselektronik in der Lage, Strom mit einer Effizienz von 95% beim Lade- und Endladevorgang der Batterie eines Elektrofahrzeugs zu übertragen. Lithium-Ionen Batterien, die sich am besten für den Einsatz in Elektrofahrzeugen eignen [17], speichern Energie mit einer Effizienz von ebenfalls 95% und Elektromotoren können 90% der verfügbaren Energie in Bewegungsenergie umsetzen [3]. Insgesamt liegt die Effizienz eines vollelektrischen Fahrzeugs damit bei gut 80%. Regenerativ erzeugter Strom könnte

---

<sup>2</sup> Der Internationale Währungsfond (IWF) klassifiziert Länder wie Mexiko, Brasilien, Russland, China oder Indien als Schwellenländer (IWF 2009).



somit sehr effizient im Bereich der Elektromobilität eingesetzt werden. Zudem werden die staatlichen Vorgaben für die Vermeidung bzw. Reduzierung von Treibhausgasemissionen zunehmend restriktiver. So wird der Grenzwert für CO<sub>2</sub>-Emissionen von Neuwagen durch sparsamere Motoren bis zum Jahr 2015 europaweit auf 130 g CO<sub>2</sub>/km gesenkt, wobei der neue Grenzwert stufenweise eingeführt wird [18], [19] (Tabelle 2).

**Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für Neuwagen in der EU**

<b>Jahr</b>	<b>Grenzwert</b>	<b>Anzahl der Neuwagen eines Herstellers</b>
<b>2012</b>	130 g CO <sub>2</sub> /km	65%
<b>2013</b>	130 g CO <sub>2</sub> /km	75%
<b>2014</b>	130 g CO <sub>2</sub> /km	80%
<b>2015</b>	130 g CO <sub>2</sub> /km	100%
<b>2020<sup>3</sup></b>	95 g CO <sub>2</sub> /km	100%

Zusätzlich zu den neuen CO<sub>2</sub>-Grenzwertbestimmungen ist 2007 die Einführung der Euro 6 Abgasnorm vom Europäischen Parlament beschlossen worden. Für alle mit Dieselmotor ausgerüsteten Neuwagen besteht ab dem 1. September 2014 die Verpflichtung, die Stickstoffoxidemissionen erheblich zu verringern. Die Emissionen aus Personenwagen und anderen der Personen- und Güterbeförderung dienenden Kraftfahrzeugen werden auf 80 mg/km begrenzt, was einer Verringerung um 50% gegenüber der Euro 5 Norm entspricht [20]. Es ist davon auszugehen, dass die zuvor erläuterten Verschärfungen von Emissionsgrenzwerten zu einer weiteren Verteuerung konventioneller Fahrzeuge führen werden und somit indirekt die Marktposition für Elektrofahrzeuge verbessert würde.

Im Ergebnis können unter den zuvor dargestellten Umwelt- und Reserven-/ Ressourcen Gesichtspunkten, den Aspekten Versorgungssicherheit und effizienter Energieanwendungen speziell im Verkehrssektor, Elektrofahrzeuge in Verbindung mit der Nutzung regenerativ erzeugten Stroms als Kraftstoff erheblich zur Lösung der zuvor dargestellten Problematiken beitragen.

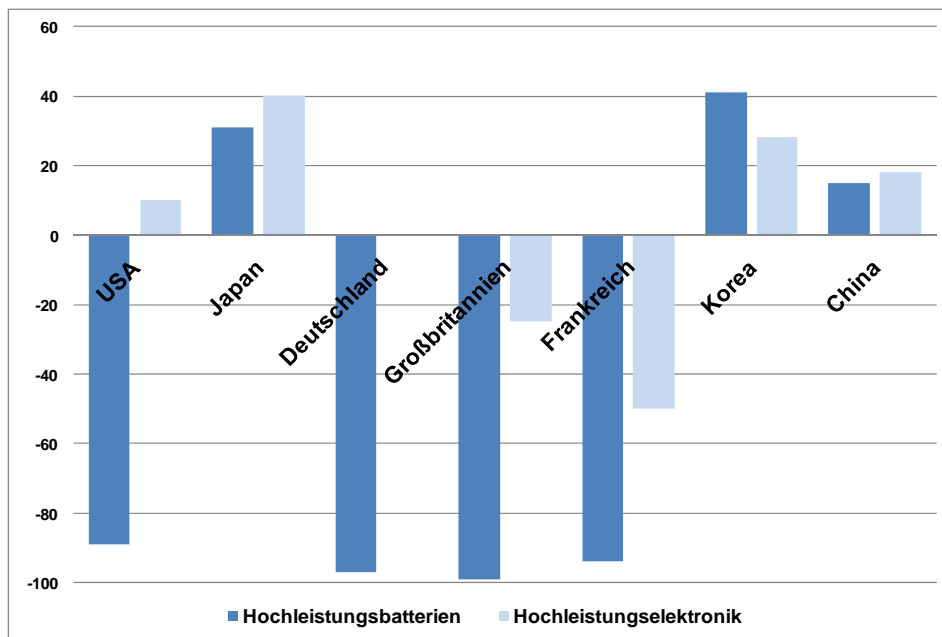
---

<sup>3</sup> 2013 soll überprüft werden, ob und wie das Ziel von 95 g CO<sub>2</sub>/km erreicht wird.

## **2.2. Automobilstandort Deutschland: Wirtschaftliche Erwägungen**

Die Hersteller und ihre Zulieferer werden zunehmend dazu gezwungen, Innovationsprozesse, die bisher auf die Weiterentwicklung bestehender Antriebskonzepte gerichtet waren, radikal zu verändern [21]. Der elektrifizierte Antriebsstrang rückt zunehmend in den Entwicklungsfokus. Dieser Trend wird wesentliche Veränderungen in der automobilen Wertschöpfung verursachen und neue Märkte begründen [21]. Während zumindest bei kleineren Elektrofahrzeugen der größte Teil der Wertschöpfung bei Batterien (etwa 50%) und elektrischen Antriebssystemen inklusive der Leistungselektronik (etwa 20%) liegt [16], treten z. B. mit Energieversorgern und Infrastruktur- bzw. Mobilitätsdienstleistern wie Better Place neue Akteure in den Mobilitätsmarkt ein. Roland Berger [22] geht in einer Studie zum Thema Elektromobilität davon aus, dass der Marktanteil der Elektromobilität in Westeuropa im Jahr 2020 bei gut 20% und der weltweite Absatz von Elektrofahrzeugen (teil- und vollelektrifizierte Pkw) auf 8-10 Millionen Einheiten steigen wird. Malorny et al. [21] beziffern das Absatzpotential für Deutschland bis 2020 auf 100.000 bis 400.000 Elektrofahrzeuge pro Jahr und das Umsatzpotential auf bis zu 500 Mrd. €.

Bevor Deutschland, Marktführer bei traditionellen Verbrennungsmotoren und eines der führenden Länder im konventionellen Automobilbau, von dem beschriebenen Paradigmenwechsel im Verkehrssektor profitieren kann, muss im Bereich der Elektromobilität erst noch der Anschluss an das weltweite technologische Entwicklungsniveau gefunden werden [16]. Wie das Gutachten der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) zeigt, ist der Rückstand in diesem Bereich beträchtlich. Andere Länder wie Korea, China oder Japan haben erheblich früher und massiver als Deutschland in die Elektromobilität investiert. Beispielhaft kann diese Entwicklung anhand der Patentanmeldungen in den Bereichen Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik illustriert werden (Abbildung 3). Es zeichnet sich entsprechend noch nicht ab, dass der deutsche Automobilbau eine ähnliche Führungsposition in der Elektromobilität wird einnehmen können wie er es im Bereich der konventionellen Antriebsarten inne hat.



**Abbildung 3: Patentanmeldungen<sup>4</sup> ausgewählter Länder in den Bereichen Hochleistungs-  
batterien und Hochleistungselektronik, 2005 bis 2007 [16]**

„Erfolgt der Anschluss der deutschen Forschung und Entwicklung an die internationale Führungsspitze nicht umfassend und schnell, wird der Übergang zur Elektromobilität eine erhebliche Schwächung des Industriestandorts Deutschland mit sich bringen“ [16]. Da die industrielle Wertschöpfung in Deutschland, einschließlich der Zulieferindustrien, zu etwa 15% auf der konventionellen Automobilindustrie basiert und ungefähr 1,8 Millionen Arbeitsplätze in Deutschland direkt oder indirekt von der Automobilproduktion abhängig sind, hätte diese Schwächung gravierende Folgen für den Wirtschaftsstandort Deutschland [16].

Im internationalen Vergleich zeigt sich, dass Deutschland vor allem in Kernbereichen der Elektromobilität starken Aufholbedarf gegenüber der Weltspitze hat. Die Produktion von Zellen und Batteriesystemen ist kaum etabliert und die Forschung und Entwicklung im Bereich der Batterietechnologie sowie die Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs sind dringend zu verbessern. [23].

Die Gründe, sich für Elektromobilität einzusetzen, sind also vielfältig. Neben den bereits erläuterten klimapolitischen Zielsetzungen, der zu erwartenden Zunahme von Versorgungsabhängigkeiten, der Endlichkeit bei fossilen Energieträgern spielen nicht zuletzt auch wirtschaftliche Erwägungen hinsichtlich der Stärkung nationaler Wirtschaftszweige eine maßgebliche Rolle.

<sup>4</sup> Indizes mit dem Wert 0 zeigen ein durchschnittliches Niveau an, solche oberhalb von +20 stark überdurchschnittliche, von unterhalb -20 stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten (EFI 2010, S.79).

### 2.3. Politische Zielsetzungen/Förderungen

"Unser Ziel ist es, Deutschland schnellstmöglich zu einem Leitmarkt für Elektromobilität zu machen."

(Karl-Theodor zu Guttenberg, Bundeswirtschaftsminister, 2009)

Um die Elektromobilität in Deutschland zügig aus der Phase der Marktvorbereitung auf ein höheres Level der Umsetzung zu heben, wurde im August 2009 in Deutschland ein Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität verabschiedet, der den Rahmen für Förderprogramme auf nationaler Ebene vorgibt [23]. Mit diesem sollen identifizierte Schwachstellen des Elektromobilitätsstandortes Deutschland adressiert und Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickelt werden. Hierbei werden folgende konkrete Ziele genannt:

- Bis zum Jahr 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren.
- Bis zum Jahr 2030 „können es über fünf Millionen Fahrzeuge sein“.
- Bis zum Jahr 2050 soll der Verkehr in Städten „überwiegend ohne fossile Brennstoffe auskommen“.
- Der zusätzliche Strombedarf für Elektrofahrzeuge soll vollständig durch erneuerbare Energien gedeckt werden.

Der Entwicklungsplan zielt darauf ab, eine umfassende Strategie „[...] von der Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen zu entwickeln und umzusetzen“ [16].

Die Durchdringung der Elektromobilität am Markt durch entsprechende politische Maßnahmenprogramme voran zu treiben ist dabei nicht nur eine Frage der nationalen Bemühungen, sondern insbesondere auch abhängig von Förderinitiativen und regulatorischen Maßnahmen auf internationaler Ebene, d.h. zwischenstaatlicher Organisationen wie bspw. der Europäischen Union (EU). Im Folgenden werden daher Initiativen dargestellt, die sich in ihrer Zielsetzung, als auch ihrer Wirkung sowohl fördernd auf die Forschung und Entwicklung in diesem Feld bis hin zur Verbreitung der Elektromobilität im Markt auswirken. Differenziert wurde nach Initiativen in Deutschland, Europa und weltweit.

In Deutschland sind vier Bundesministerien (BMW, BMVBS, BMBF und BMU) im Rahmen des Konjunkturpakets II zwischen 2009 und 2011 mit insgesamt 500 Millionen € an Förderprogrammen beteiligt [25] (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Rahmendaten zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität**

<b>Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität: Rahmendaten</b>	
<b>Beteiligte Ministerien</b>	BMWi, BMVBS, BMBF, BMU
<b>Umfang Fördermittel</b>	500 Millionen €
<b>Laufzeit</b>	2009 - 2011
<b>Förderschwerpunkte</b>	Forschung und Entwicklung sowie Marktvorbereitung / Marktentwicklung mit den Bereichen Fahrzeugkomponenten, Feldversuche, Netzintegration, Stromversorgung, Infrastrukturaufbau, Mobilitätskonzepte

So werden zum Beispiel im BMVBS-Förderschwerpunkt "Elektromobilität in Modellregionen" acht Modellvorhaben mit insgesamt 115 Millionen € unterstützt [26]. „Akteure aus Wissenschaft, Industrie und den beteiligten Kommunen arbeiten bei diesen Modellprojekten eng zusammen, um den Aufbau einer Infrastruktur und die Verankerung der Elektromobilität im öffentlichen Raum voranzubringen“ [26].

Laut BMU [25] sind die Fördermittel aus dem Konjunkturpaket II in Höhe von 500 Millionen € lediglich zur Unterlegung der ersten Phase des Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität vorgesehen. Der Entwicklungsplan sieht demnach eine Verstetigung der Mittel in Folgephasen vor. Ein Marktanreizprogramm für Elektrofahrzeuge wird es entgegen früherer Pläne nicht geben. Die Bundesregierung will sich zunächst darauf beschränken, Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität zu fördern.

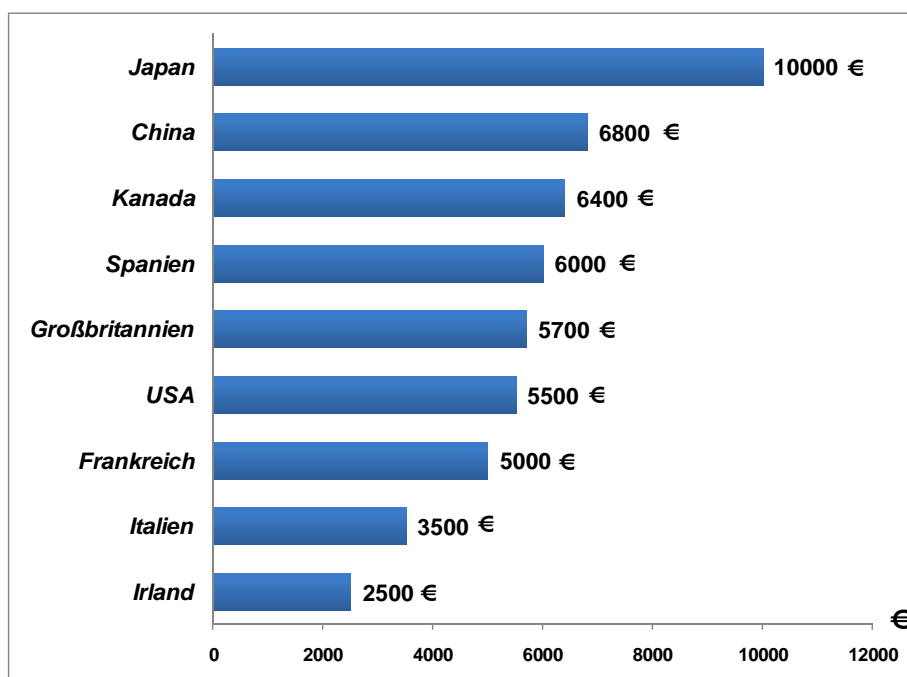
Auch auf europäischer Ebene wird im Rahmen der EU-Initiative „Ressource-efficient Europe“ über Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität diskutiert. Die Initiative hat sich zum Ziel gesetzt, die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Verbrauch natürlicher Ressourcen, die CO<sub>2</sub>-Reduzierung von Wirtschaftsprozessen, die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Modernisierung und Dekarbonisierung des Transportsektors voran zu treiben [27]. In diesem Zusammenhang hat die Europäische Kommission Ende April 2010 eine Strategie zur Realisierung sauberer und effizienterer Mobilität in Europa („A European Strategy on Clean and Energy Efficient Vehicles“) veröffentlicht [28]. Mit dieser wird insbesondere das Ziel verfolgt, die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie gegenüber ihren amerikanischen und asiatischen Konkurrenten im Bereich der Entwicklung sauberer und energieeffizienter Antriebe zu sichern. Mit Antrieben wird nicht nur auf elektrische Antriebe sondern auch auf effiziente konventionelle Verbrennungsmotoren genauso wie Gas betriebene Antriebe abgestellt.

Maßnahmen mit direktem Bezug zur Elektromobilität sieht die Strategie der EU Kommission ebenfalls vor. So sollen bspw. wie für andere Antriebsarten auch einheitliche Sicherheits-

anforderungen für Elektrofahrzeuge definiert, Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur standardisiert, der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur in den Mitgliedsstaaten unterstützt sowie Vorschriften für das Recycling von Batterien angepasst und die Forschung in diesem Bereich gefördert werden [28].

Über die finanzielle Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten hinaus wird von vielen Staaten eine Förderung in Form von monetären Kaufanreizen wie der Auszahlung einer Prämie beim Kauf von Elektrofahrzeugen oder der Ermäßigung einer Steuer (Zulassungssteuer, Mehrwertsteuer, Betriebssteuer) angeboten [29]. So haben allein in Europa 17 Staaten beschlossen, die Mehrkosten bei der Anschaffung eines Elektrofahrzeugs durch finanzielle Anreize entweder beim Kauf oder während der Laufzeit ganz oder teilweise auszugleichen. Der finanzielle Umfang der Förderinitiativen anderer Länder übersteigt dabei den Umfang derer Deutschlands zum Teil erheblich.

Nachstehende Übersicht (Abbildung 4) zeigt Beispiele der maximalen Höhe von Verkaufsförderungsmaßnahmen für Elektrofahrzeuge in anderen Staaten.



**Abbildung 4: Kumulierter Umfang Absatz fördernder finanzieller Maßnahmen für Elektrofahrzeuge in €in ausgewählten Ländern (in Anlehnung an [30])**

Die französische Regierung z. B. geht von einem Fahrzeugbestand von zwei Millionen Hybrid- und Elektrofahrzeugen bis 2020 aus und hat hierzu einen Plan zum Ausbau einer unterstützenden Ladeinfrastruktur vorgelegt [31]. In der Folge unterzeichneten im April 2010 die französische Regierung, 12 Gebietskörperschaften sowie die beiden Automobilhersteller Renault und PSA eine Charta zur Unterstützung der erfolgreichen Markteinführung von

Elektrofahrzeugen. Die zentralen Punkte dieser Charta betreffen die Einrichtung von Lade-stationen und eine Sammelbestellung von 50.000 Fahrzeugen durch eine Gruppe aus 20 Unternehmen. Zu diesen gehören unter anderem La Poste, ADP, Air France, Areva, Bouygues, EDF, Eiffage, France Télécom, GDF-Suez, die RATP und die SNCF [32]. Um die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen zu decken, haben sich PSA und Renault zudem dazu verpflichtet, 60.000 Elektrofahrzeuge zwischen 2011 und 2012 auf den Markt zu bringen [32]. Die Aktivitäten werden durch ein Marktanreizprogramm begleitet, das vorsieht, den Kauf eines Elektrofahrzeugs mit einer Prämie von 5.000 € zu unterstützen. Das Programm wird noch bis 2012 beibehalten [32].

Im nächsten Jahr wird Spaniens Regierung den Kauf von Elektrofahrzeugen sowie die Weiterentwicklung von emissionsfreien Fahrzeugen mit insgesamt 590 Millionen € fördern. Allein der Kauf eines Elektrofahrzeugs soll mit bis zu 6.000 € gefördert werden [31].

In den USA wird der Kauf von Hybrid- und Elektrofahrzeugen (rein elektrisch oder hybrid) im Rahmen des ARRA-Fonds gefördert. Mit dem Fond soll die Markteinführung der „nächsten Generation“ von Plug-In-Elektrofahrzeugen in Form eines Steuererlasses mit bis zu 7.500 US \$ unterstützt werden [33].

Aufgrund der zuvor skizzierten Unterstützungsmaßnahmen im internationalen Umfeld werden in Deutschland von verschiedenen Seiten der Politik Forderungen bzgl. einer Intensivierung bzw. veränderten Ausrichtung der Förderbemühungen des Bundes geäußert. So hat das Bundesumweltministerium bereits im September 2009 im „Programm zur Marktaktivierung von Elektrofahrzeugen“ ein Förderkonzept vorgelegt [29]. Das Programm sieht eine dreijährige Förderung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen ab 2012 vor, da das Ministerium ab diesem Zeitpunkt mit der Verfügbarkeit deutscher Fahrzeuge auf dem Elektromobilitätsmarkt rechnet. Die Förderung umfasst einen Zuschuss von 3.000 bis 5.000 € für den Kauf der ersten 100.000 Hybrid- und Elektrofahrzeuge, der an die Nutzung erneuerbarer Energien geknüpft ist. Bezuschusst werden sollen alle Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb, d.h. sowohl reine Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride, als auch Brennstoffzellenfahrzeuge. Die Höhe des Zuschusses richtet sich nach den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeuge. Während der volle Zuschuss nur für reine Elektrofahrzeuge gewährt werden soll, soll für Fahrzeuge mit Emissionen zwischen 1 und 50 g CO<sub>2</sub>/km ein reduzierter Zuschuss angeboten werden. Das Förderkonzept sieht weitere nichtmonetäre Fördermöglichkeiten in Form einer zeitlich befristeten Dreifachrechnung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen auf die CO<sub>2</sub>-Reduzierungsziele der Fahrzeughersteller und die Schaffung von Nutzungsanreizen in Gestalt besonderer Parkmöglichkeiten oder des Rechts auf Nutzung der Busspur vor.

In einem Fraktionsbeschluss vom März 2010 fordert die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, in Anlehnung an Frankreich, zum einen den Kauf von Fahrzeugen mit einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von weniger als 60 g pro Kilometer im Rahmen der Kfz-Steuer mit bis zu 5.000 € zu fördern und zum anderen bei Dienstfahrzeugen bis zum 31.12.2015 auf die Versteuerung des geldwerten Vorteils bei der Privatnutzung zu verzichten. Ziel ist, dass bis 2020 mindestens 2 Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sind [34].

In Bayern denkt die Landesregierung über die Einrichtung einer Modellstadt für Elektrofahrzeuge nach. Ein solches Modellprojekt hätte das Ziel, die Machbarkeit einer Vollelektrifizierung des Straßenverkehrs in einer 10.000 Einwohnerstadt unter Realbedingungen zu testen. Welche finanziellen Anreize im Rahmen eines solchen Projekts geboten werden, ist jedoch noch nicht klar [35].

Das Bayerische Umweltministerium fordert in einem Strategiepapier zur Elektromobilität eine vollständige und unbefristete Steuerbefreiung für Elektrofahrzeuge [36]. Halter sollten demnach keine Kfz-Steuer und über mehrere Jahre hinweg auch keine Stromsteuer zahlen. Zusätzlich sollte als Zeichen der Steuerbefreiung die Einführung grüner Kennzeichen oder von Wechselkennzeichen in Erwägung gezogen sowie die Zulassung und die Versicherung von Elektrofahrzeugen vereinfacht werden. In dem Papier wird gefordert, dass Kommunen kostenlose Parkplätze für Elektrofahrzeuge in den Zentren bereitstellen sollen.

Wie die Diskussion um die Förderschwerpunkte im Bereich Elektromobilität zeigt, sind neben der Förderung von Forschung und Entwicklung, auf die sich die Mittel aus dem Konjunkturpaket II konzentrieren, weitere, sowohl legislative wie finanzielle Fördermöglichkeiten denkbar. Um dieser Herausforderung zu begegnen, hat die Bundesregierung Anfang 2010 die „Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität“ (GGEMO) ins Leben gerufen [37]. Wesentliche Aufgabe der Geschäftsstelle ist, die laufenden und zukünftigen Förderaktivitäten zu einem integrierten Förderkonzept zu vereinen, zentral zu steuern und zu vernetzen.

### **3. Elektrofahrzeuge: Die Angebotsseite**

Die Geschichte des Elektrofahrzeugs reicht über 100 Jahre weit zurück. In seinen Anfängen war das Elektroauto in der Lage, sein Gegenmodell, den Verbrennungsmotor, in wichtigen Belangen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung hinter sich zu lassen [38]. Um 1900 wurden 38% aller Automobile in den USA elektrisch, 40% mit Dampf und lediglich 22% über einen Verbrennungsmotor angetrieben. Das Maximum elektrisch angetriebener Autos wurde in den USA 1912 mit 33.842 Fahrzeugen erreicht [39]. Das Elektrofahrzeug konnte jedoch mit den gewaltigen technischen Fortschritten des Verbrennungsmotors, insbesondere in



Bezug auf Reichweite und Fahrleistung, nicht Schritt halten und wurde zu einem Produkt, das lediglich eine kleine Gruppe von Enthusiasten begeistern konnte bzw. sich allein in Nischen etablierte. Aufgrund der vielfältigen politischen, gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen an die Fahrzeuge von morgen werden Elektrofahrzeuge heute jedoch wieder als ein zukunftssträchtiges Fahrzeugkonzept intensiv diskutiert, analysiert und entwickelt [40].

### **3.1. Aktueller Entwicklungsstand bei Elektrofahrzeugen**

Während sich die Hybridtechnik bspw. in Form des Toyota Prius bereits als Massenmarkt tauglich erwiesen hat und diverse Großserienproduktionen laufen, ist die Verfügbarkeit von reinen Elektrofahrzeugen zum aktuellen Zeitpunkt noch als sehr gering einzustufen. Insbesondere von Seiten deutscher Automobilhersteller ist kurzfristig ein Angebot seriengefertigter Elektrofahrzeuge noch nicht zu erwarten.

Das Angebot an reinen Elektrofahrzeugen ist momentan auf solche beschränkt, die wie bspw. der Tesla Roadster und der Mitsubishi i-MiEV in Kleinserien hergestellt werden, oder es handelt sich um Einzelumrüstungen herkömmlicher Großserien-Modelle auf Elektroantrieb, wie bspw. der E-Mini von BMW. Für beide Fälle gehen Smole und Wolfsegger [41] von einer eingeschränkten Breitenwirkung aus. Sie konstatieren: „Für die breite Anwendung im motorisierten Individualverkehr stehen keine Elektrofahrzeuge in ausreichender Menge bzw. zu einem attraktiven Preis-/Leistungsverhältnis zur Verfügung. Jedoch ist anzumerken, dass in Modellregionen die ersten Flottenversuche erfolgreich aufgebaut werden. Die Modellversuche bestätigen, dass Elektrofahrzeuge auch im Alltagseinsatz prinzipiell einsatzfähig sind“. Bis 2015 gehen Smole und Wolfsegger davon aus, dass sämtliche großen Automobilhersteller Hybrid- und Elektrofahrzeuge im Programm führen werden.

Tabelle 4 zeigt, dass es vor allem Automobilhersteller aus Japan, Frankreich und China sind, die sich auf die Serienproduktion von Elektrofahrzeugen vorbereiten. Zudem wird ersichtlich, dass praktisch jeder große Automobilhersteller Entwicklungsbemühungen in Richtung von Elektrofahrzeugen gestartet hat, die sich jeweils in konkreten Projekten widerspiegeln. Momentan sind in den Entwicklungsbemühungen zwei Extreme beobachtbar. Während Hersteller wie Tesla oder Lightning das Luxussegment mit Elektrofahrzeugen der Sportwagenklasse mit Preisen zwischen 80.000 und 220.000 € bedienen, orientiert sich der Großteil des Angebots der übrigen Hersteller an Minis, Kleinwagen und Fahrzeugen der Kompaktklasse (z.B. Renault, Peugeot, VW, BMW). Doch selbst diese werden voraussichtlich Verkaufspreise aufweisen, die weit über denen vergleichbarer Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor liegen. Während beispielsweise ein smart fortwo mit konventioneller

Antriebstechnik für gut 9.000 € zu kaufen ist, müssen für dessen elektrische Variante bei Marktstart 2012 voraussichtlich 38.000 € investiert werden. Mit Blick auf diesen Preisunterschied lassen sich leicht die hohen Marktanreizprogramme in Ländern wie den USA (5.500 €) oder Frankreich (5.000 €) erklären.

**Tabelle 4: Übersicht Elektrofahrzeuge<sup>5</sup>: PKW, ohne Kleintransporter (in Anlehnung an [42])**

Hersteller	Modell	Kaufpreis	Batterietyp	Elektrische Reichweite	Verfügbarkeit
Audi	e-Tron (R8)	155.000 €	Li-Ionen (42,2 kWh)	248 km	2012: EU
BMW	eMini	k. A.	Li-Ionen (35 kWh)	160-250 km	Studie
	Megacity Vehicle	k. A.	k. A.	k. A.	2013
BYD	e6	31.500 €	Li-Ionen	330 km	verfügbar: China, 2010: USA, 2011: EU
Fiat	Fiat 500EV	k. A.	k. A.	k. A.	2012: USA
Citroen	C-Zero	k. A.	Li-Ionen (16 kWh)	130 km	2010: EU
CODA Automotive	CODA	45.500 €	Li-Ionen (33,8 kWh)	190 km	2011-2012: USA
Heuliez	Mia	17.800 €	Li-Ionen (6/12/18 kWh)	80-100 km	2010: D
Lightning	electric Lightning GT	220.000 €	Li-Ionen (36 kWh)	300 km	k. A.
METRO	Buddy	k. A.	Blei-Säure/NiMH/Li-Ionen	80-120 km	verfügbar: EU
Mitsubishi	i-MiEV	34.000 €	Li-Ionen (16 kWh)	110-120 km	verfügbar: Japan, Ende 2010: EU
Nissan	Leaf	27.500 €	Li-Ionen (24 kWh)	160 km	2010: Japan/USA, 2012: EU
Peugeot	iOn	k. A.	Li-Ionen	130 km	2010: EU
Phoenix	Phoenix SUV	k. A.	Li-Ionen (35 kWh)	160 km	k. A.
Pininfarina	B0	k. A.	Li-Ionen (30 kWh)	250 km	2010: EU
Renault	Fluence ZE	k. A.	Li-Ionen (22 kWh)	160 km	2011: EU
	Kangoo ZE	k. A.	Li-Ionen (15 kWh)	100-160 km	2011: EU
	Zoé	k. A.	Li-Ionen	160 km	2012: EU
smart	fortow ed	38.000 €	Li-Ionen (14 kWh)	115-135 km	2012: EU
Tesla	Modell S	38.500 €	k. A.	480 km	2011: USA
	Roadster	85.000 €	Li-Ionen (53 kWh)	350 km	verfügbar

<sup>5</sup> Die Angaben beziehen sich auf Herstellerangaben und Expertenprognosen

Hersteller	Modell	Kaufpreis	Batterietyp	Elektrische Reichweite	Verfügbarkeit
Think Global	Think City	20.000 € (exkl. Batterie)	Li-Ionen (19/26 kWh)/ZEBRA (28 kWh)	180-200 km	verfügbar: EU
TUM	Mute	k. A.	Li-Ionen (9 kWh)	100 km	2015: D
VW	E-Up!	k. A.	Li-Ionen (18 kWh)	130 km	Studie
	Golf blue-e-motion	k. A.	Li-Ionen (26,5 kWh)	150 km	2013

Zudem hält die Elektrifizierung des Antriebsstranges zunehmend auch Einzug in das Segment der Kleintransporter. So wird in Köln im Rahmen eines Pilotprojektes der Elektrotransporter Ford Transit Connect BEV getestet. In Frankreich werden dagegen bereits die ersten Fahrzeugflotten aus Elektrokleintransportern aufgebaut. Die französische Post hat nach einer Ausschreibung eine Kooperation aus PSA (Peugeot, Citroën) und dem Sportwagenhersteller Venturi zur Lieferung von 250 rein elektrisch betriebenen Kleintransportern beauftragt [43]. Geliefert wird Anfang 2010 die Elektroversion des Citroën Berlingo, der Berlingo First Electricque.

Darüber hinaus bieten auch die Hersteller Smith Electric Vehicles und Modec rein elektrische Kleintransporter an (Tabelle 5). Pilotprojekte mit entsprechenden Fahrzeugen laufen u. a. mit den Logistikdienstleistern DHL, TNT, Royal Mail und UPS. Insbesondere in der städtischen Paket- und Briefzustellung kann der Betrieb von rein elektrisch betriebenen Kleintransportern für Logistikdienstleister sinnvoll sein. Ein großer Teil der Zustellfahrten findet in dicht besiedeltem Gebiet statt. Restriktionen hinsichtlich der Reichweite und Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge im Zustelldienst haben entsprechend keine so große Relevanz.

**Tabelle 5: Übersicht Elektro-Kleintransporter (in Anlehnung an [42])**

Hersteller	Modell	Kaufpreis	Batterietyp	Elektrische Reichweite	Verfügbarkeit	Einsatzgebiet
EcoCraft	EcoCarrier	ab 25.000 €	Blei-Gel / Li-Ionen	80 km	verfügbar	City-Feinverteilung
Ford	Transit Connect BEV	k. A.	Li-Ionen (21 kWh)	130 km	2010 (USA)	City-Feinverteilung
PSA/Venturi	Berlingo First Electricque	k. A.	ZEBRA	100 km	verfügbar: EU (keine Privatkunden)	City-Feinverteilung
Modec	Modec	ab 30.000 €	ZEBRA (84 kWh)/Li-Ionen (51 kWh)	100-160 km	verfügbar	City-Feinverteilung
Smith Electric	Newton	k. A.	Li-Ionen	160 km	verfügbar	City-Feinverteilung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine große Anzahl Automobilhersteller sich in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen engagieren. Die Bemühungen konzentrieren sich dabei insbesondere auf die Entwicklung von Pkw für das Luxussegment sowie der Mini-, Klein- bzw. Kompaktklasse sowie Kleintransporter. Diese werden allerdings zunächst Verkaufspreise aufweisen, die weit über denen vergleichbarer Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor liegen. Bis 2015 ist davon auszugehen, dass sämtliche großen Automobilhersteller Elektrofahrzeuge im Programm führen werden. Elektro-Nutzfahrzeuge (LKW) werden in Serienfertigung in absehbarer Zeit nicht auf dem deutschen Markt angeboten, so dass dieses Segment für die weiteren Betrachtungen keine Rolle spielt.

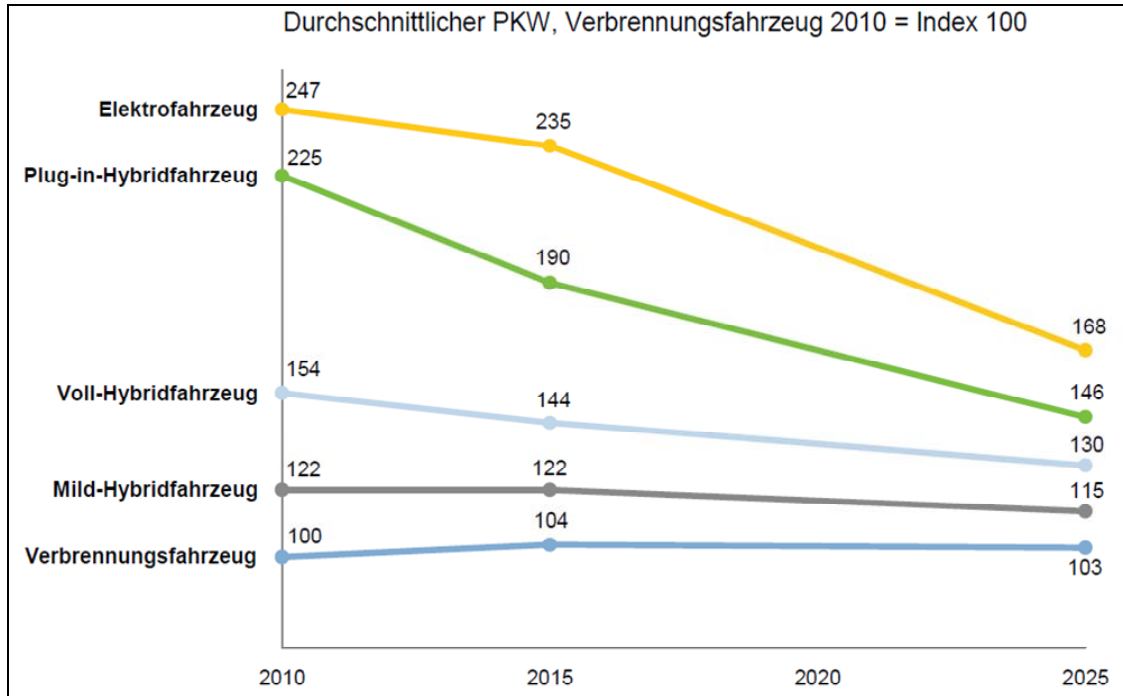
### **3.2. Die Batterie: Herzstück des Elektrofahrzeugs**

Derzeit bildet die unzureichende Energiedichte der eingesetzten bzw. verfügbaren elektrischen Energiespeicher noch ein wesentliches Hemmnis. Bei vorgegebener eingeschränkter Platzverfügbarkeit zur Unterbringung der Batterie im Fahrzeug resultiert hieraus auch eine deutlich eingeschränkte Reichweite der Elektrofahrzeuge. Die Leistungsfähigkeit des Energiespeichers ist eine der zentralen Faktoren für den Erfolg der elektrischen Mobilität über Marktnischen hinaus: „Erst durch leistungsfähige Energiespeicher mit einer hohen Energiedichte können Reichweiten und auch Performance erzielt werden, die denen von verbrennungsmotorisch angetriebenen Autos ebenbürtig sind“ [41]. Experten gehen davon aus, dass sich die Lithium-Ionen-Technologie für den Einsatz in Elektrofahrzeugen aufgrund ihrer gegenüber konkurrierenden Speichertechnologien besseren Leistungs- und Energiedichte als Technologie für den elektrischen Energiespeicher durchsetzen wird [44], [45]. Die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet steht jedoch noch vor großen Herausforderungen.

Auch das Gewicht der Batterie spielt eine wichtige Rolle: Mit zunehmenden Gewicht der Batterie nimmt auch der spezifische Verbrauch des Fahrzeugs zu, was wiederum die Reichweite verringert. Hier ein Beispiel [41]: Bei einer Reichweite von 100 km und einem typischen Kleinwagenverbrauch von ca. 10 kWh auf 100 km wiegt eine Nickel-Metallhydrid-Batterie mit 60Wh/kg gut 167 kg. Eine Lithium-Ionen-Batterie mit 180 Wh/kg und gleicher Speicherkapazität wiegt dagegen lediglich 55 kg. Es zeigt sich entsprechend, dass allein schon aufgrund des Gewichts zumindest für reine Elektrofahrzeuge bevorzugt Lithium-Ionen-Batterien in Frage kommen.

Ein weiteres Einsatzhemmnis sind die noch hohen Kosten der Elektrofahrzeuge. In einer Studie von Oliver Wyman 2009 werden diese wie nachstehend dargestellt quantifiziert. Wie Abbildung 5 zeigt, wird davon ausgegangen, dass sich die Mehrkosten, die 2010 noch für die

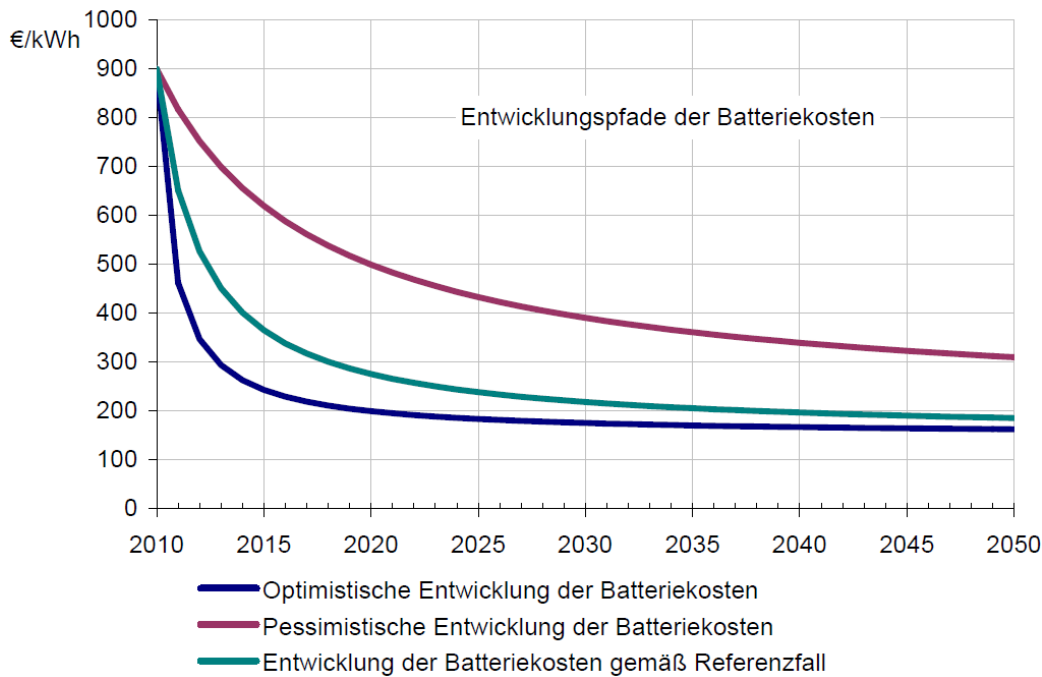
Herstellung eines Elektrofahrzeugs aufgebracht werden müssen, voraussichtlich bis 2025 von derzeit rund 150% auf ca. 70% Mehrkosten gegenüber einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor mehr als halbieren werden.



**Abbildung 5: Fahrzeugherstellkosten nach Antriebstechnologien [46]**

Maßgeblich für die hohen Fahrzeugkosten sind die Herstellkosten der Lithium-Ionen Batterien. Deren Kosten liegen heute bei ca. 750 US\$/kWh. Über die Zeit könnten die Kosten durch Skaleneffekte auf 262 US\$/kWh fallen [47]. Auf Basis eines Wechselkurses von 1,3 \$/€ ergeben sich spezifische Batteriekosten von rund 580 €/kWh (heute) bzw. ca. 200 €/kWh in 2020.

Das EWI geht in ihrer Studie „Potentiale der Elektromobilität bis 2050“ vom Juni 2010 von ähnlichen Kostendegressionen (Abbildung 6) aus.



**Abbildung 6: Batteriekostenentwicklungen im Vergleich in €/kWh (inkl. MWSt) [48]**

D. h., die Entwicklung der Batteriekosten hat einen maßgeblichen Einfluss auf die zukünftige Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Benzinern und Dieselfahrzeugen.

Für den Einsatz in Hybrid- oder Elektrofahrzeugen sind neben den Kosten weitere Eigenschaften der Speichersysteme wichtig. Dazu gehören bspw. die Zyklen- und Alterungsfestigkeit als Maß für die Lebensdauer, die Umweltverträglichkeit eingesetzter Stoffe und Materialien, Sicherheitsaspekte (Schutz vor Brand und Explosion), die Ladedauer, die Dimensionen (Abmessungen) und das Tieftemperaturverhalten [49].

Die Möglichkeit, die Speicherdichte von elektrischen Energiespeichern und damit die Reichweite von Elektrofahrzeugen deutlich zu erhöhen, wird unter Batterieexperten jedoch kontrovers diskutiert. Können Batteriematerialien zur Anwendungsreife gebracht werden, die bereits heute in Laboren demonstriert werden, so ist eine wesentliche Annäherung des Reichweitekommforts von Elektrofahrzeugen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor denkbar [50]. In jedem Fall werden noch viele Jahre an Entwicklungsarbeit notwendig sein [50]. Angerer et al. [51] gehen davon aus, dass reine Elektrofahrzeuge ohne entsprechende technologische Durchbrüche „[...] aufgrund ihrer geringen Reichweite lediglich in Nischenanwendungen wie z.B. innerhalb von Städten oder im Flottenverkehr (Postdienst) eine breite Anwendung finden werden“.

## 4. Elektrofahrzeuge: Die Nachfrageseite

Laut einer Umfrage der Münchner Unternehmensberatung Barkawi gibt es in Deutschland eine große Bereitschaft zum Kauf von Elektrofahrzeugen. Von 1200 befragten Privatpersonen können sich 85% vorstellen, beim nächsten Autokauf ein Elektrofahrzeug zu wählen [52]. Etwas vorsichtigere Prognosen betreffend der Kaufbereitschaft kommen von Roland Berger und Aral. Laut einer Umfrage von Roland Berger im März und April 2010 würden 37% der Deutschen beim nächsten Fahrzeugkauf „wahrscheinlich“ oder „sehr wahrscheinlich“ über den Kauf eines Elektromobils nachdenken, und immerhin 63% gaben an, „vielleicht“ darüber nachzudenken [53]. Laut Aral können sich mit 36% fast genauso viele Personen wie in der Roland Berger Studie vorstellen, ein Elektrofahrzeug zu erwerben, wobei sogar 70% der Befragten dem Elektroantrieb unter Umweltgesichtspunkten das größte Potential zutrauen [54]. Die Unternehmensberatung Roland Berger stellte zudem fest, dass es für circa 60% der Befragten besonders wichtig ist, dass ihr verbrauchs- und emissionsarmes Fahrzeug auch durch ein besonderes Design als ein solches zu erkennen ist. Sie möchten ihren Umstieg wahrgenommen wissen, da sie sich durch ein umweltfreundliches Fahrzeug einen Imagegewinn erhoffen.

Obwohl diese Studienergebnisse eine positive Grundhaltung gegenüber dem Thema Elektromobilität nahelegen, belegen die folgenden Zahlen, dass die meisten Interessenten nicht bereit sind für ein Elektrofahrzeug mehr zu bezahlen als für ein Auto mit Verbrennungsmotor. Im Rahmen der Barkawi-Studie zeigte sich, dass 29% der Befragten überhaupt keinen Aufpreis und gerade mal 56% Mehrkosten von bis zu 1.000 € akzeptieren würden [52]. Nach der Aral-Studie sind es sogar 62% der Befragten, die keine Mehrkosten akzeptieren würden. Und selbst innerhalb der 38% der Befragten, die bereit wären für ein Elektroauto einen höheren Anschaffungspreis zu zahlen, wäre für nur 31% der Befragten ein Aufpreis von bis zu 1.000 € akzeptabel, bei Mehrkosten von über 2.000 € wären nur noch 21% zum Kauf eines Elektrofahrzeugs bereit [54]. Am größten war die Zahlungsbereitschaft bei den Befragten der Roland Berger-Studie, bei denen 36% für ein Elektromobil nicht mehr als 2.000 € zusätzlich aufbringen wollen, aber immerhin 38% bereit wären, zwischen 2.000 - 3.000 € mehr zu zahlen [53]. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Frauen gegenüber Männern Aral zufolge zwar verhältnismäßig mehr auf Umweltverträglichkeit achten und daher eine interessante Zielgruppe für Elektromobilität wären, umgekehrt allerdings auch besonders kritisch mit wirtschaftlichen Faktoren umgehen.

Bei der geringen Akzeptanz von Aufpreisen für Elektrofahrzeuge (wie bereits in Kapitel 3.1. beschrieben) lohnt sich ein Blick auf die Diskrepanz zwischen den Preisvorstellungen der potenziellen Kunden und den zu erwartenden Marktpreisen. Roland Berger nimmt in seiner

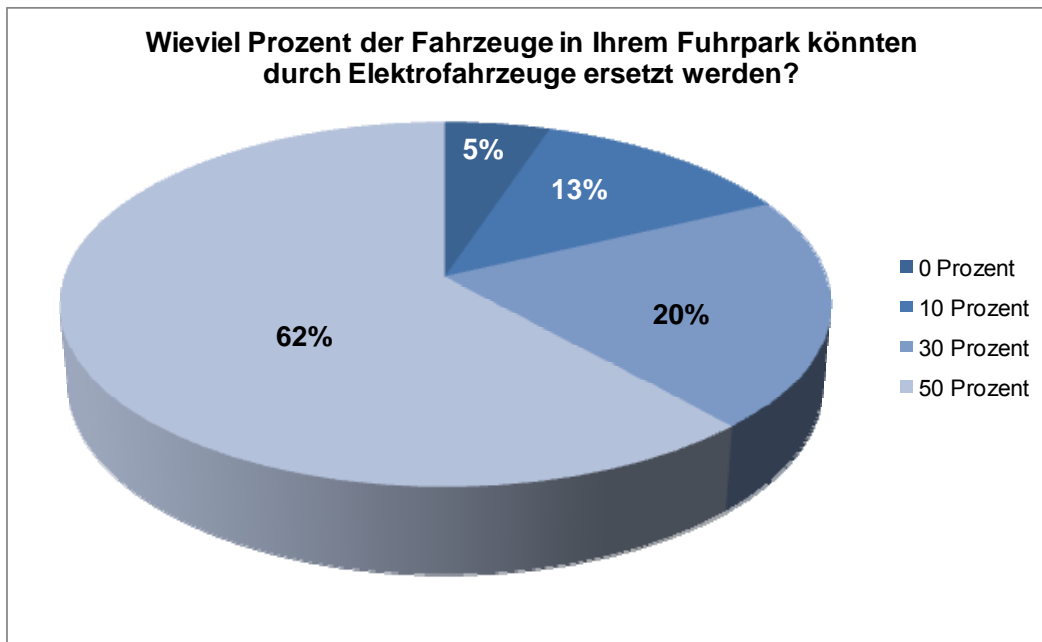
Studie für das Jahr 2010 bei Elektrofahrzeugen Zusatzkosten in Höhe von bis zu 14.000 € an. Ausgehend von einer optimistischen Preisreduzierung lägen die zusätzlichen Kosten 2020 bei immerhin noch 4.500 € [53]. Dies würde immer noch deutlich über den Mehrkosten liegen, die ein Kunde bereit wäre zu zahlen. Um das Elektromobil attraktiv zu machen, wäre nach diesen Erhebungen zufolge eine finanzielle Förderung als Anreizsystem notwendig.

Betreffend der Reichweite sind in der Aral-Studie Aussagen zu finden, die ein ähnlich heterogenes Bild wie bei den Mehrkosten wiedergeben: 71% der Befragten wünschen Mindestreichweiten von 300 km, 25% von 150 km und nur 2% würden sich mit 60 km zufrieden geben [54]. Die Auswertung der Ergebnisse aus dem Praxistest in Berlin durch die Universität Chemnitz [55] ergab hingegen, dass für mehr als 90% der Testpersonen eine Reichweite von durchschnittlich 150 km ausreichend war. Zwei Drittel der Testpersonen fühlten keine Einschränkung gegenüber einem herkömmlichen Fahrzeug. Zu Absagen von geplanten Fahrten kam es lediglich in 14% der Fälle. Dabei waren in 54% der nicht angetretenen Fahrten ein zu geringer Stauraum, bei 28% die eingeschränkte Anzahl an Plätze für Passagiere und in 14% die Reichweite des Fahrzeuges ausschlaggebend. Lediglich bei 4% der abgesagten Fahrten war die Batterie nicht ausreichend geladen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Privatkundenbereich das Thema Umweltschutz zwar eine wichtige Rolle spielt und eine generelle Bereitschaft zum Kauf von Elektrofahrzeugen vorhanden ist, jedoch Erwartungen hinsichtlich des Kaufpreises und der Reichweite von Elektrofahrzeugen mit dem aktuellen Angebot noch nicht zusammenpassen.

Der Gewerbebereich ist diesbezüglich bisher kaum untersucht worden. Laut einer Umfrage des Leasing-Unternehmens ARVAL BNP Paribas Group unter Fuhrparkmanagern in Deutschland [56] wird die Elektromobilität von 37% der Befragten als wichtig bis äußerst wichtig für den eigenen Fuhrpark eingeschätzt (Abbildung 7). Fast zwei Drittel der befragten Fuhrparkmanager (65%) denken, dass jedes zehnte Fahrzeug im betrieblichen Fuhrpark potentiell durch ein Elektrofahrzeug ersetzt werden könnte.





**Abbildung 7: Spielraum für Elektrofahrzeuge im betrieblichen Fuhrpark [in Anlehnung an [56]]**

#### **4.1. Segmentierung des Individualverkehrs am Beispiel München**

Der Begriff Marktsegmentierung wird W.R. Smith zugeschrieben, der ihn erstmals 1956 im Journal of Marketing verwendete, und kann folgendermaßen definiert werden:

„Die Marktsegmentierung beinhaltet die Aufteilung des (heterogenen) Gesamtmarktes für ein Produkt in (homogene) Teilmärkte (Segmente) und die gezielte Bearbeitung eines Segments (bzw. mehrerer Segmente) mit Hilfe segmentspezifischer Marketing-Programme.“ [57]

Ziel ist, einzelne Segmente mit jeweils unterschiedlichen Bedürfnissen voneinander zu trennen und eine Entscheidung zu fällen, welche der Segmente im Rahmen des Marketing angesprochen werden sollen bzw. welche Segmente für die Geschäftsinteressen in Frage kommen [58]. Entscheidend für das Erzielen zuverlässiger Ergebnisse sind hierbei die Kriterien, nach denen die Segmente gebildet werden. Für die praktische Anwendung sind Messbarkeit und zeitliche Stabilität besonders wichtig [57]. Es gilt, Kriterien zu finden, nach denen sich der Markt klar aufteilen lässt und die gleichzeitig leicht erfassbar sind. Da diese Anforderungen oftmals nicht eindeutig erfüllt werden können, müssen Kompromisse gefunden werden, die gewisse, unvermeidbare Unschärfen beinhalten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Segmentierung in zweierlei Hinsicht vorgenommen. Zunächst wurde eruiert, wie der Fahrzeugmarkt (Angebotsseite) üblicherweise segmentiert

wird. Gespiegelt am Individualverkehr Münchens ergeben sich daraus die jeweiligen Bestandszahlen an Fahrzeugen in den einzelnen zugrunde gelegten Fahrzeugsegmenten. Zum Zweiten wurde der Frage nachgegangen, welche Anforderungen und Ansprüche die Nutzer an Fahrzeuge stellen (Nachfrageseite). Hieraus ergeben sich dann Nutzergruppen mit vergleichbaren Nutzerprofilen, die wiederum zu Nutzersegmenten zusammengefasst werden können.

#### 4.1.1. Fahrzeugbezogene Segmentierung

Entsprechend den Schlussfolgerungen in Kapitel 3 kann die Marktsegmentierung auf den Bereich der Pkw konzentriert werden, da für den Bereich der Nutzfahrzeuge (LKW) absehbar kein Elektrofahrzeugangebot existieren wird und somit auch kein Potential ermittelt werden kann. Zur Segmentierung des Pkw-Marktes ist es sinnvoll, die beim Kraftfahrtbundesamt seit 2003 gängige Einteilung in elf Fahrzeugsegmente bzw. -klassen (Abbildung 8), nachfolgend als KBA-Segmente bezeichnet, zu verwenden [59].

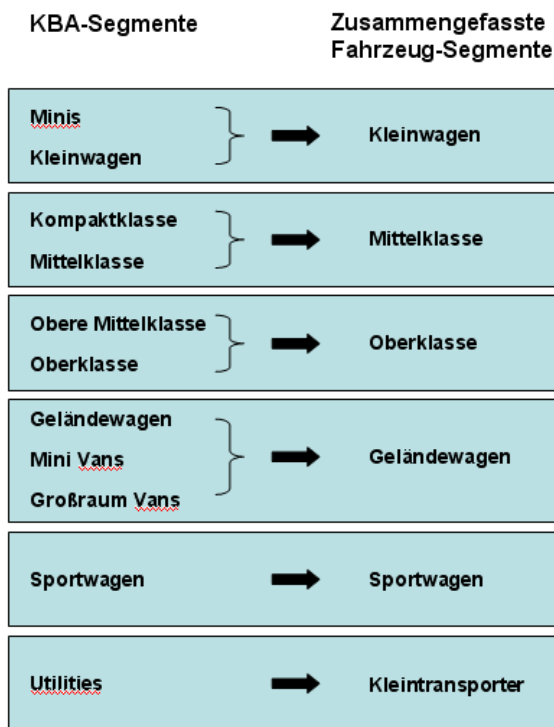
In München werden die Neuzulassungen allerdings erst seit 2006 nach dieser Einteilung erfasst. Für den Restbestand an Fahrzeugen wurde eine indirekte Einteilung in die KBA-Segmente über technische Parameter vorgenommen (Tabelle 6). Als passend für eine entsprechende Einteilung haben sich die Außenmaße der Fahrzeuge erwiesen. Diese Größen variieren innerhalb der Fahrzeugsegmente relativ gering. So konnten die in München zugelassenen Fahrzeuge über die Kombination von Höhe und Länge mit einer über 90%-igen Genauigkeit den KBA-Segmenten zugeordnet werden.

**Tabelle 6: Verwendete Bandbreiten technischer Parameter zur Zuordnung von Fahrzeugen in einzelne Fahrzeugsegmente**

Segmente	Länge in mm	Höhe in mm
Minis	0 – 3620	1359 – 1574
Kleinwagen	3621 – 4150	1359 – 1574
Kompaktklasse	4151 – 4516	1359 – 1574
Mittelklasse	4517 – 4840	1359 – 1574
Oberklasse	>= 4841	1359 – 1574
Sportwagen	-	0 – 1358
Geländewagen	-	1575 – 1800
Kleintransporter	-	>= 1801

Da Fahrzeuge bestimmter Segmente ähnliche Eigenschaften hinsichtlich Platzangebot, Leistung usw. aufweisen bzw. einzelne Segmente lediglich Marktnischen bedienen, erwies es sich zudem als zweckmäßig, bestimmte Segmente zusammenzufassen (Abbildung 8). Zu einer Gruppe mit dem Überbegriff Kleinwagen wurden die Segmente Minis und Kleinwagen zu der Gruppe Kleinwagen sowie die Segmente Kompaktklasse und Mittelklasse zur Gruppe

Mittelklasse zusammengefasst. Hinter der Gruppe Geländewagen verbergen sich die Segmente Mini-Vans, Großraum-Vans und Geländewagen. Ferner wurde die obere Mittelklasse der Oberklasse zugerechnet und das KBA-Segment „Utilities“ in Kleintransporter umbenannt.



**Abbildung 8: KBA-Segmente und verwendete Fahrzeugsegmente**

Nach Daten des Statistischen Amtes München sind in München knapp 600.000 Fahrzeuge gemeldet. Von dieser Gesamtzahl waren nur 5% nicht nach den hier verwendeten Kriterien auswertbar, da bei diesen Fahrzeugen Angaben über Höhe und Länge fehlten und diese somit keinem Segment zugeordnet werden konnten. Unter der Annahme, dass die Verteilung der nicht zugeordneten Fahrzeuge der Verteilung in der Gesamtgruppe entspricht, wurden diese den einzelnen KBA-Segmenten proportional zur Gesamtverteilung zugeordnet.

Das daraus resultierende Ergebnis zur Aufteilung des PKW-Bestands in München ist in Tabelle 7 dargestellt: Die gute ökonomische Lage Münchens spiegelt sich im Fahrzeugbestand durch einem im Bundesvergleich hohen Anteil an Geländewagen wieder, die in der Gesamtbetrachtung mit 13% aller Fahrzeuge das viertgrößte Segment bilden, gleich nach den Massensegmenten Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse.

**Tabelle 7: Pkw-Bestand in München nach Haltertypen und Fahrzeugsegmenten (eigene Darstellung in Anlehnung an Stat. Amt 2010)**

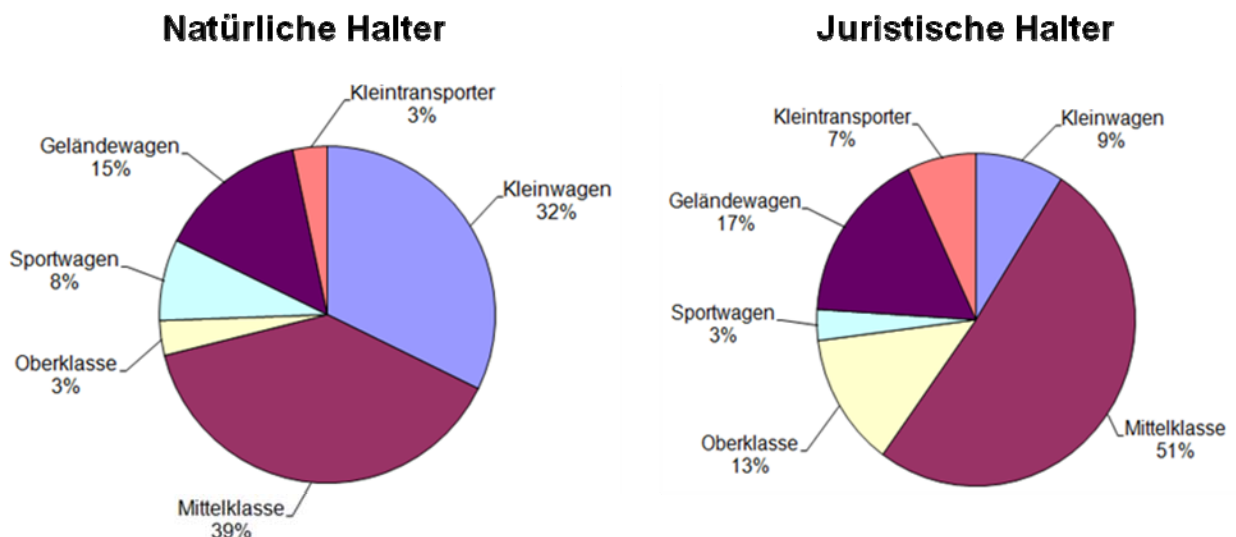
**Pkw-Bestand natürlicher Halter**

	Pkw-Bestand	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	Geländewagen	Kleintransporter
Anzahl Pkw	475.876	138.400	210.670	15.860	33.085	61.985	15.877
Kraftstoff							
Benzin + Rest	360.664	126.716	150.729	8.753	32.900	36.311	5.255
Diesel	115.212	11.684	59.940	7.107	185	25.674	10.622

**Pkw-Bestand juristischer Halter**

	Pkw-Bestand	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	Geländewagen	Kleintransporter
Anzahl Pkw	120.864	11.022	61.574	15.402	3.739	20.771	8.356
Kraftstoff							
Benzin + Rest	40.599	8.321	17.732	4.580	3.646	4.834	1.486
Diesel	80.265	2.700	43.842	10.822	93	15.937	6.870

Bei Betrachtung der Halter der Pkw sind diese zu 80% natürliche Personen und zu 20% juristische Personen. Beide Haltergruppen bevorzugen unterschiedliche Fahrzeugsegmente, wobei die vier Segmente mit den meistverkauften Fahrzeugen in beiden Gruppen jeweils gut 80% des Gesamtbestandes ausmachen (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Aufteilung Pkw-Bestand München nach Fahrzeugsegmenten und Haltern**

Das meistverkaufte Segment ist bei den natürlichen Haltern mit rund 44% die Mittelklasse, gleich darauf folgen mit etwa 29% die Kleinwagen. Auf dem dritten und vierten Platz finden

sich die Segmente Geländewagen (ca. 13%) und Sportwagen (rund 7%). Das Schlusslicht bilden die Kleintransporter (ca. 3%).

Bei den juristischen Personen steht die Mittelklasse mit etwas mehr als 50% aller Fahrzeuge eindeutig auf Platz eins, gefolgt von den Geländewagen (ca. 17%) und der Oberklasse (knapp 13%). Die restlichen Fahrzeugsegmente (Kleintransporter und Sportwagen) bilden zusammen ca. 20% aller Fahrzeuge.

#### **4.1.2. Nutzerbezogene Segmentierung**

Im Rahmen der nutzerbezogenen Analyse wird der Frage nachgegangen, nach welchen Kriterien die jeweiligen Pkw-Nutzer in Segmente eingeteilt werden können. Hinter den Segmenten stehen letztendlich Kundengruppen, die vergleichbare Bedürfnisse und Anforderungen an Fahrzeuge haben. Sie sind in der Regel nur bereit Geld auszugeben, wenn die Leistung ihren Anforderungen entspricht, wobei vor allem im Privatkundenbereich der wahrgenommene Nutzen dabei höchst subjektiv bewertet wird [60]. Es gilt also, Verbrauchergruppen mit möglichst homogener Bedürfnisstruktur zu ermitteln und aus ihnen weitgehend verhaltenshomogene Gruppen zu bilden. Hierbei wurde zunächst in natürliche und juristische Halter unterteilt.

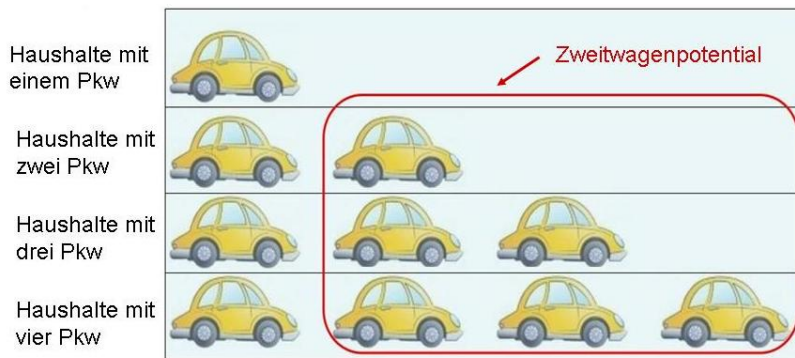
##### **4.1.2.1. Natürliche Halter**

In den 60er Jahren wurden mit Hilfe psychologischer Variablen Käufer-Typologien gebildet. Die typologische Betrachtung unterteilt beispielsweise in verschiedene Lebensstile, welche z. B. die Fahrzeugwahl beeinflussen. Eine Beschreibungsform war die sogenannte Lifestyle-Typologie, die jedoch seit 1991 kaum mehr weiter verfolgt wird. Als eine Weiterentwicklung wurde die Theorie der Sinus-Milieus gesehen, die die Gesellschaft in 10 Gruppen einteilt, wobei sich diese nach Schicht und Werteorientierung unterscheiden [57]. Bei den Sinus-Milieus wird laut Pepels davon ausgegangen, dass die Rolle des Individuums durch seine soziale Position definiert ist [60]. Auch Gaus schreibt den Lebensstilansätzen besonderen Wert für die empirische Untersuchung zu, da die soziale Lage kurzfristig kaum veränderbar ist und zu den „harten“ Faktoren gerechnet werden kann [61]. Canzler hingegen zählt die Sinus-Milieus nicht zu den analytischen Ansätzen, da in der heutigen heterogenen Gesellschaft die Grenzen zwischen den Lebensstilen zunehmend verschwimmen und sich die daraus herleitbaren Mobilitätsstile kaum noch unterscheiden [62]. Zudem ergeben sich in der praktischen Anwendung der Sinus-Milieus Schwierigkeiten, da eine Aufteilung nach Lebensstilen sehr aufwändig und nur durch enorm viele Annahmen zu bewerkstelligen ist. Daher wird heutzutage auch häufig wieder ein klassischer Ansatz verwendet, der im folgenden näher beschrieben wird.

Allgemein zählen zu den klassischen Kriterien der Marktsegmentierung je nach Zielsetzung soziodemografische, psychografische, regionale, politische oder technische Kriterien. Diese Daten „bestimmen in erster Linie die Stellung der Personen im Lebenszyklus (und) Haushalt (...)“ [63]. Unter den klassischen Kriterien haben die soziodemografischen bzw. sozio-ökonomischen Faktoren besonders große Bedeutung, da sie einfach und zuverlässig erfassbar sind. Zudem lässt sich durch Aussagen über beispielsweise Alter, Beruf, Ausbildung und Einkommen bereits indirekt die soziale Schicht abbilden, wobei hier die Grenzen zu den Lebensstilmodellen zu verschwimmen beginnen. Praktische Anwendungen der klassischen Kriterien sind in den Studien „Zuhause in Deutschland 2009“ des Statistischen Bundesamtes [64] und „Mobilität in Städten – SrV 2008“ der TU Dresden [65], die vom BMVBS in Auftrag gegeben wurde, zu finden. Nach Untersuchung und Vergleich der aus den Studien gewonnenen Daten und einer eingehenden Recherche zum Vorgehen anderer Untersuchungen mit ähnlicher Fragestellung [66] ist es sinnvoll, das Verkehrsverhalten gleicher Einheiten, im vorliegenden Fall „Haushalte“, zu untersuchen. D. h., als zentrales Segmentierungskriterium wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Unterteilung nach Haushaltstypen verwendet.

In Anlehnung an die Studie Mobilität in Deutschland 2008 [67] wurde eine Unterteilung nach fünf Haushaltstypen vorgenommen. Zu diesen gehören (1) Einpersonenhaushalte, aufgeteilt in arbeitende Personen und alleinstehende Rentner, (2) Zweipersonenhaushalte, ebenfalls aufgeteilt in arbeitende Personen und Rentnerhaushalte, (3) Haushalte mit mindestens drei Erwachsenen, zu denen auch volljährige Kinder zählen, (4) Haushalte mit Klein- bzw. Schulkindern und (5) Haushalte von Alleinerziehenden.

Bei den einzelnen Haushaltstypen wurde ferner nach der Verfügbarkeit von Erst- und Zweitwagen differenziert. Diese Differenzierung (Abbildung 10) basiert auf der Annahme, dass Elektrofahrzeuge auf Grund der Stellung im Produktlebenszyklus technisch noch nicht vollkommen ausgereift sind (derzeit noch erhebliche Reichweiteinschränkungen, z. T. eingeschränkte Platzverfügbarkeit) und daher zur Erfüllung der Mobilitätsbedürfnisse (z. B. Urlaubsfahrten, Erledigung Großeinkäufe) kurz- bis mittelfristig immer noch ein Erstfahrzeug notwendig ist. Zudem hat das Fraunhofer Institut Lebenszyklus-Analysen für die Jahre 2015 und 2030 erstellt, nach denen bei kleinen Pkw, wie etwa Zweitwagen für Berufspendler, reine Batteriefahrzeuge gegenüber den anderen alternativen Antriebssystemen signifikante Vorteile aufweisen [68]. Im Weiteren wird ausschließlich der Begriff „Zweitwagen“ verwendet. Gemeint sind damit ebenso Dritt- oder Viertwagen etc., wobei immer das größte Fahrzeug als Erstwagen definiert ist (Abbildung 10).



**Abbildung 10: Definiertes Zweitwagenpotential [69]**

D. h., für den kurz- bis mittelfristigen Betrachtungszeitraum der Markteinführungsphase (bis 2020) liegt der Fokus der Potentialanalyse auf den Haushalten mit mehr als einem Pkw. Dabei fungieren die Haushalte mit mehreren Fahrzeugen wie eine Art Mini-Fahrzeugpool, in dem man sich mehrere Pkw teilt und je nach Bedarf entscheidet, welches Fahrzeug genutzt wird. Die gemeinsame Nutzung mehrerer Fahrzeuge im Haushaltsverband kann als Vorstufe des Car-Sharing gesehen werden, welches für die meisten Fahrzeugbesitzer in der Stadt ohnehin die ökonomisch sinnvollere Variante zum privaten Kfz darstellt. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum der Marktetablierungsphase (langfristig, d. h. ab 2020) wird ein fortgeschrittener Produktlebenszyklus, d.h., ohne Nutzereinschränkungen bei den Elektrofahrzeugen im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen unterstellt. Ab diesem Zeitraum werden dann auch die Erstfahrzeuge in die Elektrofahrzeug-Potentialerhebung mit einbezogen.

Für die Berechnung des Zweitwagen-Potentials wurden Angaben des Statistischen Amtes München über die Anzahl der jeweiligen Haushalte in München verwendet. Diese Zahlen wurden dem Datensatz zur Ausstattung der einzelnen Haushaltstypen mit Pkw nach Angaben der LHM gegenübergestellt, um so die Anzahl an Zweitwagen zu berechnen. Im Ergebnis (Tabelle 8) ergibt sich für München eine Gesamtzahl von 159.353 Zweitfahrzeugen. Der größte Anteil an Zweitwagen findet sich bei den Haushalten mit mindestens drei Erwachsenen: 44% aller Fahrzeuge in dieser Gruppe sind Zweitwagen. Danach kommen die Haushalte mit Schulkindern mit einem Zweitwagenanteil von 34%, gefolgt von den Haushalten mit Kleinkindern (30%) und den Zweipersonenhaushalten (Arbeitende: 27%, Rentner: 21%). Einpersonenhaushalte haben, genau wie Alleinerziehende, erwartungsgemäß keinen relevanten Zweitwagenanteil.

**Tabelle 8: Zweitwagenpotential je Fahrzeugsegment und dessen Hochrechnung auf den Fahrzeugbestand München**

Haushaltstyp	Einpersonenhaushalte		Zweipersonenhaushalte		HH mit mind. 3 Erwachsenen	HH mit mind. 2 Erwachsenen und min. 1 Kind		Alleinerziehenden-HH	Summe
	Alleinlebende	Alleinstehende Rentner	Erwachsenenhaushalte mit 2 Personen	Rentnerhaushalte		HH mit Kleinkindern	HH mit Schulkindern		
Zweitwagenanteil	5%	0%	27%	21%	44%	30%	34%	7%	
Anzahl Haushalte	293.815	102.704	113.865	67.607	55.434	58.979	65.580	26.020	784.004
Fahrzeuge pro Haushaltsgruppe	185.103	49.298	134.361	77.072	96.455	73.724	91.812	18.474	726.299
Anzahl Zweitwagen	8.814	0	36.437	16.226	42.684	22.412	31.478	1.301	159.353
<b>Verteilt auf Fahrzeugtypen</b>									
Minis	748	0	3.093	1.377	3.623	1.903	2.672	110	13.527
Kleinwagen	3.373	0	13.945	6.210	16.336	8.578	12.047	498	60.987
Kompaktklasse	3.707	0	15.326	6.825	17.953	9.427	13.240	547	67.025
Sportwagen	985	0	4.073	1.814	4.771	2.505	3.519	145	17.813

Dabei verfügen die Haushalten mit mindestens drei Erwachsenen nicht nur relativ, sondern auch absolut gesehen über die meisten Zweitwagen (42.684 Pkw), gefolgt von den Zweipersonenhaushalten Arbeitender (36.437 Pkw), die auf Grund der hohen Anzahl an Haushalten in dieser Gruppe auf eine höhere Gesamtzahl kommen als die Haushalte mit Schulkindern, die insgesamt über 31.478 Pkw verfügen.

Da das Erstfahrzeug definitionsgemäß das größere Fahrzeug ist, wurde die Gesamtzahl der Zweitfahrzeuge auf die Fahrzeugklassen Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse und Sportwagen aufgeteilt, wobei hier die prozentuale Verteilung zugrunde gelegt wurde, die auch dem Gesamtbestand dieser Gruppe zugrunde liegt.

#### **4.1.2.2. Juristische Halter**

Eine Beschreibung der Anforderungen gewerblicher Halter an Fahrzeuge auf Basis statistischer Erhebungen war nicht möglich, da hierfür die Datenbasis fehlt. Weder das Statistische Bundesamt noch das Bundesamt für Güterverkehr konnten diesbezüglich Aussagen treffen, die über die sehr generellen Ergebnisse der Studie Kraftverkehr in Deutschland 2002 (KiD 2002) hinausgehen. Auch der Kfz-Zulassungsstelle und dem Kreisverwaltungsreferat München liegen keine entsprechenden Daten vor. Diverse Erhebungen gaben zwar Aufschluss über die Anzahl von Fahrzeugen bei Firmen, ermöglichten jedoch keinen weiteren Aufschluss über das Fahrverhalten noch über die eingesetzten Fahrzeugtypen.

Vor diesem Hintergrund wurde zur Erfassung des Nutzerverhaltens der juristischen Halter und deren Fahrzeugausstattung eine empirische Untersuchung unter Einbindung der



Dienstleistungsgesellschaft MCT Diana Koll KG (MCT) durchgeführt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: In München gibt es um die 3500 Branchen, von denen nach Recherchen und Erfahrungen der MCT circa 100 Branchen Fahrzeuge angemeldet haben. In diesen 100 Branchen sind in München insgesamt über 20.000 Firmen tätig. Auf Grund der großen Firmenanzahl wäre eine Vollerhebung zum Fahrverhalten und der eingesetzten Fahrzeuge nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich. Daher wurde entschieden, eine Erhebung nach dem Zufallsstichproben-Verfahren durchzuführen, um auf dieser Basis eine Hochrechnung auf die Grundgesamtheit (20.000 Firmen) vornehmen zu können.

Die Durchführung des Zufallsstichproben-Verfahren kann methodisch auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine gängige Variante ist das Importance Sampling, wie es bei der Polizei im Rahmen der Geschwindigkeitsüberwachung üblich ist. Hierbei werden nur die Straßen betrachtet, bei denen es am wahrscheinlichsten ist, dass es dort zu vielen Geschwindigkeitsübertretungen kommt. Übersetzt auf den vorliegenden Fall würden nur Branchen betrachtet, in denen ein hohes Potential für Elektrofahrzeuge vermutet wird. Diese Variante kam hier jedoch nicht in Frage, da so keine Hochrechnung auf die Gesamtheit der Unternehmen möglich ist. Eine andere Möglichkeit ist die Klumpenauswahl (häufig Cluster-Auswahl genannt), bei der die Grundgesamtheit in Klumpen unterteilt und dann nach der zufälligen Auswahl eines Klumpens dieser zu 100% befragt wird. Auch diese Möglichkeit war nicht anwendbar, da die Klumpen, hier die Branchen, teilweise aus mehreren hundert bis tausend Firmen bestehen und damit zu groß sind, um sie zu 100% zu befragen. Auch wäre eine Hochrechnung auf die Grundgesamtheit aufgrund der bereits zuvor erwähnten Heterogenität der Branchen auch hier nicht möglich. Beim geschichteten Auswahlverfahren wird jeweils ein bestimmter Prozentsatz, zum Beispiel 10% je Gruppe (Branche) zufällig ausgewählt und befragt [70].

Bei Betriebsbefragungen auf kommunaler Ebene sind, laut KiD 2002, zweistufige Stichprobenverfahren üblich, welche eine Kombination aus Klumpen- und geschichteter Stichprobe darstellen [71]. Hierbei wird die Grundgesamtheit zunächst in Gruppen (Klumpen) zusammengefasst, dann aber aus diesen in einer zweiten Stufe keine Vollerhebung durchgeführt, sondern nur jeweils eine bestimmte Stichprobe der Merkmalsträger gezogen [72]. Dieses Verfahren wurde auch für die hier vorliegende Fragestellung angewendet.

Bei der Auswahl der Stichprobe aus dem jeweiligen Klumpen wurde das sogenannte systematische, zufallsähnliche Auswahlverfahren angewendet. Dabei wird beispielsweise jeder 13. Posten einer Liste befragt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Parameter keinen Einfluss auf das Ergebnis haben und keine Korrelation besteht [70].

Konkret wurden im ersten Schritt die 100 in Frage kommenden Branchen in folgende fünf Gruppen unterteilt (Abbildung 11): Gütertransport, Personentransport, Sozialdienste, Handwerker und sonstige Dienstleister.



**Abbildung 11: Verwendete Branchengruppen**

Der Stichprobenumfang der empirischen Untersuchung wurde auf insgesamt 300 Einzelerhebungen festgelegt. Die Anzahl der Erhebungen pro Branchengruppe entsprach einer proportionalen Verteilung der Firmen in dieser Branchengruppe zur Gesamtheit aller Firmen, ohne hierbei den aus statistischer Sicht benötigten Mindestumfang einer Auswahlstichprobe zu unterschreiten. Dieser richtet sich nach den üblichen Tabellen zum notwendigen Stichprobenumfang für verteilungsunabhängige Toleranzgrenzen, wie sie beispielsweise bei Lothar Sachs [73] zu finden sind. Die konkreten Adressen der Stichprobe wurden von einem Adressverlag zugekauft und von diesem quasi-zufällig ausgewählt.

Basis für die Befragung bildete ein speziell konzipierter Fragebogen, anhand dessen die notwendigen Informationen zum Fuhrpark und zum Fahrverhalten der Firmen festgehalten wurden. Beauftragt mit der Durchführung der Befragung wurde die Beratungsfirma MCT Diana Koll KG die sich seit 1996 intensiv mit dem gewerblichen Markt für Erdgasfahrzeuge befasst (deren Fragestellungen zu einem großen Teil vergleichbar sind mit denen der Elektromobilität) und über viel branchentypische Erfahrung im Bereich alternativer Antriebstechniken verfügt.

Die Befragung konzentrierte sich zudem auf kleinere bis mittlere Unternehmen. Hintergrund ist, dass große Unternehmen ihre Fahrzeugflotte sehr heterogen einsetzen, so dass keine

validen Aussagen zu einem typischen Nutzerverhalten zu erwarten sind. Zudem kann eine Hochrechnung der Erhebung auf den Gesamtbestand an Fahrzeugen pro Branchengruppe nur vorgenommen werden, wenn die Unternehmen pro Branchengruppe einigermaßen vergleichbar, d. h. ähnlich groß sind. Ansonsten würde die hohe Anzahl an Fahrzeugen eines befragten Großunternehmens die Hochrechnung unverhältnismäßig in die Höhe treiben.

D. h., methodisch wurde so vorgegangen, dass über die Erhebung zunächst der Bestand an Fahrzeugen bei den kleineren bis mittleren Unternehmen erfasst und hochgerechnet wurde. Ausgehend vom Gesamtbestand gemeldeter Fahrzeuge juristischer Halter abzüglich der hochgerechneten Anzahl der Fahrzeuge kleinerer/mittlerer Unternehmen lässt sich so der Anteil der Fahrzeuge der Großunternehmen ermitteln.

#### Ergebnisse aus der Befragung zum Fahrzeugbestand bei kleineren/mittleren Unternehmen

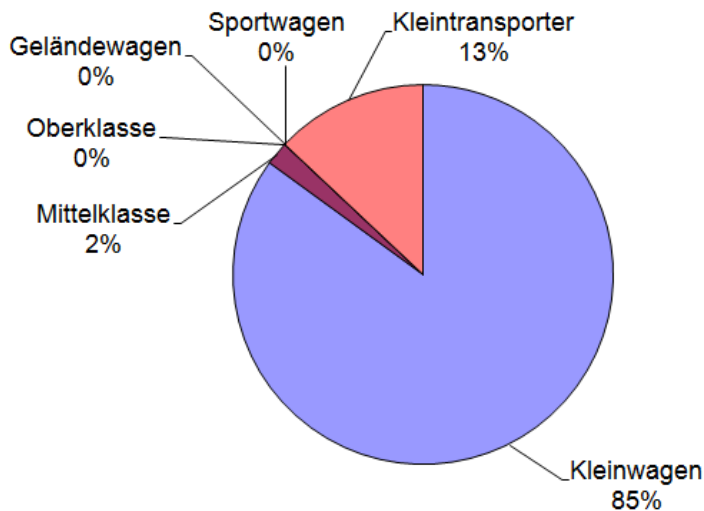
Als Ergebnis der Befragung (Tabelle 9) sind die meisten Gewerbe-Fahrzeuge in der Gruppe der sonstigen Dienstleister (44%) zu finden. 18% des Gesamtfahrzeugbestands gehört zu den Sozialdiensten, 16% zur Gruppe Personentransport, 15% zur Gruppe Gütertransport und 7% zur Gruppe der Handwerker.

**Tabelle 9: Ergebnisse aus der Befragung zum Pkw-Bestand juristischer Halter (kleine und mittlere Unternehmen), in Anlehnung an [74]**

	<b>Pkw-Bestand</b>	<b>Kleinwagen</b>	<b>Mittelklasse</b>	<b>Oberklasse</b>	<b>Sportwagen</b>	<b>Geländewagen</b>	<b>Kleintransporter</b>
<b>Sozialdienste</b>	2.057	1.713	51	10	0	10	273
<b>Gütertransport</b>	13.924	2.375	4.177	983	573	410	5.406
<b>Personentransport</b>	2.324	90	1.374	706	0	141	13
<b>Handwerker</b>	6.942	82	408	0	0	245	6.207
<b>sonstige Dienstleister</b>	42.635	14.459	12.404	2.793	246	2.875	9.858
<b>Summe</b>	67.882	18.719	18.414	4.492	819	3.681	21.757

Im Einzelnen lässt sich die Zusammensetzung des Fahrzeugbestands in den einzelnen Branchengruppen und deren Fahrverhalten wie folgt beschreiben:

Die Branchengruppe Sozialdienste setzt sich aus vier Branchen mit insgesamt 304 Firmen zusammen. Der Fahrzeugbestand (insgesamt 2.057 PKW) mit überwiegend benzinbetriebenen Fahrzeugen (79%) ist gekennzeichnet durch die Gruppe der Kleinwagen, die mehr als 80% des Bestands ausmacht (Abbildung 12), gefolgt von den Kleintransportern (13%). Der Anteil der verbleibenden Fahrzeugsegmente ist verschwindend gering.



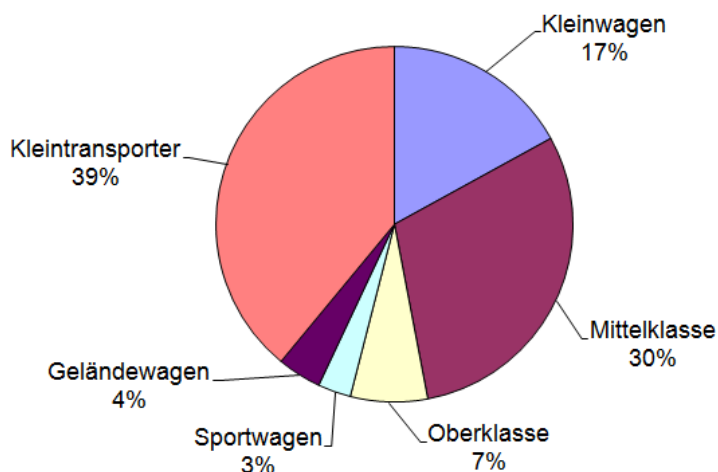
**Abbildung 12: Pkw-Bestand nach Fahrzeugsegmenten in den Branchengruppe Sozialdienste**

Die Gruppe der Sozialdienste weist ein recht homogenes Mobilitätsverhalten auf, das sich folgendermaßen beschreiben lässt (Tabelle 10): In der Regel werden die Fahrzeuge in München und in den angrenzenden Gemeinden eingesetzt. Die Fahrzeuge werden nahezu ausschließlich für dienstliche Fahrten genutzt. Die jährliche Fahrleistung liegt zu über 90% unter 30.000 km/a. Zudem verfügen die Fahrzeuge fast vollständig über einen festen Stellplatz, an den das Fahrzeug zurückkehrt. Die durchschnittliche Jahresfahrleistung der Fahrzeuge beträgt rund 18.000 km/a. Im Einsatz sind die Fahrzeuge sowohl wochentags als auch am Wochenende.

**Tabelle 10: Fahrverhalten in der Branchengruppe Sozialdienste**

Mobilitäts-Charakteristiken Sozialdienste	
79%	Benzinfahrzeuge
93%	Jahresfahrleistung bis zu 30.000 km/a
95%	Einsatzgebiet München und Einzugsgebiet
95%	verfügen sicher oder teilweise über festen Stellplatz
97%	Fahrzeuge werden ausschließlich gewerblich genutzt
Ø	Jahresfahrleistung 18.251 km/a
Ø	Fahrzeugnutzung an 365 d/a

Die Branchengruppe Gütertransport setzt sich aus 29 Branchen mit insgesamt 5078 Firmen zusammen. Der Fahrzeugbestand (insgesamt 13.924 PKW) besteht zu mehr als  $\frac{3}{4}$  aus dieselbetriebenen Fahrzeugen, es dominieren drei Fahrzeugsegmente (Tabelle 11, Abbildung 13): Die größte Gruppe bilden die Kleintransporter (39%), gefolgt von der Mittelklasse (30%) und den Kleinwagen (17%). Die restlichen Fahrzeugsegmente haben jeweils einen mittleren einstelligen Prozentanteil am Gesamtbestand.



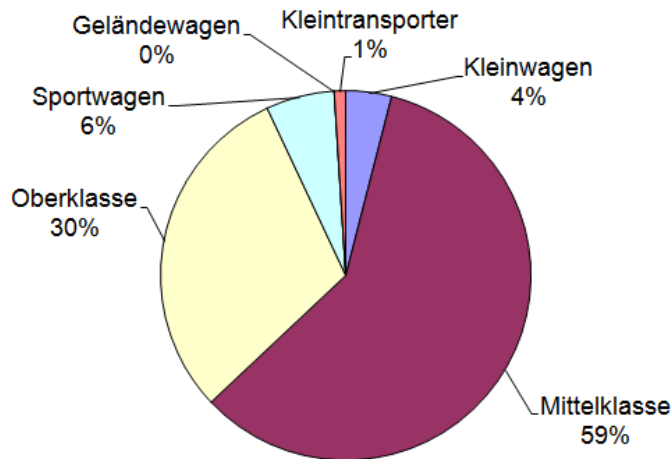
**Abbildung 13: Pkw-Bestand nach Fahrzeugsegmenten in der Branchengruppe Gütertransport**

Das Fahrverhalten im Gütertransport lässt sich folgendermaßen beschreiben (Tabelle 11): Knapp über die Hälfte der Fahrzeuge werden regelmäßig auch außerhalb der Münchner Umlandgemeinden eingesetzt. In der Regel dienen die Fahrzeuge zur Erfüllung dienstlicher Zwecke. Knapp 90% der Fahrzeuge haben eine jährliche Fahrleistung unter 40.000 km/a. Die durchschnittliche jährliche Kilometerleistung liegt bei rund 27.000 km/a. Genutzt werden die Fahrzeuge wochentags einschließlich Samstags. Zu rund  $\frac{3}{4}$  verfügen die Fahrzeuge über einen festen Stellplatz.

**Tabelle 11: Fahrverhalten in der Branchengruppe Gütertransport**

Mobilitäts-Charakteristiken Gütertransport	
78%	Dieselfahrzeuge
88%	Jahresfahrleistung bis zu 40.000 km/a
52%	Einsatzgebiet auch außerhalb Einzugsgebiet München
74%	verfügen sicher oder teilweise über festen Stellplatz
89%	Fahrzeuge werden ausschließlich gewerblich genutzt
Ø	Jahresfahrleistung 26.942 km/a
Ø	Fahrzeugnutzung an 312 d/a

Die Branchengruppe Personentransport setzt sich aus drei Branchen mit insgesamt 398 Firmen zusammen. Der Fahrzeugbestand (insgesamt 2.324 PKW) mit 90% dieselbetriebenen Fahrzeugen setzt sich quasi aus drei Fahrzeugsegmenten zusammen (Tabelle 12, Abbildung 14): Die größte Gruppe bilden Fahrzeuge der Mittelklasse (59%), gefolgt von Fahrzeugen der Oberklasse (30%). Die restlichen Fahrzeugsegmente kommen auf einen Anteil von insgesamt 11%.



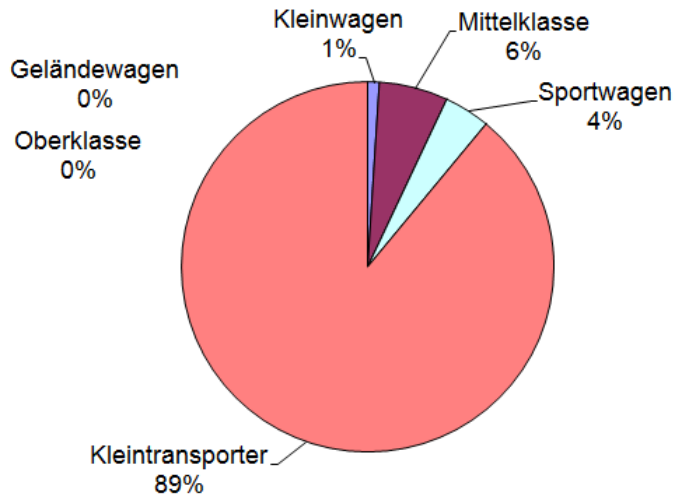
**Abbildung 14: Pkw-Bestand nach Fahrzeugsegmenten in der Branchengruppe Personentransport**

Das Fahrverhalten im Personentransport (Tabelle 12) ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet: Das Einsatzgebiet der Fahrzeuge ist zu 91% München und Münchner Umland. Nahezu alle Fahrzeuge werden ausschließlich für dienstliche Fahrten genutzt. 95% der Fahrzeuge haben eine jährliche Fahrleistung von über 40.000 km/a. Im Durchschnitt beträgt die Jahreskilometerleistung ca. 44.000 km/a. Die Fahrzeuge befinden sich in der Regel durchgängig (wochentags und am Wochenende) im Einsatz. Zudem verfügt gut die Hälfte der Fahrzeuge sicher oder zumindest teilweise über einen festen Stellplatz, an den das Fahrzeug zurückkehrt.

**Tabelle 12: Fahrverhalten in der Branchengruppe Personentransport**

Mobilitäts-Charakteristiken Personentransport	
90%	Dieselfahrzeuge
95%	Jahresfahrleistung über 40.000 km/a
91%	Einsatzgebiet München und Einzugsgebiet
53%	verfügen sicher oder teilweise über festen Stellplatz
98%	Fahrzeuge werden ausschließlich gewerblich genutzt
Ø	Jahresfahrleistung 43.577 km/a
Ø	Fahrzeugnutzung an 365 d/a

Die Branchengruppe Handwerker setzt sich aus 24 Branchen mit insgesamt 2.450 Firmen zusammen. Bei dieser Gruppe mit überwiegend Dieselfahrzeugen wird der Fahrzeugbestand (insgesamt 6.942 PKW) von dem Fahrzeugsegment Kleintransporter dominiert (Tabelle 13, Abbildung 15): Die restlichen 11% setzen sich aus Mittel-, Sport- und Kleinwagen zusammen.



**Abbildung 15: Pkw-Bestand nach Fahrzeugsegmenten in der Branchengruppe Handwerker**

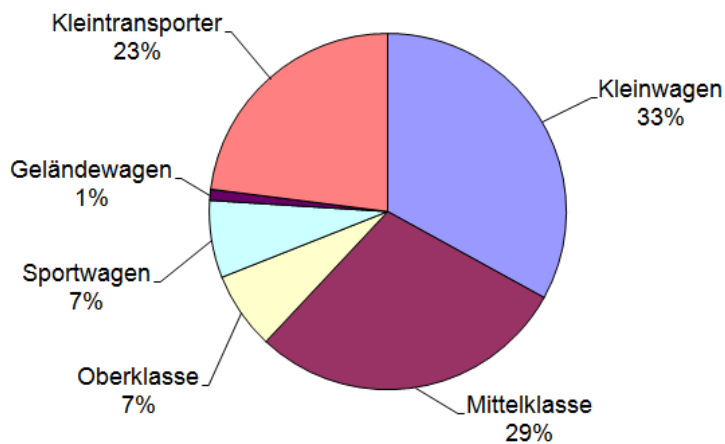
Für den Handwerksbereich lässt sich das Fahrverhalten ebenfalls einschlägig beschreiben (Tabelle 13): Zu 80% fahren die Handwerker ausschließlich in München und im Münchner Umland, wobei die Fahrzeuge fast ausschließlich für dienstliche Fahrten eingesetzt werden. 81% der Fahrzeuge haben eine jährliche Fahrleistung von unter 20.000 km/a, die durchschnittliche Jahreskilometerleistung liegt in der Größenordnung von 15.000 km/a. Eingesetzt werden die Fahrzeuge im Wesentlichen wochentags. Nahezu alle Fahrzeuge verfügen sicher oder zumindest teilweise über einen festen Stellplatz.

**Tabelle 13: Fahrverhalten in der Branchengruppe Handwerker**

Mobilitäts-Charakteristiken Handwerk	
91%	Dieselfahrzeuge
81%	Jahresfahrleistung bis zu 20.000 km/a
80%	Einsatzgebiet München und Einzugsgebiet
100%	verfügen sicher oder teilweise über festen Stellplatz
98%	Fahrzeuge werden ausschließlich gewerblich genutzt
∅	Jahresfahrleistung 15.238 km/a
∅	Fahrzeugnutzung an 250 d/a

Die Branchengruppe der sonstigen Dienstleister setzt sich aus 36 Branchen mit insgesamt 12.240 Firmen zusammen. Der Fahrzeugbestand der sonstigen Dienstleister (insgesamt 42.635 PKW), deren Fahrzeuge zu 71% dieselbetrieben sind (Tabelle 14), ist im Vergleich zu den anderen Branchengruppen vielseitiger, was vermutlich an der Größe der zusammengefassten Branchengruppe liegt. Diese Gruppe lässt sich nicht so eindeutig in einschlägige Fahrzeugsegmente aufteilen. Jedoch kann zumindest festgehalten werden, dass es vier wichtige Fahrzeugsegmente gibt (Abbildung 16): Die Kleinwagen (33%), die Mittelklasse

(29%) und die Kleintransporter (23%). Die restlichen 15% des Bestands verteilen sich auf die Fahrzeugsegmente Geländewagen, Oberklasse und Sportwagen.



**Abbildung 16: Pkw-Bestand nach Fahrzeugsegmenten in der Branchengruppe sonstige Dienstleister**

Ein spezifisches Fahrverhalten für diese Gruppe ist ebenfalls nur eingeschränkt definierbar (Tabelle 14). Fast  $\frac{3}{4}$  der Fahrzeuge werden auch außerhalb der Region München eingesetzt. 79% der Fahrzeuge haben eine jährliche Fahrleistung von unter 30.000 km/a. Die durchschnittliche jährliche Kilometerleistung beträgt rund 24.000 km/a. Eingesetzt werden die Fahrzeuge im Wesentlichen wochentags von Montag bis Freitag. Fast alle Fahrzeuge verfügen über einen festen Stellplatz. Anders sieht es jedoch bei der Nutzung und dem Einsatz aus. Hier gibt es keine deutlichen Präferenzen: 61% der Fahrzeuge sind ausschließlich für dienstliche Fahrten vorgesehen.

**Tabelle 14: Fahrverhalten in der Branchengruppe sonstige Dienstleister**

Mobilitäts-Charakteristiken sonstige Dienstleister	
71%	Dieselfahrzeuge
78%	Jahresfahrleistung bis zu 30.000 km/a
73%	Einsatzgebiet auch außerhalb Einzugsgebiet München
96%	verfügen sicher oder teilweise über festen Stellplatz
61%	Fahrzeuge werden ausschließlich gewerblich genutzt
Ø	Jahresfahrleistung 23.632 km/a
Ø	Fahrzeugnutzung an 250 d/a

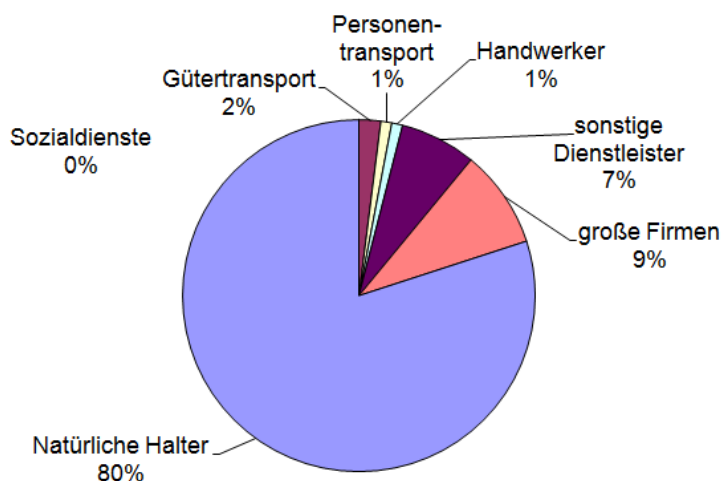


### Fahrzeugbestand bei Großunternehmen

Der Fahrzeugbestand bei Großunternehmen ergibt sich aus der Differenz der Gesamtzahl aller auf juristische Personen zugelassenen Fahrzeuge und dem ermittelten Fahrzeugbestands bei kleineren und mittleren Unternehmen. Nach Daten des Statistischen Amtes München sind in München 120.864 Fahrzeuge auf juristische Halter zugelassen. Abzüglich der Fahrzeuge bei den Gewerbetreibenden (67.882), verbleibt eine Anzahl von rund 53.000 Fahrzeugen, die sich demnach im Besitz von großen Unternehmen befinden. Da keine weiteren Daten zum Fahrzeugbestand großer Unternehmen zur Verfügung standen, wurde bezüglich der Aufteilung des Fahrzeugbestandes auf die einzelnen Fahrzeugsegmente die gleiche Verteilung zugrunde gelegt, wie aus der Erhebung bei den kleinen/mittleren Unternehmen ermittelt.

#### **4.1.2.3. Gesamt-Zusammensetzung des Verkehrs nach Haltergruppen**

Im Ergebnis verteilt sich auf Basis der Erhebung der Fahrzeugbestand Münchens folgendermaßen auf die einzelnen Segmente (Abbildung 17):



**Abbildung 17: Zusammensetzung Fahrzeugbestand in München nach Haltergruppen**

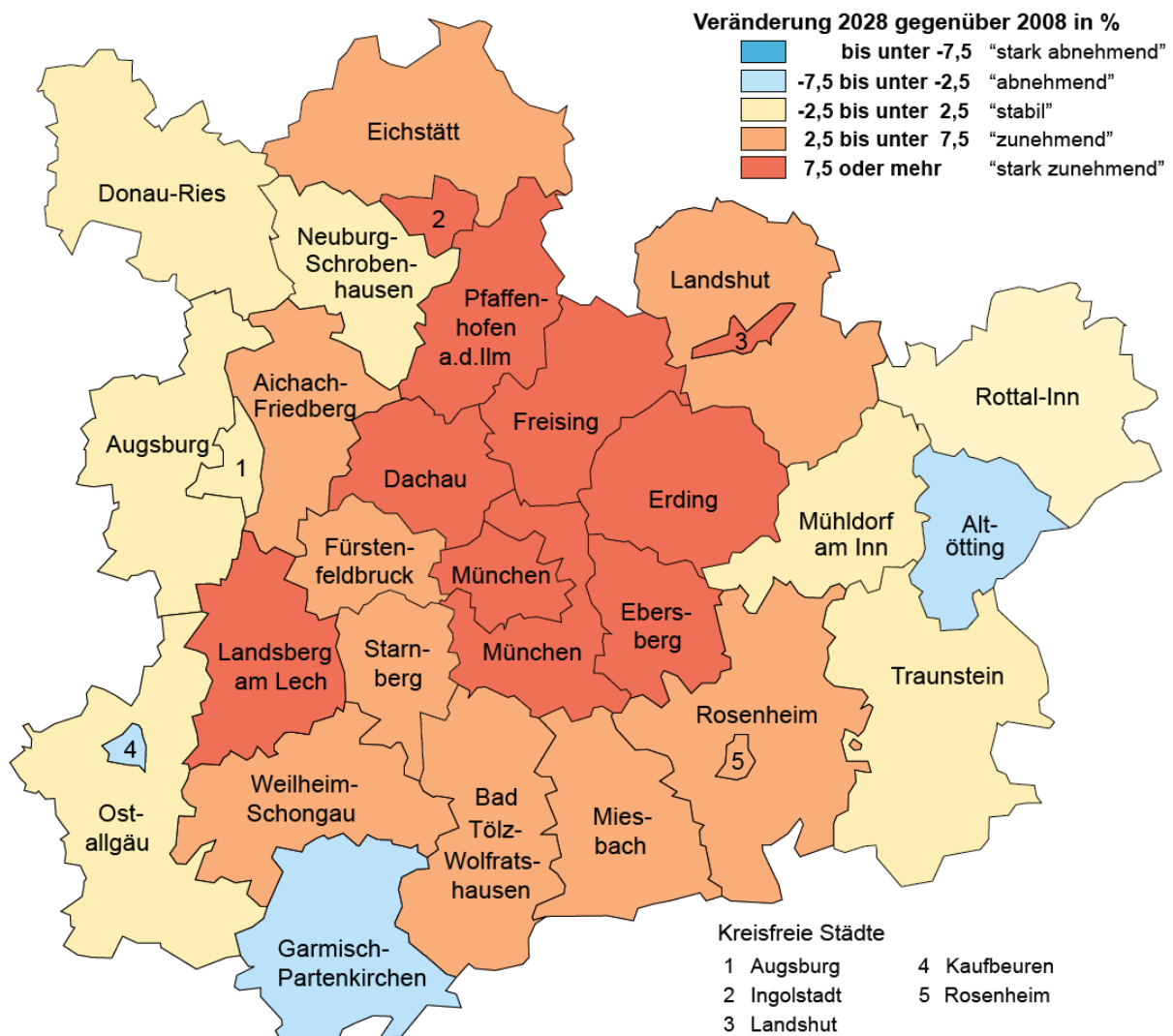
80% aller Fahrzeuge sind im Besitz natürlicher Halter. Gemessen am Gesamtbestand aller Fahrzeuge folgt die Gruppe der kleinen und mittelständigen Firmen, die zusammen rund 11% des Fahrzeugbestands stellen, die der großen Unternehmen beträgt 9%. Unter den kleinen und mittelständigen Firmen verfügen die sonstigen Dienstleister mit Abstand über die meisten Pkw (7%), gefolgt vom Gütertransport mit 2%. Entsprechend den Ergebnissen der Erhebung und der ergänzend durchgeführten Hochrechnungen auf den Fahrzeug-Gesamtbestand Münchens sind nachfolgende Daten (Tabelle 15) als Basis für die Beispiel-Szenarien (Kapitel 8) zugrunde gelegt worden:

**Tabelle 15: Zusammensetzung Fahrzeugbestand in München**

	<b>Pkw-Bestand</b>	<b>Kleinwagen</b>	<b>Mittelklasse</b>	<b>Oberklasse</b>	<b>Sportwagen</b>	<b>Geländewagen</b>	<b>Kleintransporter</b>
<b>Natürliche Halter</b>	<b>475.876</b>	<b>138.400</b>	<b>210.670</b>	<b>15.860</b>	<b>33.085</b>	<b>61.985</b>	<b>15.877</b>
Erstfahrzeuge		63.886	143.645	15.860	15.272	61.985	15.877
Zweitfahrzeuge		74.514	67.025	--	17.813	--	--
<b>Juristische Halter</b>	<b>120.864</b>	<b>11.022</b>	<b>61.574</b>	<b>15.402</b>	<b>3.739</b>	<b>20.771</b>	<b>8.356</b>
Sozialdienste	1.375	1.009	171	34	0	56	105
Gütertransport	25.742	1.399	13.967	3.370	2.616	2.314	2.076
Personen-transport	7.869	53	4.594	2.421	0	796	5
Handwerker	5.178	48	1.364	0	0	1.382	2.384
sonstige Dienstleister	80.700	8.513	41.478	9.577	1.123	16.223	3.786

## **4.2. Pendler im Großraum München**

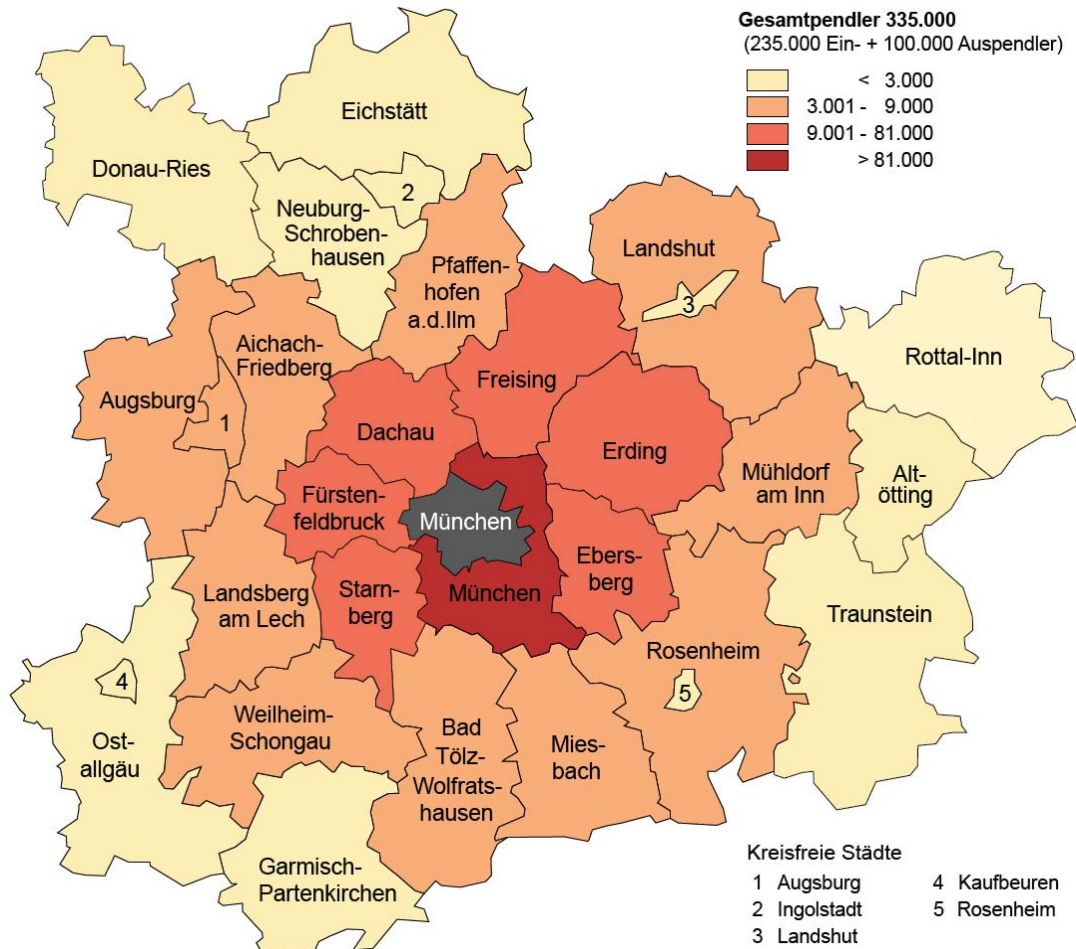
München ist mit seinen aktuell 1,37 Millionen Einwohnern eine der drei bevölkerungsreichsten Großstädte Deutschlands. Entgegen dem Bundestrend wird für die Stadt München bis zum Jahr 2028 ein deutliches Bevölkerungswachstum von über 7,5% prognostiziert [75]. Die Bevölkerungszahl wird dann um fast 100.000 Einwohner auf 1,46 Millionen angestiegen sein [76]. Vergleichbare Wachstumsraten sind auch für die umliegenden kreisfreie Städte und Landkreise wie München, Dachau, Pfaffenhofen, Ingolstadt, Freising, Erding, Ebersberg oder Landsberg am Lech zu erwarten (Abbildung 18).



**Abbildung 18: Bevölkerungsentwicklung kreisfreie Stadt München 2010-2028 [75]**

Mit dem Zuwachs an Einwohnerinnen und Einwohnern der Region München sind große Verkehrszuwächse - sowohl im Umland als auch zwischen Stadt und Umland - verbunden, die die Verkehrsplanung vor große Herausforderung stellen [77]. Schon heute pendeln nach Angaben des Statistischen Amtes München täglich<sup>6</sup> rund 235.000 der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zwischen ihrem Wohnort außerhalb Münchens und dem Arbeitsort München, sowie gut 100.000 zwischen ihrem Wohnort München und ihrem Arbeitsort außerhalb der Stadtgrenzen der Landeshauptstadt. Abbildung 19 bietet eine Übersicht über die Landkreise mit dem größten Pendleraufkommen.

<sup>6</sup> Unter der Annahme, dass Pendler, die eine Wegstrecke unter 80 km zwischen Wohn- und Arbeitsort zurückzulegen haben, täglich pendeln.



**Abbildung 19: Kategorisierung der Landkreise der Modellregion nach Pendlerzahlen (nur sozialversicherungspflichtig Beschäftigte) [78]**

Es ist davon auszugehen, dass die Mobilität in der Region München auch ohne Bevölkerungszuwachs weiter zunehmen wird. Ausschlaggebend dafür sind nach Koppen et al. [77] die Veränderungen der gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen. Die Wandlung von Haushaltsstrukturen, individueller Lebensstile, und der Erwerbsbeteiligung haben zu einer Veränderung der Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer an das Verkehrsnetz geführt. So werden unterschiedliche Aktivitäten wie Arbeit, Freizeit und Besuche miteinander verbunden, was zu einer Zunahme der so genannten „komplexen Wegeketten“ führt [77]. „Der Verkehr im Tagesverlauf wird sich unter anderem durch flexiblere Arbeits- und Ladenöffnungszeiten verändern. Die siedlungsstrukturellen Entwicklungen in München und vor allem im Umland bewirken zudem eine Verlängerung der Wege. Mehr und längere Wege führen zusammen zu einer deutlichen Zunahme der im Stadtgebiet München zurückgelegten Strecken im motorisierten Individualverkehr (MIV) und im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)“ [79].

Der Verkehrsentwicklungsplan der Landeshauptstadt München sieht vor, diese möglichst vor bzw. kurz hinter der Stadtgrenze durch ein integriertes Park-and-Ride-Angebot auf den ÖPNV umzuleiten. Dort stehen inzwischen ca. 26.300 P+R-Stellplätze zur Verfügung, die 2008 an durchschnittlichen Werktagen vollständig ausgelastet wurden [80]. An einem weiteren Ausbau im Umland wird im Rahmen der INZELL-Initiative „Park+Ride Regional“ gearbeitet [81]. Im innerstädtischen Bereich soll das P+R-Angebot um weitere 2.000 zusätzliche Stellplätze erweitert werden [82].

Aus dem Vergleich der in München gemeldeten Fahrzeuge (ca. 600.000) mit dem Pkw-Bestand der Landkreise im Münchner Umland (ca. 799.000 Fahrzeuge) [83] ergibt sich für die Analyse des Münchner Verkehrs ein nicht zu vernachlässigendes Potential an Pkw aus dem Umland, die am Münchner Verkehr teilhaben und ihn beeinflussen. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf die Berufspendler, die täglich in die Stadt fahren, deren Zahl mit Blick auf die Bedeutung Münchens als monozentrischer Ballungsraum bereits heute hoch ist [84] und die auch in Zukunft durch eine wachsende Wirtschaft und damit eine erhöhte Anzahl von Arbeitsplätzen in München weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Pendler sind dabei aus zwei Gründen als Zielgruppe für den Umstieg auf Elektromobile interessant. Erstens lohnt sich ein Elektromobil besonders bei einer hohen Fahrleistung, weil so schneller die höheren Anschaffungskosten amortisiert werden können. Zweitens werden Heimplademöglichkeiten besonders in der frühen Marktphase für die Elektromobilität als besonders wichtig eingestuft, was Pendler aus dem Umland, die oft über ein Haus mit eigener Garage verfügen, begünstigt.

Zunächst wurde eine nähere Bestimmung des Pendlereinzugsraums, von dem es drei Varianten gibt, vorgenommen (Abbildung 20): Manche Betrachtungen gehen von der sogenannte Planungsregion 14 aus, die acht Landkreise umfasst (die Landkreise München, Starnberg, Landsberg, Fürstfeldbruck, Dachau, Freising, Erding und Ebersberg). Andere Studien wählen das MVV-Gebiet, das fast der Planungsregion 14 entspricht, mit dem einzigen Unterschied, dass anstelle des Landkreises Landsberg der Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen einbezogen ist. Zu guter Letzt ist auch eine Erweiterung des Einzugsgebiets um die umliegenden Landkreise möglich (Weilheim-Schongau, Landsberg, Aichach-Friedberg, Neuburg-Schrobenhausen, Pfaffenhofen, Kehlheim, Landshut, Mühldorf, Rosenheim, Miesbach und der Städte Augsburg, Ingolstadt, Landshut und Rosenheim).



**Abbildung 20: Varianten Pendlereinzugsgebiete (eigene Darstellung in Anlehnung an Karte des Statistischen Amtes München)**

Aus diesen Landkreisen gibt es ein erhebliches Potential an Pendlern, die von dort bis zum Arbeitsplatz oder zum nächsten Park and Ride (P+R) Parkplatz fahren. Waren es im Jahr 2003 innerhalb der Planungsregion 14 noch 233.000 Pendler (eigene Berechnung nach [85]), so stieg deren Anzahl bis 2009 auf 250.000 [86]. Wird auch das weitere Einzugsgebiet einbezogen, so betrug die Gesamtzahl 2009 an die 350.000 Pendler [86].

Für die weitere Potentialbetrachtung der Pendler wurde das erweiterte Einzugsgebiet zugrunde gelegt, welches ungefähr einem Radius von 80 km um München entspricht. Diese Distanz kann in der Regel mit der Batterieladung eines Elektrofahrzeugs bewältigt werden, sofern Lademöglichkeiten am Start- und Zielort vorhanden sind. D. h., für die weiteren Betrachtungen wurde der aktuellste Wert der Landeshauptstadt München (350.000 Pendler) zugrunde gelegt.

Offen ist noch die Frage, wie hoch dabei der MIV-Anteil ist, d. h., wie viele Menschen tatsächlich täglich mit dem Pkw zur Arbeit fahren (Arbeitsplatz-Pendler). Auch hierzu gibt es verschiedene Angaben. Die MVG geht nach einer Erhebung aus den Jahren 2005/06 von einem MIV-Anteil von 57% bei den Arbeitsplatz-Pendlern aus dem Münchner Umland aus [87]. Das Planungsreferat nennt in einer Betrachtung aus dem Jahr 2009 einen MIV-Anteil von 60%. Zudem geht das Planungsreferat von einem Besetzungsgrad von 1,2 Personen/Fahrzeug aus. Auf der Basis von 350.000 Einpendlern, von denen 60% ihre Arbeitsstätte mit einem Fahrzeug erreichen, ergibt sich ein Potential von 175.000 Fahrzeugen pro Tag und Richtung.

Zu diesen 175.000 Fahrzeugen der Arbeitsplatz-Pendler kommt noch eine gewisse Anzahl an Pendlern, die mit dem Pkw bis zu einem P+R-Parkplatz fahren und dann auf den öffentlichen Verkehr umsteigen (P+R-Pendler). Laut Aussage des MVV stehen im MVV-Verbundraum rund 26.300 Parkplätze zur Verfügung, die an Wochentagen vollständig belegt sind. D.h., dem Arbeitsplatz-Pendlerpotential können noch weitere 26.300 Fahrzeuge der P+R-Pendler hinzu gerechnet werden, wobei die Zahl der tatsächlich dort geparkten Fahrzeuge sogar noch etwas höher liegen dürfte, da auch in der Umgebung geparkt und mancher Parkplatz im Laufe des Tages von mehr als einem Pkw genutzt wird.

## **5. Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge**

Bei der Markteinführung der Elektrofahrzeuge spielt neben den zuvor erörterten fahrzeug- und nutzerbezogenen Faktoren auch der Ausbau der Ladeinfrastruktur eine gewichtige Rolle. Im folgenden wird dargestellt, welche Überlegungen derzeit im Rahmen des Aufbaus einer geeigneten Ladeinfrastruktur angestellt und diskutiert werden und in wie weit sich diese auf die Entwicklung der Elektrofahrzeug-Potentialszenarien auswirken könnten.

### **5.1. Ladetechniken**

**Konduktives Laden:** Als konduktiv wird das Laden des Energiespeichers eines Elektrofahrzeugs an einer Ladestation bezeichnet, an der das Fahrzeug über ein Ladekabel mit der Station verbunden wird.

**Induktives Laden (stationär):** Induktive Ladestationen ermöglichen ein berührungsloses Laden des Energiespeichers eines Elektrofahrzeugs während der Standzeit [49]. Mit dieser Form der Energieübertragung geht allerdings gegenüber der konduktiven Form ein hoher Effizienzverlust einher [42]. Bei einem Zentimeter Abstand zwischen Ladetechnik und Autoboden liegt der Wirkungsgrad der Energieübertragung bei gut 80 %. Mit zunehmendem Abstand wächst jedoch auch der Energieverlust. Bei 12 cm liegt der Wirkungsgrad nur noch bei 60 % [Blanco 2009]. Unternehmen wie bspw. Nissan und E.ON arbeiten daran, das induktive Laden für die Elektromobilität weiter zu entwickeln und unterstützen mit Modellprojekten die Forschung auf diesem Gebiet [88].

**Induktives Laden (mobil):** Eine andere Idee des Einsatzes berührungsloser Energieübertragung sieht vor, Straßen mit unterirdischen Induktiv-Sendespulen auszurüsten, um auf diesem Weg Elektrofahrzeuge über an deren Unterseite angebrachte Induktiv-Empfangsspulen während der Fahrt mit Strom zu versorgen. Im Fokus stehen dabei vor allem Autobahnen mit einem einfachen Fahrbahnverlauf. Ein Stromspeicher im Fahrzeug wäre dann lediglich für Fahrten auf konventionellen Straßen, d. h. auf Landstraßen und im Stadtverkehr

notwendig. Wie im Falle des stationären Einsatzes der Induktionstechnik liegt jedoch auch hier der Wirkungsgrad bei der Energieübertragung relativ niedrig.

Batterie-Wechselsysteme: Neben Lösungsvorschlägen zum Laden des Energiespeichers eines Elektrofahrzeugs wird der Ansatz diskutiert, eine leere Batterie bei Bedarf an speziellen Wechselstationen gegen eine geladene Batterie auszutauschen. Dieses System setzt einen hohen Grad der Standardisierung der Batterien wie deren Unterbringung im Fahrzeug voraus. Aufgrund des hohen Gewichts des Batteriesystems kommt ein Robotersystem zum Einsatz, welches die leere gegen eine geladene Batterie austauscht [42]. Vorreiter auf diesem Gebiet ist der Mobilitätsdienstleister Better Place, der in mehreren Ländern/Regionen (u. a. Israel und Dänemark) den flächendeckenden Aufbau von Wechselstationen plant. Seit April 2010 läuft der erste Feldversuch mit Elektrotaxis in Tokyo. Von Seiten der Automobilhersteller wird dieses Wechselkonzept von Renault/Nissan unterstützt [89].

#### Aktuelle Tendenzen bei den Ladetechniken

Für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur in Deutschland wird momentan die konduktive Ladetechnik favorisiert. Im Rahmen des Förderschwerpunktes "Elektromobilität in Modellregionen" wird der Aufbau von derartigen Ladeinfrastrukturen bereits in Feldversuchen getestet. Die Fokussierung auf das konduktive Ladekonzept ist insbesondere darauf zurück zu führen, dass die, für die Umsetzung einer entsprechenden Ladeinfrastruktur benötigte Technik serienreif von verschiedensten Anbietern verfügbar ist. Ferner können gerade im häuslichen Umfeld Ladestationen kostengünstig installiert werden.

Stationäre induktive Ladekonzepte befinden sich derzeit noch im Entwicklungsstadium. Auch wenn diese in absehbarer Zeit serienreif verfügbar wären, ist fraglich, ob sie von den Fahrzeugherstellern eingesetzt würden, da Endkunden möglicherweise nicht gewillt sind die Kosten zur Ausrüstung ihres privaten PKW-Standplatzes mit dieser Ladetechnik zu tragen. Insofern ist davon auszugehen, dass das induktive Laden zunächst eher eine Nischentechnik bleiben wird.

Das mobile induktive Laden befindet sich dagegen erst im Visionsstadium. In wie weit dieser Ansatz überhaupt im Rahmen von Modellversuchen zum Zuge kommen wird ist sehr fraglich. Zur Realisierung eines derartigen Systems wären massive Investitionen in die Nachrüstung bestehender Straßen mit den Sendespulen erforderlich.



Das Konzept des Batteriewechselsystems hat neben der derzeit mangelnden Serienreife der Roboter-Austauschtechnik zwei weitere Probleme. Zum einen sind auch hier erhebliche Investitionen in die Schaffung eines Netzes von Batterieaustauschstationen notwendig, zum anderen stehen dem Vernehmen nach die deutschen Automobilhersteller dem Batterie-wechselkonzept sehr zurückhaltend gegenüber [47]. Dies liegt daran, dass durch die Standardisierung der Batterie und deren punktgenaue Platzierung im Fahrzeug (Batteriehalterung) den Automobilherstellern zum einen Gestaltungsspielraum bei der Fahrzeugentwicklung verloren geht sowie zum anderen kein Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb hinsichtlich der Schlüsselkomponente „Batterie“ herausgebildet werden kann [90].

## **5.2. Räume für den Aufbau von Ladeinfrastruktur**

Als Räume für den Aufbau von Ladeinfrastruktur wird grundsätzlich unterschieden nach dem „privaten Raum“, dem „semi-öffentlichen Raum“ und dem „öffentlichen Raum“.

### Privater Raum

Im privaten Raum, also beim Nutzer zuhause, können Ladestationen beispielsweise in Garagen oder auf privaten Stellplätzen errichtet werden, die Ladung und Abrechnung wären verhältnismäßig einfach zu realisieren. Zum privaten Raum zählen dabei auch Ladestationen, die auf dem Gelände von Gewerbetreibenden errichtet und für Dritte nicht allgemein zugänglich sind.

Speziell für München stellt sich die Situation im privaten Raum wie nachfolgend beschrieben dar. Die folgenden Überlegungen basieren auf zwei unterschiedliche Quellen, zum einen auf Daten der Studie Mobilität in Deutschland 2008 (MiD 2008) für Städte über 500.000 Einwohner und zum anderen auf Daten der LHM, die sich allerdings nur auf das Gebiet innerhalb des mittleren Rings beziehen.

Laut der Studie MiD 2008 [91] verfügten in Städten mit 500.000 oder mehr Einwohnern 40,1% über einen Stellplatz auf dem eigenen Grundstück (Tabelle 16). Hierbei handelt es sich überwiegend um eigene, feste Stellplätze. Bei den 50,7% der Einwohner, die ihr Fahrzeug in unmittelbarer Nähe abstellen, lässt sich nicht nachvollziehen um welchen Stellplatztyp es sich handelt. Es könnte genauso gut eine Garage in Fußnähe, als auch ein öffentlicher Parkplatz vor dem Haus sein.

**Tabelle 16: Anteil Anwohner mit üblichem Stellplatz für Gemeindegrößen von mind. 500.000 Einwohnern**

Eigenes Grundstück	40,1%
In unmittelbarer Nähe	50,7%
In weiterer Entfernung	1,9%
Unterschiedlich	6,8%
Verweigert	0,0%
Weiß nicht	0,1%
Keine Angaben	0,3%

Konkretere Zahlen zur Fahrzeug- und Parksituation in München liefert die LHM (Tabelle 17). In München leben ca. 1,36 Millionen Menschen, davon ca. 31% (420.000) innerhalb des mittleren Rings. Laut Aussagen des Statistischen Amtes München sind in diesem Gebiet 138.846 Fahrzeuge mit natürlichen Haltern und 40.474 Fahrzeuge mit juristischen Haltern gemeldet. Innerhalb des mittleren Rings stehen insgesamt rund 323.000 Stellplätze zur Verfügung, von denen ca. 108.000 rein privat genutzte Anwohnerparkplätze sind. Die restlichen Stellflächen bilden Parkplätze auf Firmengeländen, in öffentlichen Parkhäusern bzw. an öffentlichen Straßen.

**Tabelle 17: Parkplatzdaten München (aus Datenabfrage bei der LHM 2010)**

	innerhalb Mittleren Ring
Einwohner (Hauptwohnsitz)	ca. 420.000
Gemeldete Pkw gesamt	179.320
davon natürlich	138.846
davon juristisch	40.474
Stellplätze gesamt	ca. 323.000
davon Nutzung Anwohner	ca. 108.000

Aus dem Quotienten von Fahrzeugen mit natürlichen Haltern zu privaten Stellplätzen ergibt sich somit rein rechnerisch, dass innerhalb des mittleren Rings ca. 78% der Bewohner über einen eigenen Stellplatz verfügen. Die verbleibenden Fahrzeughalter parken ihre Fahrzeuge im Rahmen des Parkraummanagements mit einer eigenen Parklizenz am Straßenrand.

Aus den Daten ist allerdings nicht ablesbar, um welche Art von Standort es sich bei den privaten Stellplätzen handelt: Es könnte beispielsweise ein einfacher Garagenstellplatz oder eine Duplexgarage sein, ein fest zugewiesener Platz im Hinterhof oder ein freie Fläche auf die sich alle Anwohner der Wohnanlage stellen können. Somit bleibt die Frage ungeklärt, an

wie vielen Standorten mit privater Parkmöglichkeit letztendlich Homeladestationen realisiert werden könnten.

Über die Parksituation außerhalb des mittleren Rings lässt sich nur mutmaßen. Es kann angenommen werden, dass dort die Parksituation aufgrund der nicht so engen Bebauung eher entspannter ist und prozentual gesehen mindestens genauso viele Bewohner über einen eigenen Stellplatz verfügen, wie in der Innenstadt.

An dieser Stelle ist darüber hinaus zu erwähnen, dass in den Betrachtungen lediglich die natürlichen Halter untersucht wurden, denen aber immerhin 80% des Fahrzeugbestandes Münchens zugerechnet werden kann. Aussagen zur Parksituation im gewerblichen Bereich können aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht getroffen werden.

#### Semi-öffentlicher Raum

Als semi-öffentlicher Raum werden Flächen bezeichnet, die sich zwar im privaten Eigentum befinden, aber für Dritte öffentlich zugänglich sind. Beispielhaft zu nennen wären in diesem Zusammenhang Parkhäuser und P+R-Plätze in Besitz privatwirtschaftlicher Gesellschaften. An diesen Standorten können ohne nennenswerte Restriktionen in einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Parkhausbetreiber und Ladeinfrastrukturinvestor Ladesäulen aufgebaut werden.

#### Öffentlicher Raum

Als öffentlicher Raum werden vor allem größere städtische Parkflächen und der Straßenrand bezeichnet, die zwar ein großes, jedoch momentan aufgrund rechtlicher Restriktionen nur beschränkt nutzbares Potential darstellen. Insbesondere sind Restriktionen bei der Nutzung des Spartenraums zu beachten. Als Spartenraum wird der Raum unter der Straße bezeichnet, der für die Leitungssysteme der Sparten Energie, Wasser, Abwasser, Fernwärme, Gas, Telekommunikation, usw. zur Verfügung gestellt wird. Neben der Bereitstellung des Raums für die Ladesäule gibt es zusätzlich noch das Problem, dass der Parkplatz an einer Stromtankstelle nicht für Elektrofahrzeuge reserviert werden kann. Hierzu müsste die StVO geändert werden [92].

### **5.3. Ladezeiten**

Bei einem Anschluss eines Elektrofahrzeugs mit einer Batteriekapazität von 32 kWh (für eine Reichweite von ca. 200 km) an einer herkömmlichen Haushaltssteckdose (230 V, max. 16 A) und einer unterstellten Vollentladung der Batterie (was üblicherweise in der Praxis nicht auftritt) würde die Ladezeit knapp 9 Stunden betragen. Würde auf einen haushaltsüblichen

Dreiphasenanschluss -wie beim Herd/Ofen üblich - übergegangen, würde sich die Ladezeit bei dreiphasiger Nutzung (230 V, 3x16 A) auf ca. 3 Stunden verkürzen. Niederspannungsseitig ist ein Anschluss bis zu 400V mit maximal 64 A möglich. Die Ladedauer würde dann etwas weniger als 1 Stunde betragen. Batterien, die derart hohe Ströme verkraften können müssten allerdings noch entwickelt werden. In wie weit dies gelingt ist derzeit noch völlig offen [50].

Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll Ladestationen vornehmlich an Orten aufzustellen, an denen das Elektrofahrzeug längere Zeit steht. Hierfür eignen sich besonders der private Stellplatz beim Nutzer zuhause oder der Parkplatz am Arbeitsplatz. Erste Ergebnisse der Feldversuche mit Elektroautofloten in den Modellregionen Berlin-Potsdam und München deuten darauf hin, dass eine solche Basisinfrastruktur zumindest für die Erstnutzer der Elektromobilität zunächst ausreichend ist [93].

#### **5.4. Nutzeranforderungen an Ladeinfrastruktur**

Aufgrund der Ladezeiten von mehreren Stunden stellt sich zudem die Frage, in wie weit Nutzer von Elektrofahrzeugen möglichst ohne Einschränkungen ihren täglichen Mobilitätsbedürfnissen nachkommen können. D.h., können die Mobilitätsanforderungen mit einer Batterieladung täglich erfüllt werden oder sind ggf. zeitaufwendige Zwischenladungen tagsüber notwendig?

Ein durchschnittlicher Nutzer legt an über 80% der Tage eines Jahres eine Wegstrecke von weniger als 40 km zurück. Dabei macht die Summe aller gefahrenen Wegstrecken unter 40 km mehr als 50% der gesamten Jahresfahrleistung aus [42]. Die Batterieladung eines Elektrofahrzeugs reicht hierfür aus, wie das Beispiel des „iMIEV“ von Mitsubishi bereits zeigt: Mit einer Batterieladung kann eine Reichweite von 144 km im EU-Normzyklus erreicht werden [47]. Offen bleibt allerdings die Frage, wie größere Strecken (z. B. Urlaubsfahrten, Wochenendausflüge) mit einem Elektrofahrzeug bewältigt werden können. D. h., eine Batterieladung reicht für private Pkw-Nutzer in der Regel aus um die typischen täglichen Fahrten zu bewältigen, Zwischenladungen im Tagesverlauf sind in der Regel nicht notwendig.

Offen bleibt, wie Langstrecken mit einem Elektrofahrzeug zurück gelegt werden können. Um schnelle Ladungen z.B. für Zwischenladungen auf längeren Strecken möglich zu machen, wird im Moment an Hochleistungsladestationen gearbeitet. Schnell-Ladungen unter einer halben Stunde scheinen realistisch, jedoch sind hier, bezogen auf die Batterie, physikalische Grenzen zu beachten, da schnelle Beladungsvorgänge einen negativen Effekt auf die

Batterielebenserwartung haben. Daher ist davon auszugehen, dass Hochleistungsladesäulen eher für wenige Fälle, in denen schnell geladen werden muss, in Frage kommen.

In Bezug auf die Notwendigkeit von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur (öffentliche wie semi-öffentliche Ladestellen) ist ein weiterer wichtiger Aspekt im Mobilitätsverständnis von Fahrzeugnutzern zu berücksichtigen: Das „range anxiety Phänomen“, die sogenannte „Reichweitenangst“. In Studien wurde festgestellt, dass Menschen ein hohes Sicherheitsbedürfnis danach haben, bei Fahrten mit dem Auto immer eine Tankmöglichkeit für den Notfall in der Nähe zu haben. Es ist davon auszugehen, dass zum Erreichen einer breiten Akzeptanz der E-Mobilität in der Öffentlichkeit das Vorhandensein einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt.

## **5.5. Wirtschaftliche Aspekte**

In wie weit sich eine öffentliche Ladeinfrastruktur (d. h. im semi-öffentlichen als auch öffentlichen Raum) herausbilden wird, hängt allerdings maßgeblich von deren Wirtschaftlichkeit ab. Ausgangspunkt für die nachfolgenden Überlegungen ist, dass dem Kunden zu Hause eine Homeladestation als Basis-Ladeinfrastruktur zur Verfügung steht. D. h., der Kunde bezieht den Strom für das Elektrofahrzeug zu den Konditionen seines Haushaltsstromvertrags. Insofern wird unterstellt, dass der Kunde auch nicht bereit ist, an einer öffentlich zugänglichen Ladesäule einen deutlich höheren Strompreis zu zahlen.

Demnach sieht die Kalkulation aus Sicht eines Ladestationen-Investors wie folgt aus: Ausgehend von einem marktüblichen Preis für regenerativen Strom (nachstehend am Beispiel des Produktes „M-Natur“ der Stadtwerke München dargestellt) müsste sich die Investition in eine Ladesäule aus dem verbleibenden Deckungsbeitrag in Höhe von ca. 0,27 €/Ladevorgang finanzieren (Abbildung 21). Unter Berücksichtigung der Ladezeiten von mehreren Stunden/Ladevorgang liegen zudem die Tagesumsätze derart niedrig, dass es im Ergebnis unmöglich ist, dass sich eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur allein über deren Stromabsatz jemals wirtschaftlich rechnen wird.

**Preis für einen Ladevorgang  
an der Stromtankstelle bei einem  
Ladevorgang mit 35 kWh**

**Kostenbestandteile  
für M-Natur ab 01.01.2010**

**Gesamtpreis  
7,44 Euro**

Annahmen:  
- Daten für 2010  
- Verbrauch 18 kWh pro 100 km  
- Reichweite 35 kWh ca 193 km  
- Produkt Privat Kompakt

<b>Aufschlag M-Natur</b> 0,64 Euro
<b>MWSt. auf alle Preisbestandteile:</b> 1,04 Euro
<b>Stromsteuer</b> 0,72 Euro
<b>KWK-Abgabe</b> 0,04 Euro
<b>Konzessionsabgabe</b> 0,84 Euro
<b>Netznutzungsentgelte</b> 1,30 Euro
<b>Großhandelspreis Strom inkl. EEG:</b> 2,59 Euro

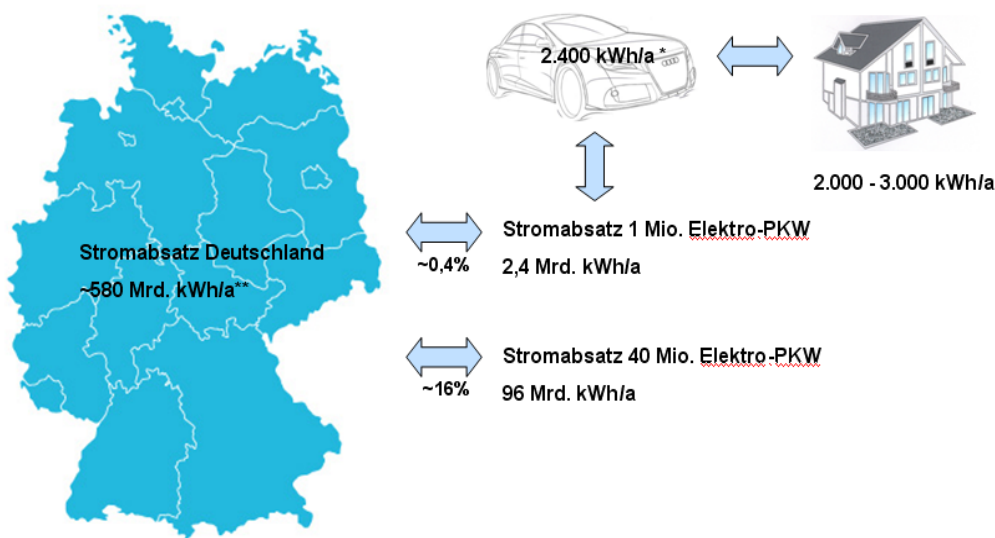
0,27 Euro

- Deckungsbeitrag für**
- Ladeinfrastruktur,
  - Abrechnung,
  - Inkasso,
  - Kundenbetreuung,
  - IKT-Systeme,
  - etc.

**Abbildung 21: Umsatz an Ladestationen für Elektrofahrzeuge**

Eine Lösung könnte sich aufgrund folgender Gegebenheiten abzeichnen: Durch das Laden eines Elektrofahrzeugs am heimischen Stromanschluss wird das Haushaltsstrom-Abnahmeverhalten erheblich verändert. Wie das folgende Beispiel veranschaulicht (Abbildung 22), stellt das Elektrofahrzeug einen Stromabnehmer dar, der den Basis-Haushaltsstromverbrauch größenordnungsmäßig durchaus verdoppelt.

**Strombedarf bei elektrifizierten Individualverkehr  
(PKW und Kleintransporter)**



Datenbasis 2009

**Abbildung 22: Strombedarf von Elektro-PKW**

Als Annahme wurde eine für Stadtfahrer typische Jahresfahrleistung von 15.000 km/a und ein spezifischer Verbrauch eines Elektrofahrzeugs von 16 kWh/100 km zugrunde gelegt. Auf dieser Grundlage ergibt sich ein Stromverbrauch von 2.400 kWh/a. Dies entspricht in der Größenordnung dem Strombedarf eines Einfamilienhauses mit Vier-Personen-Haushalt.

Ferner verändert das Elektrofahrzeug auch den zeitlichen Verlauf der Gesamtstromabnahme im Haushalt: Da davon auszugehen ist, dass Elektrofahrzeuge überwiegend über Nacht geladen werden, treten erhebliche Stromabnahmemengen zu den sonst üblichen Haushaltsstrom-Schwachlastzeiten auf. Dies ist aus Erzeugungssicht im Sinne einer Lastvergleichmäßigung zwar wünschenswert, hat aber erheblichen Einfluss auf die definierten Standard-Lastprofile für den Haushaltsbereich und somit auf die Strombeschaffung vertriebsseitig. Die in den Haushalts-Lastprofilen berücksichtigten Schwachlastzeiten sind so nicht mehr zutreffend. Im Extremfall würde bei Nachtladung der gesamte Strombedarf eines Elektrofahrzeugs als Prognosefehler registriert und müsste vom Netzbetreiber als Ausgleichsenergie zur Verfügung gestellt werden. Bei den aktuell wenigen Elektrofahrzeugen im Markt ist dies zwar nicht weiter tragisch, im Hinblick auf die Entwicklung hin zu einer Masseneinführung wären allerdings Lösungen für dieses Problem notwendig (der Anteil des Strombedarfs aller PKW in Deutschland am Gesamtstromabsatz würde rund 16% betragen). Ein Ansatz wäre, spezielle standardisierte Ladelastprofile für Elektrofahrzeuge zu entwickeln, die z. B. im Bedarfsfall additiv zu dem herkömmlichen Haushalts-Standardlastprofil anzuwenden wären. Oder es würden kombinierte Haushalts-Auto-Lastprofile definiert.

Wird zukünftig von einer getrennten Betrachtung von Haushalts- und Autostrom ausgegangen, eröffnet sich durch die Entkopplung von Haushalts- und Autostrompreis Spielraum für speziell bepreiste Autostromprodukte. Dies könnte dann dazu genutzt werden, den Kunden kombinierte Produkte von Homeladestation und Nutzung öffentlicher Ladesäulen als Gesamtpaket anzubieten. Es bestünde die Möglichkeit, die Kosten für die öffentlich zugänglichen Ladesäulen im Paketpreis mit einzukalkulieren. Ggf. könnte so das Dilemma der Finanzierbarkeit öffentlicher Ladesäulen gelöst werden.

## **5.6. Schlussfolgerungen**

Unter Berücksichtigung der verfügbaren bzw. absehbar serienreif verfügbaren Ladetechniken, den Charakteristika der zur Verfügung stehenden Räume zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur und den Mobilitätsanforderungen der Fahrzeugnutzer ist davon auszugehen, dass die Homeladestationen das Grundgerüst für den sukzessiven Aufbau einer Ladeinfrastruktur bilden. Diese sind schnell und einfach zu realisieren und lösen für einen Großteil der typischen Verkehrswege das Reichweiten- und Ladezeitenproblem.

Ergänzend ist die Schaffung einer gewissen Grundversorgung an „semi-öffentlicher“ Ladestationen sinnvoll, um der zuvor beschriebenen Reichweitenangst zu begegnen. Der Nutzer erhält somit die Sicherheit, im Notfall auch außerhalb seines heimischen Umfelds sein Elektrofahrzeug laden zu können. Die Konzentration bei der Erweiterung der Ladeinfrastruktur auf den semi-öffentlichen Raum liegt darin begründet, dass hier bereits heute Ladesäulen errichtet werden können, ohne geltendes öffentliches Recht zu verletzen. Erst wenn die noch bestehenden grundsätzlichen rechtlichen Fragestellungen und Rahmenbedingungen hinsichtlich der Nutzung öffentlichen Raums für Ladesäulen und spezieller Elektrofahrzeug-Parkflächen geklärt sind ist auch ein Ausbau der Ladeinfrastruktur im rein öffentlichen Raum sinnvoll.

In Zusammenhang mit dem Aufbau einer Basisladeinfrastruktur aus Homeladestationen stellt sich die zentrale Frage, wie viele Fahrzeugnutzer über eine eigene Garage oder zumindest einen eigenen Stellplatz verfügen. Das verfügbare Datenmaterial für München lässt darauf schließen, dass schätzungsweise mehr als 2/3 aller Fahrzeugnutzer eine Möglichkeit hätten, in ihrer Wohnumgebung einen privaten Stellplatz für ihr Elektrofahrzeug nutzbar zu machen.

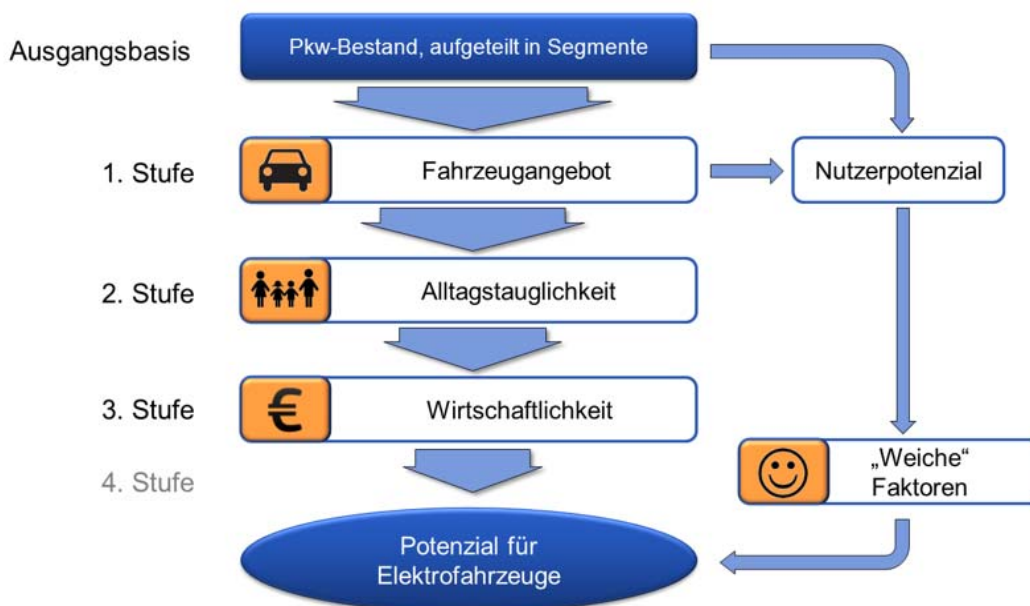
Im Rahmen dieser Arbeit wurde angenommen, dass in den hier betrachteten Phasen der Markteinführung und -etablierung aufgrund der noch geringen Marktdurchdringung an Elektrofahrzeugen die Einschränkungen durch einen Mangel an Homelade-Möglichkeiten marginal ausfallen dürften, d. h. das Potential an Elektrofahrzeugen hierdurch nicht eingeschränkt wird. Unterstellt wird hierbei die Annahme, dass die Erstnutzer von Elektrofahrzeugen, die eine eingeschränkte Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit in Kauf nehmen bzw. die sich Elektrofahrzeuge aus Überzeugung zulegen, auch um einen Homeladeplatz bemühen werden. Erst bei einem Übergang zu einem Massenmarkt würden sich entsprechende Einschränkungen bemerkbar machen. In wie weit auch für die verbleibende Nutzergruppe der Laternenparker, die ihr Fahrzeug auf öffentlichen Straßen abstellen, dann Lademöglichkeiten bestehen, ist derzeit nicht absehbar.



## 6. Stufenmodell zur Modellierung des Potentials / Maßgebliche Einflussgrößen

Zur Modellierung des Potentials an Elektrofahrzeugen wurde eigens ein Stufenmodell entwickelt. Das Modell basiert auf der Überlegung, von einem anfänglich definierten Gesamtbestand an Fahrzeugen in München schrittweise das mögliche Potential für Elektromobilität unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher sowie weiterer Potential einschränkender Faktoren zu bestimmen. Die Methodik ist schematisch in Abbildung 23 dargestellt.

Die Ausgangsbasis bildet der Gesamtbestand an Pkws in München, aufgeteilt in einzelne Segmente nach fahrzeug- und nutzerspezifischen Kriterien. Die Segmente durchlaufen nacheinander verschiedene Stufen, die wie Filter zu betrachten sind. Werden die Anforderungen eines Filters nicht bzw. nicht in Gänze erfüllt, so reduziert sich entsprechend das Potential für die Elektromobilität. Das verbleibende Potential durchläuft dann den nächsten Filter und wird auf dessen Kriterien überprüft. Durch dieses Vorgehen wird der Fahrzeugbestand nach und nach verringert, als Resultat verbleibt am Ende das Potential, welches für die Elektromobilität geeignet ist.



**Abbildung 23: Schematische Darstellung der Filtermethodik**

Die erste Stufe bildet der Filter „Fahrzeugangebot“. Hier wird der Frage nachgegangen, in welchen Fahrzeugsegmenten seriengefertigte Elektrofahrzeuge angeboten werden. Ist für ein Fahrzeugsegment ein massenmarktaugliches Modell vorhanden, so bleiben alle vorhandenen Bestandsfahrzeuge dieses Segments als Potential für die weiteren Stufen erhalten.

Fahrzeuge in den Segmenten, in denen nicht mindestens ein Elektrofahrzeug-Modell in Serienproduktion zur Verfügung steht, werden herausgefiltert und spielen für die weitere Betrachtung keine Rolle.

Nach der Feststellung, welche Fahrzeugsegmente mit Elektro-Pkw bedient werden können, stellt sich die Frage, inwieweit die verfügbaren Elektrofahrzeug-Modelle verschiedenen Nutzer-Anforderungen hinsichtlich der Alltagstauglichkeit gerecht werden. Zentrale Bewertungskriterien bei diesem Filter sind die Faktoren Reichweite pro Batterieladung (zu erbringende Tagesfahrleistung), Platzverfügbarkeit im Fahrzeug (Einschränkungen bezüglich des Transports von Personen oder Gütern) und Begrenzungen hinsichtlich einer begrenzten Maximalgeschwindigkeit (Autobahntauglichkeit).

Mit dem dritten Filter wird schließlich die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge gegenüber den Benzin- und Dieselfahrzeugen in die Potentialerhebung einbezogen. Unterstellt wird, dass sich ein Fahrzeugnutzer nur dann für ein Elektrofahrzeug entscheidet, wenn gewisse Wirtschaftlichkeitskriterien erfüllt werden. Betrachtungsgegenstand wird hierbei die Wirtschaftlichkeit über den gesamten Produktlebenszyklus, d. h. unter Einbeziehung aller Kostenfaktoren, angefangen von den Anschaffungskosten, die Kosten die während der Nutzung der Fahrzeuge entstehen, bis hin zum Restwert zum Ende der Nutzungsdauer.

Im Ergebnis verbleiben nach Durchlauf dieser drei Stufen alle Bestandsfahrzeuge als Potential für die Elektromobilität, in deren Fahrzeugsegment jeweils mindestens ein Elektrofahrzeug zur Verfügung steht und zudem die Voraussetzungen hinsichtlich Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit erfüllt werden.

Neben den zuvor erörterten rationalen und pragmatischen Faktoren haben auch weitere, nur schwer erfassbare „emotionale Kriterien“ Einfluss auf die Kaufentscheidung und somit auch auf die Potentialerhebung. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, wurde die vierte Stufe „Weiche Faktoren“ eingeführt. Berücksichtigt wird hiermit das Potential an Verbrauchern, die technikbegeistert, umwelt- oder trendorientiert sind. Dieser Personenkreis würde sich ggf. auch dann für den Kauf eines Elektrofahrzeugs entscheiden, wenn die Kriterien Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit nicht in Gänze erfüllt werden. Voraussetzung für ein mögliches zusätzliches Potential durch „weiche“ Faktoren ist ein vorhandenes Fahrzeugangebot im jeweiligen (fahrzeugbezogenen) Segment. In diesem Fall wird das Potential der „weichen“ Faktoren zu dem der drei ersten Filter addiert. Nach Durchlauf aller beschriebenen Filter in allen Segmenten ergibt sich das mögliche Gesamtpotential an Elektrofahrzeugen.







### Definition von Elektro-Referenzfahrzeugen

Damit bei den nachfolgenden Filtern ein Vergleich zwischen konventionell betriebenen und elektrischen Autos durchgeführt werden kann, wurden in allen Fahrzeugsegmenten jeweils drei Referenzmodelle definiert:

- Konventionelles Fahrzeug mit Ottomotor
- Konventionelles Fahrzeug mit Dieselmotor
- Elektrofahrzeug

Bei der Auswahl der konventionellen Referenzmodelle wurde soweit möglich auf bauähnliche Modelle, d.h. mit vergleichbaren Eigenschaften und technischen Daten geachtet. Verwendet wurden segmentprägende Modelle (Tabelle 18) in üblicher Ausstattung und mittlerer Motorisierung.

**Tabelle 18: Konventionelle Referenzfahrzeuge der Segmente**

Antrieb	K	M	O	Sp	G	T
						
Ottomotor	VW Polo 1.4 Comfortline	VW Golf 1.2 TSI Comfortline	Mercedes E 200 CGI-Blue EFFICIENCY	Audi TT Coupé 3.2 quattro	BMW X3 xDrive25i Edition Lifestyle	VW T5 Transporter Kombi 2.0 lang
Dieselmotor	VW Polo 1.6 TDI Comfortline	VW Golf 1.6 TDI Comfortline	Mercedes E 220 CDI-Blue EFFICIENCY	Audi TT Coupé 2.0 TDI quattro	BMW X3 xDrive30d Edition Lifestyle	VW T5 Transporter Kombi 2.0 TDI lang

Bildquellen: Audi, BMW, Daimler, VW

Da zum Zeitpunkt der Arbeit nach obiger Definition keine serienreifen Elektrofahrzeuge am Markt verfügbar waren, wurden fiktive Referenzmodelle betrachtet. Um möglichst ähnliche Eigenschaften im Vergleich konventionelle zu Elektrofahrzeugen zu gewährleisten, wurden für die einzelnen Segmente als Elektro-Referenzfahrzeug die jeweils zugrunde gelegten konventionellen Fahrzeuge mit einer alternativen Ausstattung mit Elektromotor definiert. Dieser Ansatz ermöglicht auch eine sachgerechte Wirtschaftlichkeitsbewertung zwischen den drei verschiedenen Antriebsarten, welche im Kapitel 6.3. genauer erläutert wird.

## 6.1. Filter „Fahrzeugangebot“

Im Rahmen des ersten Filters „Fahrzeugangebot“ wird geprüft, ob im jeweiligen Segment seriengefertigte Elektro-Modelle verfügbar sind. Mit der Einschränkung auf Serienfertigung wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass durch Einzelumrüstungen kein Massenmarkt bedient werden kann und diese Fahrzeuge somit auch keine Relevanz für die hier angestrebte Potentialbetrachtung haben. Dem entsprechend wurde als „seriengefertigt verfügbar“ folgendes definiert:

- Im jeweiligen Fahrzeugsegment wird mindestens ein Fahrzeugmodell als Elektrovariante angeboten (also z. B. mindestens ein Kleinwagen im Kleinwagensegment)
- dieses Fahrzeug wird von einem Hersteller in Serienfertigung und in angemessen großer Stückzahl vertrieben (also keine Einzelumrüstungen), und
- dieses Fahrzeug ist am Markt auch tatsächlich verfügbar (keine unverhältnismäßig langen Wartezeiten, keine Wartelisten, keine hohen Anzahlungen vor Fahrzeugauslieferung etc.)

Dieser Definition liegt zudem die Überlegung zugrunde, dass andere Hersteller innerhalb kurzer Zeit mit Modellen nachziehen werden, sobald ein Massenhersteller mit der Serienproduktion eines Elektrofahrzeugs in einem Segment startet, d. h. auch relativ schnell mit einem breiteren Marktangebot an Elektrofahrzeugen in einzelnen Segmenten gerechnet werden kann. Diese Annahme erscheint insbesondere im Hinblick auf die Konkurrenz zwischen den einzelnen Automobilherstellern plausibel, da voraussichtlich kein Hersteller riskieren will, einen Technologiewechsel zu verpassen.

Ist in einzelnen Marktsegmenten kein Angebot an einem dem entsprechenden Elektrofahrzeug vorhanden, so wird auch das Elektrofahrzeug-Potential in diesem Segment mit „0 %“ bewertet. Sobald in einem derartigen Fahrzeugsegment ein seriengefertigtes Elektromodell verfügbar ist, wird dieses Segment mit „100 %“ angesetzt.

## 6.2. Filter „Alltagstauglichkeit“

Ist das Kriterium des Fahrzeugangebots erfüllt, wird in der nächsten Stufe der Faktor Alltagstauglichkeit überprüft. Mit „Alltagstauglichkeit“ sind Ansprüche der Fahrzeugbetreiber im Hinblick auf die vorgesehene Nutzung gemeint. Wie bereits zuvor an verschiedenen Stellen erläutert, bilden die Faktoren Platzangebot, Höchstgeschwindigkeit und Reichweite die entscheidenden Kriterien zur Bewertung der Alltagstauglichkeit.

### 6.2.1. Platzangebot

Aktuelle, im Wesentlichen im Rahmen von Feldversuchen eingesetzte Elektrofahrzeuge, wie beispielsweise der MINI E von BMW, benötigen viel Platz für den elektrochemischen Speicher. Dadurch entfällt beim MINI E die Rücksitzbank und ein Teil des Kofferraums, was erhebliche Einschränkungen bezüglich des Platzangebotes zur Folge hat. Auch umgebaute Fahrzeuge haben oft den Nachteil, dass der zumeist große Batterieblock im Kofferraum verbaut wird.

Bei zukünftigen, serienfertigten EVs wird dieser Nachteil jedoch aller Voraussicht nach entfallen, da die Batteriemodule platzsparender verbaut werden. Beispielsweise wird bei der Mercedes A-Klasse E-Cell der Stromspeicher unter die Fahrgastzelle gesetzt (Abbildung 24).

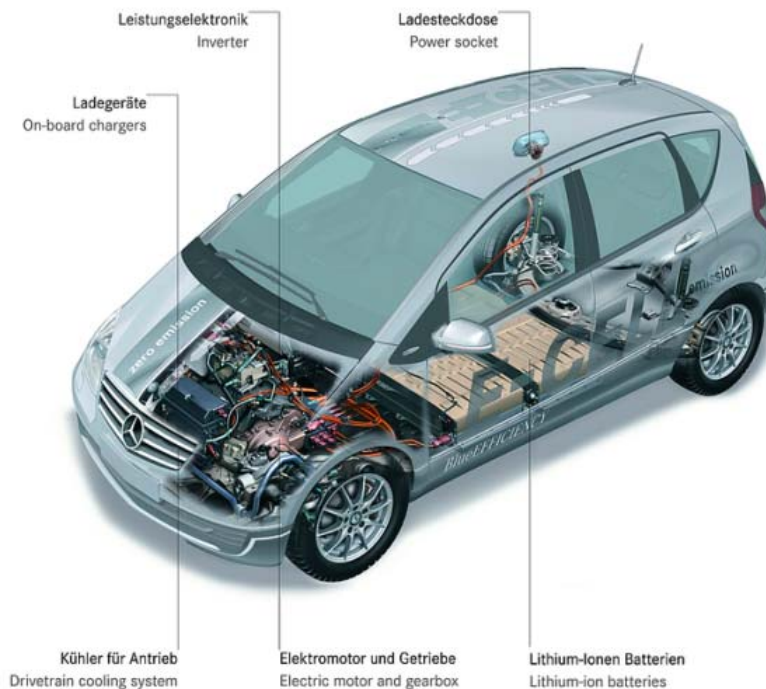


Abbildung 24: Lage der Komponenten im Mercedes A-Klasse E-Cell [94]

Auch im Nissan Leaf sind die Batteriemodule zum größten Teil unter dem Fahrer- und Beifahrersitz positioniert, so dass keine Einschränkungen hinsichtlich des Stauraums im Vergleich zu einem konventionell angetriebenen Fahrzeug vorhanden sind (Abbildung 25).



**Abbildung 25: Kofferraum des Nissan Leaf [95]**

Ebenso lassen die Herstellerangaben weiterer angekündigter seriengefertigter Elektrofahrzeuge darauf schließen, dass es in zukünftigen Modellen keine nennenswerten Platzeinschränkungen geben wird.

### **6.2.2. Höchstgeschwindigkeit**

Ein weiteres Kriterium der Alltagstauglichkeit stellt die Höchstgeschwindigkeit eines Autos dar. So muss beispielsweise ein Fahrzeug in Deutschland eine Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h bauartbedingt erreichen können, um die Autobahn nutzen zu dürfen. Entscheidend hierfür sind beim Elektrofahrzeug die Leistung von Elektromotor und Batterie. Diese können so konzipiert werden, dass Elektrofahrzeuge dem konventionellen in nichts nachstehen. Die Maximalgeschwindigkeit aktuell verfügbarer Elektrofahrzeuge bewegt sich je nach Modell im Bereich von 60 und 250 km/h [96]. Ankündigungen diverser Automobilhersteller deuten darauf hin, dass bereits ab 2015 voraussichtlich alle dann angebotenen seriengefertigten Elektrofahrzeuge die Richtgeschwindigkeit für deutsche Autobahnen von 130 km/h erbringen werden. Da von technischer Seite bezüglich der Maximalgeschwindigkeit keine Beschränkungen vorliegen, kann ferner davon ausgegangen werden, dass bei seriengefertigten Elektrofahrzeugen die Höchstgeschwindigkeit im Bereich derer von konventionellen Fahrzeugen liegen dürfte oder zumindest gegen Aufpreis bestellt werden kann.

### **6.2.3. Reichweite**

Neben den Kriterien Platzangebot und Höchstgeschwindigkeit wurde zudem untersucht, inwiefern die Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen durch eine eingeschränkte Reichweite beeinträchtigt wird.

Die Reichweite eines Elektrofahrzeugs ist grundlegend abhängig von dessen spezifischem Verbrauch und der Speicherkapazität der verbauten Batterie. Für die Speicherung der

Energie ist eine bestimmte Masse, und daraus folgend ein gewisses Volumen der Batterie erforderlich. Die Energiedichte gibt dabei Aufschluss über die Menge der Energie, die pro kg gespeichert werden kann. Im Vergleich zur Energiemenge, die im Diesel- oder Ottokraftstoff enthalten ist, ist die Energiedichte selbst moderner und hochwertiger Akkumulatoren sehr gering. D. h., die Hauptprobleme bestehen darin, dass ein Batterieblock mit großer Kapazität zum einen voluminös und zum anderen sehr schwer ist. Das hohe Gewicht zieht wiederum einen erhöhten Verbrauch nach sich. Zudem werden dem Volumen und der Masse der Batterie Grenzen durch die Abmessungen und zulässigen Maximalgewichte des Fahrzeugs gesetzt.

Gegenwärtig werden, abhängig von deren Anwendungsfall, Batteriesysteme unterschiedlicher Technologien verwendet. Wie in Kapitel 3.2. bereits beschrieben, ist davon auszugehen, dass sich im Automobilbereich die Lithium-Ionen-Batterien durchsetzen werden, da diese im Vergleich zu anderen Technologien sowohl eine hohe Energiedichte, als auch eine hohe Leistungsdichte besitzen. Die Leistungsdichte beschreibt, wie viel Leistung pro kg dem System entnommen werden kann, was wiederum Auswirkungen auf die mögliche Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs hat.

Während ein konventioneller Kleinwagen mit einem 45 Liter-Tank und einem durchschnittlichen Verbrauch von 5,9 Liter pro 100 km bis zu 760 km zurücklegen kann, würde ein vergleichbares Elektrofahrzeug für dieselbe Reichweite eine Batterie mit einer Kapazität von 100 kWh benötigen. Dies entspricht der etwa 7-fachen Kapazität der Batterien, die heute üblicherweise in Kleinserien verbaut werden. Zudem ist das Fahrzeug mit Verbrennungsmotor innerhalb weniger Minuten aufgetankt, während das Elektrofahrzeug je nach Ladeleistung für das Nachladen bis zu mehreren Stunden benötigt. Dadurch ergeben sich deutliche Einschränkungen der Alltagstauglichkeit.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung ist allerdings mit einer Verbesserung der Batterien hinsichtlich einer Erhöhung der Energiedichte zu rechnen, wie zahlreiche Studien belegen. Laut Roland Berger soll die Kapazität einer 200 kg Lithium-Ionen-Batterie von heute 20 kWh bis 2015 auf 25 kWh, bzw. bis 2020 auf 36 kWh steigen [97]. Dies bedeutet einen Anstieg um 25 % bis 2015 bzw. 80 % bis 2020. Das theoretische Grenzpotential heutiger Materialien liegt bei ca. 400 Wh/kg. Auf Zellebene sind damit Energiedichten von 250 bis 300 Wh/kg möglich. Auf Systemebene - dies entspricht dem Batterieblock - kann ein Wert von maximal 200 Wh/kg erreicht werden. Durch Kombination anderer Materialien wie z. B. Lithium und Sauerstoff sind theoretische Energiedichten von 5.200 Wh/kg denkbar [98]. Jedoch sind für diese Technologie noch massive Forschungsanstrengungen nötig, weshalb eine Anwendung im

Automobilbereich in den nächsten Jahren nicht zu erwarten ist. Im Moment werden von reinen Elektrofahrzeugen Reichweiten bis zu 340 km realisiert, wie das Beispiel des Tesla Roadster zeigt.

Ob die Alltagstauglichkeit für Nutzer im Hinblick auf die beschränkte Reichweite von Elektrofahrzeugen gegeben ist, wurde im Modell in zwei Schritten überprüft. Zum einen wurde analysiert, ob die Fahrprofile der einzelnen Nutzersegmente durch die Reichweite der Elektrofahrzeuge erfüllt werden (benötigte Reichweite). Zum zweiten wurde der psychologische Aspekt der gewünschten Reichweite berücksichtigt, die von einem Großteil der Nutzer beim Autokauf vorausgesetzt wird.

#### **6.2.3.1. Filterung nach benötigter Reichweite**

Damit ein Elektrofahrzeug das Kriterium der Reichweite erfüllen kann, muss dieses mindestens den Weg zurücklegen können, welcher aufgrund des jeweiligen Nutzerprofils gefordert wird. Aufgrund der langen Ladezeiten und der in der Regel bestehenden Nachlademöglichkeit über Nacht wurde die Tagesreichweite als zentrales Bewertungskriterium verwendet.

Aufgrund der Problematik beschränkt dimensionierter Batteriesysteme und langer Ladezeiten wurde davon ausgegangen, dass sich bis einschließlich 2020 (Markteinführungsphase) für private Nutzer ohne Verzicht auf Mobilitätsansprüche (z. B. Urlaubsfahrten) keine Möglichkeit bietet, seinen Erstwagen durch ein Elektrofahrzeug zu ersetzen. Deshalb wurde angenommen, dass für Privatanwender ein Elektrofahrzeug lediglich als Zweitwagen in Frage kommt. Für das Potential der Zweitfahrzeuge stellt die beschränkte Reichweite kein Hemmnis dar. Sobald die benötigte Fahrtstrecke vom Elektrofahrzeug nicht erfüllt werden kann, hat der Nutzer immer noch die Option, auf seinen Erstwagen zurückzugreifen. So lange der Erstwagen von einem herkömmlichen Verbrennungsmotor angetrieben wird, bietet er praktisch eine uneingeschränkte Reichweite. Ab 2020 (Marktetablierungsphase) wurde dann davon ausgegangen, dass technologische Entwicklungen (deutlich erhöhte Reichweite der Elektrofahrzeuge) die erwähnte Problematik so weit kompensieren, dass auch für den Bereich der Erstfahrzeuge Elektrofahrzeuge relevant werden.

Für gewerbliche Halter müssen aus Flexibilitätsgründen in der Regel die zur Verfügung stehenden Fahrzeuge sämtliche Mobilitätsansprüche abdecken können. D. h., dass Elektrofahrzeug muss alle Streckenanforderungen der Nutzer erfüllen können. Insofern wurde ein direkter Vergleich zwischen den benötigten Tageskilometern der jeweiligen Gewerbeart und der möglichen Tagesreichweite des Elektrofahrzeugs durchgeführt. Aus der durch die MCT



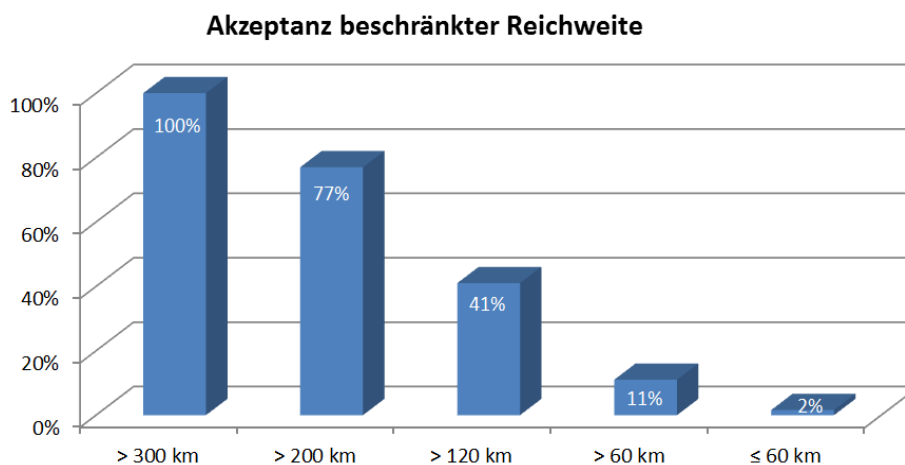
durchgeführten Erhebung [74] (wie bereits in Kapitel 4.1. beschrieben) ergaben sich die in Tabelle 19 dargestellten durchschnittlichen jährlichen Fahrleistungen der einzelnen gewerblichen Nutzersegmente. Bei der Umrechnung auf die durchschnittliche Tagesreichweite wurde nach den Nutzungstagen pro Jahr je Gewerbeart unterschieden. Sozialdienste und Personentransporte wurden mit 365 Tagen/a veranschlagt, da die Fahrzeuge auch an Sonn- und Feiertagen im Betrieb sind. Beim Gütertransport ergaben sich 312 Tage/a (Nutzung jeweils Montag bis Samstag). Für die restlichen Gewerbebetriebe wurden 250 Tage/a (Betrieb an Wochentagen abzüglich urlaubsbedingter Stillstandszeiten) angesetzt.

**Tabelle 19: Durchschnittliche Fahrleistung der Fahrzeuge gewerblicher Halter**

	Sozialdienste	Gütertransport	Personentransport	Handwerk	sonstige Dienstl.
Jahresfahrleistung in km	18.251	26.942	43.577	15.238	23.632
Tage der Nutzung pro Jahr	365	312	365	250	250
Tagesfahrleistung in km	50	86	119	61	95

### 6.2.3.2. Filterung nach psychologisch gewünschter Reichweite

Da die Anforderungen an ein Fahrzeug nicht allein durch die technischen Gegebenheiten, sondern auch von subjektiven Einschätzungen des Nutzers bestimmt werden, war es sinnvoll, zudem den psychologischen Aspekt einer gewünschten Reichweite mit einzubeziehen. Nach einer Umfrage des TÜV Süd zufolge zeigte sich, dass die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen abhängig von der Reichweite ansteigt [99]. Dabei gaben beispielsweise 77 % der über 1.800 Befragten an, eine Reichweite bei Elektrofahrzeugen von 300 km/Batterieladung würde ausreichen. Die weiteren Umfrageergebnisse sind in Abbildung 26 dargestellt.



**Abbildung 26: Ergebnisse aus einer Akzeptanzbefragung des TÜV bei Fahrzeughaltern**

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde eine zusätzliche Reduzierung des Elektrofahrzeug-Potentials durch den psychologischen Effekt mit berücksichtigt. Ermittelt wurde die Potentialminderung approximativ auf Basis einer abgeleiteten Funktion, die sich wie folgt darstellt:

$$f(x) = (-0,0009191727 * x^2 + 0,7062200778 * x - 28,7980251347) / 100 \quad (1)$$

mit

f(x) = Prozentsatz verbleibendes Elektrofahrzeugpotential

x = Reichweite der Elektrofahrzeuge

Angenommen wurde zudem, dass dieser psychologische Effekt sowohl im privaten, als auch im gewerblichen Bereich eine Rolle spielt und daher für beide Haltergruppen zum Tragen kommt.

### **6.3. Filter Wirtschaftlichkeit**

Grundlage der dritten Stufe des Filtermodells bildet eine dynamische Wirtschaftlichkeitsanalyse nach der Annuitätenmethode. Im Ergebnis werden die jährlichen Gesamtkosten (Annuität) eines Elektrofahrzeugs im jeweiligen Fahrzeugsegment mit denen der Benzin- bzw. Dieselvariante unter Einbeziehung eines internen Zinsfußes und der jeweiligen Fahrzeug-Nutzungsdauern der einzelnen Nutzersegmente verglichen. Bei der Ermittlung der Kosten wurde nach kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Kosten differenziert. Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Summe dieser drei Kostenbestandteile. Bei sämtlichen Preisangaben handelt es sich um Nettopreise, d. h. exklusive der Mehrwertsteuer, bezogen auf das Basisjahr 2010.

#### **6.3.1. Kapitalgebundene Kosten**

Nach der Annuitätenmethode werden die jährlichen kapitalgebundenen Kosten mit Hilfe des „Annuitätsfaktors“ aus der Investitionssumme, d. h. den Anschaffungskosten des Fahrzeugs, ermittelt. Der Annuitätsfaktor (a) berücksichtigt die Nutzungsdauer der Fahrzeuge sowie den zugrunde gelegten Zinssatz für die kalkulatorische Verzinsung des eingesetzten Kapitals:

$$a = i * (1 + i)^n / ((1 + i)^n - 1) \quad (2)$$

a: Annuitätsfaktor

i: Kalkulatorischer Zins (Zinssatz in % / 100)

n: Nutzungsdauer der Fahrzeuge in Jahren

Bei der Nutzungsdauer der Fahrzeuge wurde zwischen privatem und gewerblichem Bereich differenziert. Nach Daten des Statistischen Amtes München beträgt die durchschnittliche Nutzungsdauer von Fahrzeugen in München im privaten Bereich 8 Jahre und im gewerblichen Bereich 3 Jahre. Die gewerbliche Nutzungsdauer entspricht somit der üblichen Laufzeit der meisten Leasing-Verträge.

Neben den Anschaffungskosten für die Fahrzeuge spielt auch deren Restwert eine gewichtige Rolle. Der Restwert wurde in diesem Modell bei den kapitalgebundenen Kosten als über die Nutzungsdauer abgezinster Ertrag berücksichtigt:

$$\text{Restwert}_{2010} = \text{Restwert} / (1+i)^n \quad (3)$$

n: Nutzungsdauer des Fahrzeugs in Jahren

Restwert: Wert des Fahrzeugs in € zum Ende der angesetzten Nutzungsdauer n

Restwert<sub>2010</sub>: Fiktiver Restwert des Fahrzeugs in €, bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt des Fahrzeugs (abgezinster Betrag)

Finanzielle Förderungen wurden ebenfalls als Investition mindernden Wert bei den kapitalgebundenen Kosten angesetzt, sofern es sich hierbei um Zuschüsse bei der Anschaffung von Elektrofahrzeugen handelt.

D. h., die jährlichen kapitalgebundenen Kosten in €/a ergeben sich wie folgt:

$$\text{Kosten}_{\text{Kap}} = (\text{Anschaffungskosten} - \text{Förderbetrag} - \text{Restwert}_{2010}) * a \quad (4)$$

Kosten<sub>Kap</sub>: Kapitalgebundene Kosten in €/a

Anschaffungskosten: Fahrzeugpreis in €

Förderbetrag: Finanzielle Anschubhilfe in €

a: Annuitätsfaktor

Restwert<sub>2010</sub>: Fiktiver Restwert des Fahrzeugs in €, bezogen auf den Anschaffungszeitpunkt des Fahrzeugs (abgezinster Betrag)

**Beispiel:** Bei einer Nutzungsdauer eines Fahrzeugs von 8 Jahren (privater Bereich) und einem kalkulatorischen Zinssatz von 4 % ergibt sich ein Annuitätsfaktor von  $a = 0,1485$ , was jährlichen kapitalgebundenen Kosten von 14,85 % der Investition entspricht. D. h., bei einem Preis für einen Fahrzeug von 20.000 €, einem Restwert von 5.000 € nach 8 Jahren und

einem Zuschuss auf die Fahrzeuganschaffung von 2.000 € als Anschubförderung ergeben sich jährliche kapitalgebundene Kosten in Höhe von rund 2.130 €/a.

Tabelle 20 fasst die wichtigsten Annahmen zusammen, die für die Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten zugrunde gelegt wurden. Für die Berechnung wurden zunächst die Netto-Investitionen für die Fahrzeuge ermittelt, die unter Berücksichtigung der jeweiligen abgezinsten Restwerte und eventueller Förderungen verbleiben. Anschließend wurden die jährlichen kapitalgebundenen Kosten bei einem Kalkulationszinssatz von 4 % und der jeweiligen Nutzungsdauer der Fahrzeuge für private bzw. gewerbliche Nutzer berechnet.

**Tabelle 20: Annahmen für die Berechnung kapitalgebundener Kosten**

	Privat	Gewerbe
Anschaffungskosten	Listenpreise verfügbarer Fahrzeuge 2010 (Herstellerangaben)	
Restwerte	Angaben für Gebrauchtfahrzeuge gemäß DAT-Liste [100]	
Basisjahr für Preisangaben	2010	
Nutzungsdauer	8 Jahre	3 Jahre
Zinssatz	4 %	4 %

### 6.3.2. Verbrauchsgebundene Kosten

Als zweiter großer Kostenbestandteil wurden die verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt, die im Wesentlichen von den jeweiligen jährlichen Fahrleistungen, den Kraftstoff- bzw. Strompreisen und den fahrzeugspezifischen Kraftstoffverbräuchen abhängen.

Im privaten Bereich wurde die durchschnittliche jährliche Fahrleistung aller Pkw in Deutschland im Jahr 2008 mit 14.300 km/a angenommen [91]. Für den gewerblichen Bereich wurden die Ergebnisse aus der von der MCT durchgeführten Erhebung zum Nutzerverhalten gewerblicher Halter (entsprechend Tab. 18, Kapitel 6.2.) verwendet. Bei den Kraftstoffpreisen handelt es sich um die Preise für Benzin (Super) und Diesel bzw. die Strompreise beim Elektroantrieb. Weitere fahrleistungsabhängige Kosten (z.B. zusätzliche Werkstattkosten durch erhöhten Verschleiß bei großen Kilometerleistungen) wurden nicht im Detail betrachtet, da diese nur einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die gesamten verbrauchsabhängigen Kosten haben bzw. bereits bei den Betriebskosten erfasst werden. Als spezifische Fahrzeug-Verbrauchswerte wurden für die konventionellen Fahrzeuge Herstellerangaben nach EU-Mix zugrunde gelegt, bei den Elektrofahrzeugen Angaben vergleichbarer, bereits verfügbarer Referenzfahrzeuge verwendet.

### **6.3.3. Betriebsgebundene Kosten**

Zu den betriebsgebundenen Kosten zählen alle Kosten, die neben den kapital- und verbrauchsgebundenen Kosten für die Haltung eines Fahrzeugs anfallen. Hierbei handelt es sich um Kosten die nicht verbrauchsunabhängig sind, d. h. auch und dann anfallen, wenn das Auto nicht gefahren wird. Zur Bestimmung der betriebsgebundenen Kosten wurden die Angaben des ADAC [101] für eine standardisierte Kostenberechnung von Pkws zugrunde gelegt. Hierzu zählen im Einzelnen:

- Haftpflichtversicherung (Beitragssatz 50 %)
- Vollkaskoversicherung mit 500 € Selbstbeteiligung (Beitragssatz 50 %)
- Kraftfahrzeugsteuer
- Werkstattkosten
- Kosten für Reifenersatz

Beim Elektrofahrzeug kommt ein eventueller Batterieaustausch als erheblicher Kostenfaktor hinzu. Abhängig von den Einsatzbedingungen und der weiteren technologischen Entwicklung kann heute davon ausgegangen werden, dass nach 8 Jahren Nutzungsdauer das Ende der Batterielebensdauer erreicht sein wird. Im Modell wurde die Annahme getroffen, dass ein Elektrofahrzeug auf dem Gebrauchtwagenmarkt nur dann ohne nennenswerte finanzielle Einbußen (zum Restwert) veräußert werden kann, wenn das Fahrzeug betriebsbereit, d. h. mit einer weiterhin funktionstüchtigen Batterie angeboten wird. Im gewerblichen Bereich kann davon ausgegangen werden, dass dieses Kriterium durch die bisherige geringe Nutzungsdauer von 3 Jahren erfüllt ist. Anders hingegen sieht es im privaten Bereich aus, da hier von 8 Jahren Nutzungsdauer ausgegangen wird. Für diesen Fall werden die Kosten für eine neue Batterie zum Ende der Nutzungsdauer annuitätisch als jährliche Rücklage bei den betriebsgebundenen Kosten mit berücksichtigt.

### **6.3.4. Gesamtkosten**

In Abbildung 27 ist beispielhaft die Aufteilung der jährlichen Kosten eines benzinbetriebenen VW Golf bezogen auf das Ausgangsjahr 2010 grafisch dargestellt. Bei diesem Referenzfahrzeug handelt es sich um das Modell 1,2 TSI Comfortline mit einer maximalen Leistung von 77 kW und einem Durchschnittsverbrauch von 5,7 Liter Super-Benzin pro 100 km. Ausgegangen wurde von einer privaten Nutzung, d. h. unter Zugrundelegung einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer jährlichen Fahrleistung von 14.300 km.



**Abbildung 27: Jährliche Gesamtkosten eines VW Golf (Benzin) bei 8 Jahren Nutzungsdauer und einer Fahrleistung von 14.300 km/a**

Aus der Grafik ist zu erkennen, dass die kapitalgebundenen Kosten den größten Anteil an den jährlichen Gesamtkosten aufweisen. Die verbrauchsgebundenen Kosten, die unter Zugrundelegung des Benzinpreises von 1,15 €/l (ohne MwSt.) errechnet wurden, bilden den zweitgrößten Anteil, dicht gefolgt von den betriebsgebundenen Kosten.

Analoge Berechnungen wurden für das vergleichbare Dieselmotormodell und das (fiktive) Elektromodell bezogen auf alle betrachteten Fahrzeugsegmente und Nutzergruppen durchgeführt. Durch die höheren Anschaffungskosten bei den Diesel- und Elektrofahrzeugen bei gleichzeitig niedrigeren verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten im Vergleich zum Benziner nehmen die kapitalgebundenen Kosten bei diesen beiden Antriebsarten prozentual einen noch höheren Stellenwert ein.

#### 6.4. Filter „Weiche Faktoren“

Neben den klar quantifizierbaren Faktoren wurden zusätzlich qualitative Kriterien im Modell berücksichtigt, welche zu den sogenannten „weichen Faktoren“ zusammengefasst wurden.

Bei der Markteinführung verschiedener Technologien war in der Vergangenheit immer wieder zu beobachten, dass Produkte bei bestimmten Käuferschichten Anklang fanden, obwohl sie nicht wirtschaftlich waren bzw. auch andere Defizite aufwiesen. Diese Gruppe wird auch „Innovatoren“ oder „Early Adopter“ genannt und stellen ein Potential dar, welches nicht allein nach den bisher verwendeten rationalen Faktoren Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit Kaufentscheidungen trifft. Hier stehen andere Kriterien im Vordergrund, welche in fünf Gruppen zusammengefasst wurden:

- Innovation
- Fahrspaß
- Privilegien
- Lifestyle & Design
- Umweltbewusstsein

#### **6.4.1. Innovation**

Die Freude an neuen Technologien ist Auslöser für das Interesse am Produkt. Das Konzept des Elektroantriebs ist zwar bereits älter als der Ottomotor, jedoch wird das Gesamtsystem „Elektroauto“ als Innovation neuester Zeit gesehen.

#### **6.4.2. Fahrspaß**

Eine über den gesamten Drehzahlbereich konstante Beschleunigung wird als einer der Hauptgründe für den besonderen Fahrspaß eines Elektrofahrzeugs gesehen. Das Wegfallen einer manuellen Schaltung und das geräuschlose, schwebende Fahrgefühl tragen ebenso zu einem außergewöhnlichen Fahrerlebnis bei. Dies bestätigen auch die Fahrer vieler Feldversuche mit Elektrofahrzeugen, wie z. B. des E-Minis [102] und des E-Smarts [103]: Die Fahrer waren besonders begeistert vom guten Beschleunigungsverhalten. Weiterhin wurde positiv gesehen, dass man im Vergleich zu herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor keine Ausstattungsdefizite hinnehmen müsse. Ebenfalls durchweg positive Erfahrungen mit dem Prototyp Mini E wurden in monatelangen Testfahrten am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TUM und an der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. gesammelt [96].

Die Strategie, Kunden mit Hilfe exklusiver Technik von der Elektromobilität zu begeistern, verfolgt die Firma Tesla Motors. Sie entwickelte mit dem Tesla Roadster einen Sportwagen, der mit einer Leistung von 215 kW (288 PS) in nur vier Sekunden von 0 auf 100 km/h beschleunigen kann und eine Reichweite von bis zu 340 km ermöglicht [104]. Zumal Elektrofahrzeuge des Hochpreissegments erst am Anfang der Entwicklung stehen, kann hier in den nächsten Jahren mit weiteren Innovationen und einem nochmals verbesserten Fahrgefühl gerechnet werden [96].

#### **6.4.3. Privilegien**

Für Elektroautos sind verschiedene Arten von Privilegien denkbar, um einen gewissen Vorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen zu schaffen. Privilegien können nicht nur von Seiten des Gesetzgebers eingeführt werden, es sind auch Anreize privater Akteure wie

Autohersteller oder Händler denkbar. Neben Prämien oder Preisnachlässen beim Kauf eines Elektroautos wäre auch eine verlängerte Garantie auf Fahrzeug und Batterie vorstellbar. Begünstigend für mögliche Garantieverlängerungen wirkt sich die Robustheit der Elektromotoren aus, welche in der Regel eine längere Lebensdauer als Verbrennungsmotoren besitzen [96]. Zudem ist der mechanische Aufbau eines Elektrofahrzeugs – etwa aufgrund des fehlenden Getriebes – um ein vielfaches einfacher und dadurch wartungsärmer als der eines konventionellen Pkws.

Eine andere Möglichkeit wäre z. B. eine Förderung von Seiten der Stadt. So könnten für Fahrer von Elektroautos exklusiv Parkplätze reserviert werden, an denen darüber hinaus eine Lademöglichkeit besteht. Solche Angebote sind etwa in London sehr gut angenommen worden. Des Weiteren wäre die Nutzung eigener Fahrspuren oder auch Kombiangebote, bei denen der Kauf eines Elektrofahrzeugs mit einer vergünstigten/kostenlosen Jahreskarte für den ÖPNV verbunden ist, denkbar.

Theoretisch wären auch drastischere Maßnahmen wie etwa eine verschärfte Umweltzone denkbar, in die nur noch emissionsfreie Fahrzeuge einfahren dürften. Zusätzlich zu den jetzigen roten, gelben und grünen Umweltplaketten könnte eine blaue Plakette eingeführt werden, die nur für Null-Emissions-Fahrzeuge erteilt würde. Durch solche Maßnahmen könnte die Umstellung eines großen Teils des städtischen Individualverkehrs erzwungen werden.

#### **6.4.4. Lifestyle & Design**

Zu dieser Gruppe zählen in erster Linie Personen, zu deren Lebensstil bestimmte Vorstellungen in Bezug auf das Aussehen ihres Fahrzeugs gehören. Das Auto ist ein Statussymbol und repräsentiert gewissermaßen den Fahrer nach außen hin. Diese Anforderung kann von Elektrofahrzeugen erfüllt werden, da deren Entwicklung oft von einem neuen Design begleitet wird.

#### **6.4.5. Umweltbewusstsein**

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verursachen Elektrofahrzeuge beim Betrieb mit Strom aus erneuerbaren Energien keine Emissionen (bei Betrachtung ohne Emissions-Vorkette). Zudem verfügen die Elektrofahrzeuge über einen weitaus höheren Wirkungsgrad des Elektromotors, ergänzend besteht die Möglichkeit mittels Rekuperation Strom aus der Bremsenergie zurück zu gewinnen. Dieses umweltfreundliche Image des Elektroautos hat einen positiven Einfluss auf potenzielle Nutzer mit ausgeprägtem Umwelt-



bewusstsein. So empfanden das nicht nur die Fahrer des MINI E-Feldversuchs in Berlin [102], sondern auch eine Vielzahl von Testfahrern an der FfE [96].

## **6.5. Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung**

Die Sensitivitätsanalysen und –bewertungen haben ergeben, dass die nachfolgend aufgeführten Faktoren für die Bestimmung des Elektrofahrzeug-Potentials maßgeblich sind.

Beim Filter „Fahrzeugangebot“ geht es zunächst um die Verfügbarkeit seriengefertigter Modelle mit Elektroantrieb in einzelnen Fahrzeugsegmenten. Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass überhaupt ein Potential an Elektrofahrzeugen ermittelt werden kann. Maßgeblich ist hierbei das Kriterium der „Serienverfügbarkeit“, d. h. das Elektrofahrzeug wird „am Band“ gefertigt und ist im deutschen Markt in größeren Stückzahlen verfügbar (wie in Kapitel 6.1. bereits beschrieben).

Bezüglich des Filters „Alltagstauglichkeit“ hat sich die Reichweite als der wesentliche einschränkende Faktor herausgestellt. Hierbei wird als wichtig erachtet, nach der tatsächlich notwendigen und der psychologisch gewünschten Reichweite zu differenzieren. Die Bedeutung der psychologisch gewünschten Reichweite für das Elektrofahrzeugpotential wird auch aus folgendem überschlägigen Beispiel deutlich: Elektrofahrzeuge mit einer Batteriekapazität von 20 kWh und einem spezifischen Verbrauch von 16 kWh/100km verfügen über eine rechnerische Reichweite von 125 km. Eine derart eingeschränkte Reichweite würden entsprechend einer Umfrage des TÜV Süd (wie in Kapitel 6.2.3.2. beschrieben) gerade noch etwas mehr als 40% der Befragten akzeptieren.

Ein weiterer, wichtiger Reichweiten bestimmender Faktor bildet die Speicherkapazität der Elektrofahrzeugbatterie. Technische Fortschritte lassen eine deutliche Verbesserung der Energiedichte der Batterien erwarten. Insofern werden in Kapitel 7 auch technische Weiterentwicklungen hinsichtlich einer Erhöhung der Speicherkapazität von Batterien bei gleichbleibenden volumetrischen Maßen mit berücksichtigt.

Beim Filter „Wirtschaftlichkeit“ spielen insbesondere die kapitalgebundenen Kosten eine gewichtige Rolle, die beim Elektrofahrzeug den weitaus größten Anteil an den Gesamtkosten einnehmen. Das heißt, dass Faktoren wie die Fahrzeug-Anschaffungskosten sowie finanzielle Zuschüsse beim Fahrzeugkauf einen bedeutenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Maßgeblich für die hohen Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge sind die derzeit noch hohen Herstellungskosten für die Batterien. Wie bereits in Kapitel 3.2. dargestellt, wird davon ausgegangen, dass durch Großserienfertigungen und technologische

Weiterentwicklungen die Herstellungskosten von Batterien noch überproportional gesenkt werden können. Die Herstellungskosten der Batterien stellen somit einen wesentlichen Parameter für die Wirtschaftlichkeit dar. Um auch kurzfristig die Wirtschaftlichkeit beeinflussen zu können, wird im Rahmen der Beispielrechnungen des Kapitels 7 zudem der Frage nachgegangen, wie sich finanzielle Zuschüsse, die beim Kauf eines Elektrofahrzeugs gewährt werden, auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.

Weitere wesentliche Einflussgrößen beim Filter „Wirtschaftlichkeit“ sind die Kraftstoff-/Strompreise und somit auch indirekt die Kraftstoff-/Stromsteuersätze, die im Wesentlichen die verbrauchsgebundenen Kosten bestimmen. Bei den betriebsgebundenen Kosten lässt sich kein eindeutiger Kostentreiber identifizieren. Beim Elektrofahrzeug ist je nach Nutzungsdauer eine jährliche Rücklage zur Anschaffung einer Austauschbatterie zu berücksichtigen, die bei den konventionellen Fahrzeugen nicht anfällt.

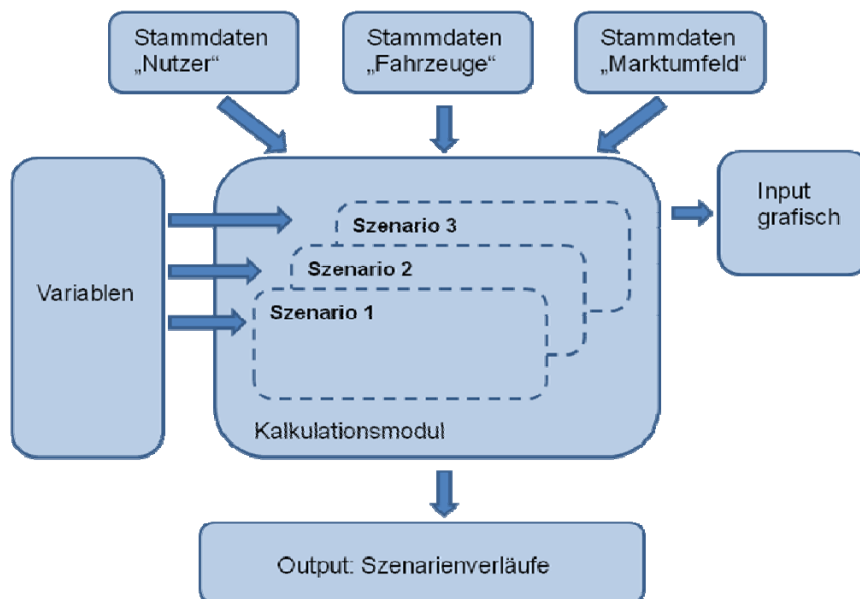
Bezüglich des Filters „Weiche Faktoren“ lässt sich kein eindeutiger potentialtreibender Faktor identifizieren. Dies ist auch nicht notwendig, da bereits Erfahrungen aus Diffusionsstudien bezogen auf diverse andere Technologiemarkte gezeigt haben, dass die mit diesen Faktoren angesprochenen Zielgruppen „Innovatoren“ und „Early Adopter“ meist nur ein Potential in Summe von max. 5% bilden [110]. Bei den nachfolgenden Beispielrechnungen wurde dieser Sachverhalt entsprechend berücksichtigt.

## **6.6. Systemseitige Umsetzung des Modells**

Die systemseitige Umsetzung des Modells erfolgte auf Basis des Tabellenkalkulationsprogramms MS-Excel. Nachstehend soll kurz auf die Struktur und den technischen Aufbau des Modells, im Folgenden als Tool bezeichnet, eingegangen werden. Aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems werden nur die wesentlichen Teile des Tools auszugsweise als Screenshots dargestellt und ergänzend kurz erläutert.

Im Kern besteht das Tool aus einem zentralen Kalkulationsmodul, in dem die wesentlichen Berechnungen für die einzelnen Szenarien durchgeführt werden (Abbildung 28). Die Stammdaten, jeweils differenziert nach Nutzer-, Fahrzeug- und Marktumfelddaten als auch die Variablen werden in separat angelegten Modulen (Reitern) geführt. So wird eine übersichtliche und nachvollziehbare Strukturierung gewährleistet. Über ein ergänzend eingerichtetes Modul (Input grafisch) können ausgewählte Variablen zusätzlich visuell dargestellt werden. Dies dient zum einen der Kontrolle der festgelegten Variablenbandbreite und zum anderen als Exportschnittstelle für eine grafische Weiterverwendung. Die Ergebnisse

der Berechnungen, d. h. die Verläufe zu den Elektrofahrzeug-Potentialentwicklungen werden als Datentabellen und in grafisch aufbereiteter Form ausgegeben (Modul „Output“).



**Abbildung 28: Struktur und technischer Aufbau des Tools**

Das Kalkulationsmodul arbeitet auf der Basis von Jahresdaten: D. h., gerechnet wird mit jährlichen betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten, jährlichen kapitalgebundenen Kosten, jährlichen Kilometerleistungen der Fahrzeuge entsprechend den Nutzergruppen usw. Untersucht wird jeweils eine Veränderung des Potenzials für die Elektromobilität in Fünfjahres-Schritten, ausgehend vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2030. Variablen-Festlegungen können für insgesamt drei verschiedene Szenarien vorgenommen werden.

Die Berechnungsabfolge gestaltet sich wie folgt: Ausgehend vom Fahrzeug-Gesamtbestand einer definierten Region, differenziert nach den sechs Fahrzeugsegmenten (wie in Kapitel 4.1.1., Abbildung 8 dargestellt) sowie den Nutzergruppen private und gewerbliche Halter, werden die einzelnen Filterstufen jeweils in Fünfjahres-Schritten und für alle definierten Szenarien durchlaufen. Am Ende ergeben sich hieraus die Verläufe zum Potential für die Elektromobilität. Abbildung 29 zeigt beispielhaft ein für die Elektromobilität verbleibendes Fahrzeugpotential des Fahrzeugsegments „Minis & Kleinwagen“ der Nutzergruppe „gewerbliche Halter“ bezogen auf das in Kapitel 7 definierte pessimistische Szenario für das Jahr 2020.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
4																				
5																				
6																				
7																				
8			<b>1</b>	<b>Klasse</b>																
9				Beschreibung																
10				Gesamt																
11				Nutzung																
12				Anzahl	1.008				1.398	53		48								8.514
13																				
14			<b>2</b>	<b>Fahrzeuge und Nutzung</b>																
15				Kraftstoff	Benzin	Diesel	Elektro	Benzin	Diesel	Elektro	Benzin	Diesel	Elektro	Benzin	Diesel	Elektro	Benzin	Diesel	Elektro	
16				Modell	VW Polo 1.4 Comfortline (DPF)	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	VW Polo 1.4 Comfortline (DPF)	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	VW Polo 1.4 Comfortline (DPF)	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	VW Polo 1.4 Comfortline (DPF)	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	VW Polo 1.4 Comfortline (DPF)	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	
17				Fahrzeugpotential %	100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%	100%
18				km/a	18.251	26.942	26.942	43.577	15.238	23.632	26.942	43.577	15.238	23.632	26.942	43.577	15.238	23.632	26.942	43.577
19				Nutzungsdauer in d/a	365	312	365	119	250	250	365	119	250	250	365	119	250	250	365	365
20				km/d	50	86	86	119	61	95	86	119	61	95	86	119	61	95	86	95
21																				
22			<b>3</b>	<b>Alltauglichkeit</b>																
23				Reichweite EV in km	132		132		132		132		132		132		132		132	132
24				Fahrzeugkriterium	100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%	100%
25				Nutzerkriterium	48%		48%		48%		48%		48%		48%		48%		48%	48%
26				Fahrzeugpotential %	48%		48%		48%		48%		48%		48%		48%		48%	48%
27																				
28			<b>4</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>																
29				Kapitalkosten /a	3.003   3.540   4.466   3.003   3.540   4.466   3.003   3.540   4.466   3.003   3.540   4.466   3.003   3.540   4.466   3.003   3.540   4.466   3.003   3.540															
30				Betriebskosten /a	760   941   487   760   941   487   760   941   487   760   941   487   760   941   487   760   941   487   760   941															
31				Verbrauchskosten /a	1.240   760   457   1.830   1.122   674   2.960   1.035   635   1.090   381   1.605   381   1.605   381   1.605   381   1.605   381   1.605															
32				Gesamtkosten /a	5.002   5.241   5.409   5.582   5.603   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627   5.686   5.627															
33				Restwert	5.042   5.232   8.696   5.042   5.232   8.696   5.042   5.232   8.696   5.042   5.232   8.696   5.042   5.232   8.696   5.042   5.232   8.696   5.042   5.232															
34				Delta zu EV	-407   -168   -34   -34   -24   -24   -95   -218   -218   -218   -176   -176   -176   -176   -176   -176   -176   -176   -176   -176															
35				Fahrzeugpotential %	39%		39%		39%		39%		39%		39%		39%		39%	39%
36				Faktor	3%		3%		3%		3%		3%		3%		3%		3%	3%
37				Gesamtfahrzeugpotential %	22%		22%		22%		22%		22%		22%		22%		22%	22%
38																				
39				Anzahl einzeln	220		682		27		6		6		6		6		6	3.279
40				Summe Nutzungsart	Sozialdienst:	231	Gütertransport	1.413	Personentransport:	262	Handwerk:		262		262		262		262	262
41				Summe gewerblich / privat nach Klassen				4.214				8.366			8.366		8.366		8.366	
42				Summe Klassen	gewerblich	7.509	privat:	14.276												
43				Summe gewerblich / privat gesamt																
44																				

Abbildung 29: Kalkulationstool (auszugweise Darstellung für das Fahrzeugsegment „Minis & Kleinwagen“ gewerblicher Halter im pessimistischen Szenario für das Jahr 2020)

Abbildung 30 zeigt auszugweise den Aufbau des Bereichs „Stammdaten Nutzer“. Hier werden die wesentlichen nutzerbezogenen Daten geführt, wie beispielsweise die unterschiedlichen jährlichen Laufleistungen und Benutzungstage/Jahr der Fahrzeuge der verschiedenen gewerblichen Nutzergruppen.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
10	km	5000	15000	25000	35000	45000	km/a	km/d	Tage/Jahr
11	Sozialdienste	6%	68%	18%	0%	7%	18.251	50	365
12	Gütertransport	10%	22%	18%	38%	12%	26.942	86	312
13	Personentransporter	0%	4%	1%	0%	95%	43.577	119	365
14	Handwerk	18%	64%	18%	1%	0%	15.238	61	250
15	sonst. Dienstleistung	6%	38%	35%	6%	15%	23.632	95	250

**Abbildung 30: Aufbau Bereich „Stammdaten Nutzer“ (auszugweise Darstellung)**

Im Bereich „Stammdaten Fahrzeuge“ sind die fahrzeugspezifischen Parameter angelegt (Abbildung 31). Differenziert nach Fahrzeugsegmenten und Antriebsart (Benziner, Diesel- und Elektromotor) handelt es sich hierbei im wesentlichen um Daten zu den Fahrzeugleistungen, spezifischen Kraftstoffverbräuchen, Anschaffungskosten, Restwerten, pauschal berücksichtigte Fixkosten für unvorhersehbare Ausgaben sowie betriebsbedingten Kosten für Wartung, Versicherung und KFZ-Steuer. Speziell für den Elektroantrieb werden hier auch die Werte bezüglich der Speicherkapazitäten der Elektrobatterien geführt.

	C	D	E	F	G	H	I
3	Klasse	K			M		
4	Modell	VW Polo			VW Golf		
5	Kraftstoff	Super	Diesel	Elektro	Super	Diesel	Elektro
6	Ausstattung	VW Polo 1.4 Comfortline	VW Polo 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Polo (Elektro)	VW Golf 1.2 TSI Comfortline	VW Golf 1.6 TDI Comfortline (DPF)	VW Golf (Elektro)
7	Leistung (kW)	63	66		77	77	
8	Verbrauch (l/100km), Herstellerang.	5,9	4,2	13,2	5,7	4,5	15
9	Listenpreis Fahrzeug	12.815 €	14.475 €	21.008 €	17.122 €	18.929 €	28.151 €
10	Fixkosten (pro Monat)*	49 €	62 €		55 €	66 €	
11	KFZ-Steuer (pro Jahr)*2	55 €	128 €		44 €	128 €	
12	Werkstattkosten (pro Monat)	29 €	30 €		36 €	35 €	
13	Werkstattkosten (pro Jahr)*	343 €	363 €	126 €	434 €	424 €	126 €
14	Versicherung (pro Jahr, berechnet)	361 €	450 €		444 €	491 €	
15	Restwert nach 8 Jahren Nutzungsdauer u. 114400 km	2.832 €	2.739 €		4.064 €	4.122 €	
16	Restwert nach 3 Jahren Nutzungsdauer u. 72.000 km	5.042 €	5.232 €		7.227 €	7.577 €	
17	Kapazität in kWh	-	-	14,3			24

**Abbildung 31: Bereich „Stammdaten Fahrzeuge“ (auszugweise Darstellung)**

Der zu untersuchende Ausgangsbestand an konventionellen Fahrzeugen, d. h. für den hier beschriebenen Fall der „Individualverkehr Münchens“, wird im Bereich „Stammdaten Marktumfeld“ beschrieben (Abbildung 32). Erfasst werden die Bestandszahlen nach den verschiedenen Fahrzeugsegmenten, jeweils differenziert nach privaten Haltern und den definierten Gewerbeclustern (gewerbliche Halter). Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bei den privaten Haltern ist die Nutzungsart des Fahrzeugs (Erst- oder Zweitfahrzeug).

	B	C	D	E	F	G	H	I
49	nach Klassen	K	M	O	Sp	G	T	gesamt
50	privater Halter	138.400	210.670	15.860	33.085	61.985	15.877	475.877
51	Erstfahrzeug	63.886	143.645	15.860	15.272	61.985	15.877	316.525
52	Zweitfahrzeug	74.514	67.025	-	17.813	-	-	159.352
53	gewerbl. Halter	11.022	61.574	15.402	3.739	20.771	8.356	120.864
54	Sozialdienst	1.009	171	34	0	56	105	1.375
55	Gütertransport	1.399	13.967	3.370	2.616	2.314	2.076	25.742
56	Personentransport	53	4.594	2.421	0	796	5	7.869
57	Handwerk	48	1.364	0	0	1.382	2.384	5.179
58	sonstige Dienstl.	8.514	41.477	9.577	1.123	16.223	3.786	80.699
59	gesamt	149.422	272.244	31.262	36.824	82.756	24.233	596.741

**Abbildung 32: Bereich „Stammdaten Marktumfeld“ (auszugweise Darstellung)**

Die zu untersuchenden Einflussgrößen sind im Bereich „Variablen“ aufgeführt, wie in Abbildung 33 dargestellt. Im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Beispielrechnungen (Kapitel 8) handelt es sich hierbei um die Kraftstoffpreise für Benzin und Diesel, die Strompreise zur Beladung der Elektrofahrzeuge sowie um finanzielle Zuschüsse, die beim Kauf eines Elektrofahrzeugs als Anschubhilfe gewährt werden.

	B	C	D	E	F	G
3		2010	2015	2020	2025	2030
4	Benzin pro l	1,15 €	1,20 €	1,26 €	1,32 €	1,39 €
5	Diesel pro l	0,99 €	1,04 €	1,10 €	1,16 €	1,23 €
6	Strom pro kWh	0,19 €	0,20 €	0,20 €	0,21 €	0,22 €
9	Kaufprämie	- €	3.000 €	2.000 €	- €	- €

**Abbildung 33: Bereich „Variablen“ am Bsp. moderates Szenario (auszugweise Darstellung)**

Der Bereich „Input grafisch“ dient der Zusammenführung und Visualisierung einzelner Variablen, deren Werte für die einzelnen Szenarien zunächst getrennt im System erfasst wurden (wie bereits im Absatz zuvor erläutert). In einer Gesamtübersicht können die Verläufe über die Zeit für alle drei Szenarien in Tabellen- und Grafikform dargestellt werden (Abbildung 34).

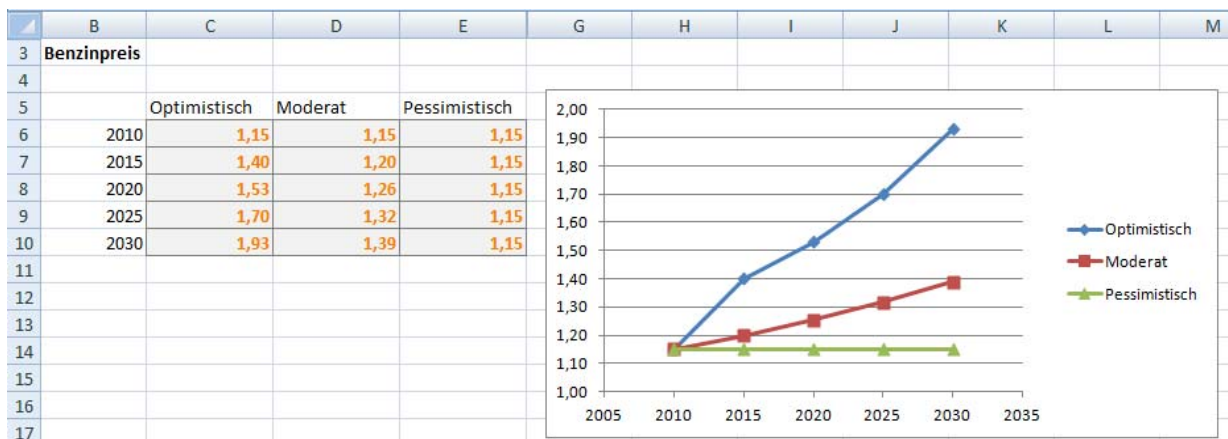


Abbildung 34: Bereich „Input grafisch“ (auszugweise Darstellung)

Die Ergebnisse aus den Berechnungen erscheinen im Bereich „Output“. Die Ausgabe erfolgt sowohl in Tabellenform als auch grafisch. Neben der Darstellung zur Entwicklung des Gesamtpotentials an Elektrofahrzeugen (wie in Abbildung 35 gezeigt) stehen ferner auch die Daten und Verläufe zum Elektrofahrzeug-Potential jeweils bezogen auf die Nutzergruppen private und gewerbliche Halter zur Verfügung.

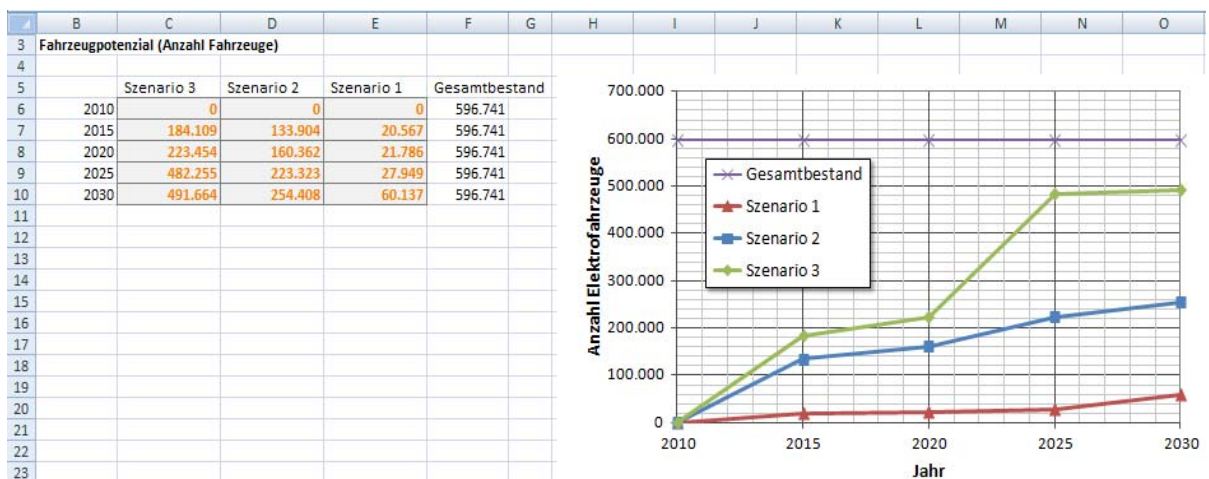


Abbildung 35: Bereich „Output“ (auszugweise Darstellung)

## 7. Definition von Beispielszenarien

Die Betrachtung des zukünftigen Potentials an Elektrofahrzeugen für München wurde anhand dreier unterschiedlicher Szenarien in Fünfjahres-Schritten, ausgehend von heute bis zum Jahr 2030, mit jeweils unterschiedlichen Rahmendaten durchgeführt. Die drei Szenarien lassen sich wie folgt grob beschreiben:

In Szenario 1 wurden Entwicklungen angenommen, die für den Fortschritt der Elektromobilität eher als pessimistisch zu werten sind. Ein ausreichendes Fahrzeugangebot an serienreifen Elektrofahrzeugen entwickelt sich nur zögerlich. Die Öl- und Strompreise bleiben auf dem derzeitigen Niveau und die Batteriepreise sinken nur langsam. Die Alltagstauglichkeit bleibt durch fortbestehende Reichenweitenrestriktionen weitgehend eingeschränkt und verbessert sich erst im späteren Verlauf. Die Politik kann sich auf keine Anschubfinanzierung einigen. Aus diesen Gründen wird das erste Szenario als „pessimistisches Szenario“ bezeichnet.

Szenario 2, welches eine „moderate Entwicklung bezüglich der E-Mobilität“ beschreibt, unterstellt dagegen bereits ein breiteres Elektrofahrzeugangebot, zukünftig leicht steigende Öl- und Strompreise und schneller sinkende Batteriekosten als im pessimistischen Szenario. Um den Einfluss einer finanziellen Förderung auf die Wirtschaftlichkeit herauszustellen, wurde im Gegensatz zu Szenario 1 ergänzend das Gewähren finanzieller Zuschüsse auf die Anschaffung von Elektrofahrzeugen als Anschubhilfe mit berücksichtigt.

Noch weiter gehende Veränderungen liegen dem Szenario 3 zu Grunde. Hier wird angenommen, dass die Öl- und Strompreise deutlich ansteigen werden und die Kosten für Batterien deutlich sinken. Dieses Szenario steht für eine „optimistische Marktentwicklung der Elektrofahrzeuge“. Im Rahmen dieses Szenarios wurde zudem, alternativ zum Förderansatz des Szenarios 2 (finanzielle Zuschüsse), eine Mineralölsteuererhöhung auf Benzin und Diesel als indirekt unterstützende Maßnahme zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge mit einbezogen.

Welche konkreten Annahmen sowie Kosten- und Preisverläufe den einzelnen Szenarien zugrunde gelegt wurden, wird im Folgenden beschrieben.

### 7.1. Parametrisierung Filter „Fahrzeugangebot“

Den nachfolgenden Parameterfestlegungen dieses Filters liegen die Erkenntnisse aus dem Kapitel 3 zu Grunde.



Gegenwärtig werden auf dem Neuwagenmarkt keine seriengefertigten Elektrofahrzeug-Modelle angeboten. Bei den aktuell im Verkehr befindlichen Fahrzeugen handelt es sich um diverse Umbauten konventioneller Fahrzeuge (z. B. Fiat 500, Citroën C1) und um Einzel-fertigungen (z. B. BMW Mini-E), die im Wesentlichen im Rahmen von Feldversuchen eingesetzt werden. Im Referenzjahr 2010 besteht folglich für alle drei Szenarien kein Elektro-Fahrzeugangebot. Erste Elektrofahrzeuge in Kleinserienfertigung sind laut Aussagen vieler Autobauer in den Jahren 2011 bis 2013 zu erwarten (gemäß Kapitel 3.1.). Mit Elektro-Modellen in Großserienfertigung wird daher erst ab dem Jahr 2015 gerechnet.

Ankündigungen der Automobilhersteller deuten darauf hin, dass zunächst die Fahrzeug-segmente Kleinwagen (K), Mittelklasse (M) und Kleintransporter (T) mit Elektromodellen bedient werden. Es wird davon ausgegangen, dass bei diesen Modellen am ehesten eine verminderte Reichweite von den Nutzern akzeptiert wird, da diese Fahrzeuge oftmals Zweit-fahrzeuge darstellen bzw. im speziellen die Transporter im Wesentlichen im innerstädtischen Lieferverkehr eingesetzt werden.

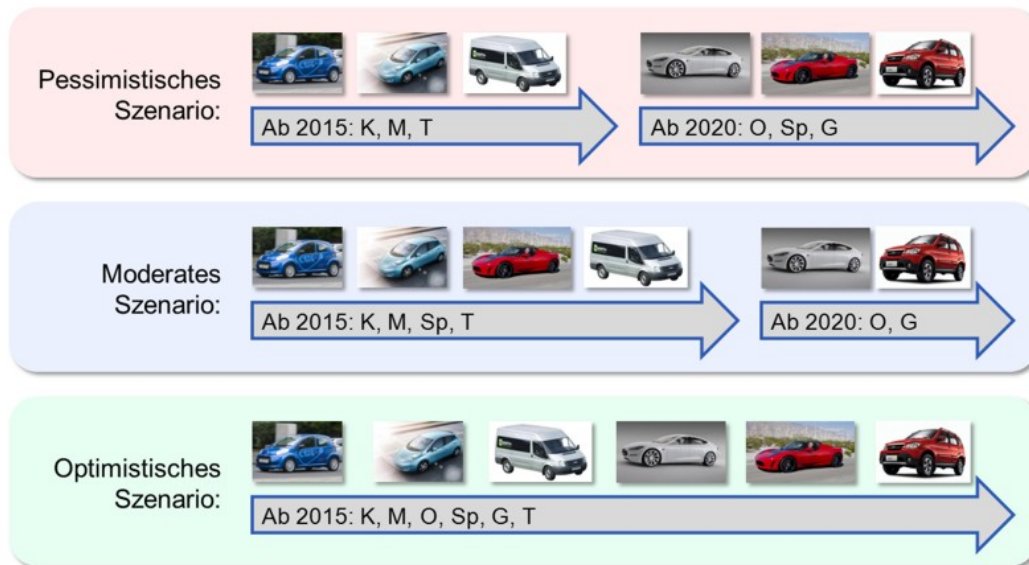
Höhere Ansprüche betreffend dem Reichweitenkomfort werden bei Elektrofahrzeugen der Oberklasse (O) erwartet. Da Nutzer dieser Klasse vermutlich weniger kompromissbereit in Bezug auf die gewünschte Reichweite sind und diese Fahrzeuge oftmals auch zur Bewäl-tigung längerer Strecken eingesetzt werden, wurde davon ausgegangen, dass für die Ober-klasse in Szenario 1 und 2 erst ab 2020 ein den Kunden entsprechendes Elektrofahrzeug-angebot vorhanden sein wird. Diese These wird auch dadurch gestützt, dass bisher kein Automobilhersteller angekündigt hat, bis zum Jahr 2015 ein Elektrofahrzeug dieser Segmentklasse in Serienfertigung auf den deutschen Markt zu bringen.

Geländewagen (G) sind gekennzeichnet durch schlechte Aerodynamik und hohes Gewicht, was wiederum zu spezifisch hohen Kraftstoffverbräuchen führt. Dies wiederum würde beim Elektrofahrzeug entweder eine größere Batterie erfordern, was sowohl Gewichts- als auch Platzprobleme mit sich bringen würde, oder zu Lasten der Reichweite gehen. Erst mit weiterentwickelten Batterien (mit deutlich höherer Energiedichte) könnte dieses Problem entschärft werden. Bezüglich des Angebotes eines Elektro-Geländewagens wurden daher die gleichen Annahmen wie bei der Oberklasse zugrunde gelegt.

Bei den Sportwagen (Sp) wurde in den Szenarien 2 und 3 bereits eine Verfügbarkeit in Serienfertigung ab 2015 unterstellt. Gerade die sehr gute Beschleunigung der Elektro-variante lässt erwarten, dass die Fahrzeughersteller diese Käuferschicht frühzeitig bedienen werden. Dies zeigt auch bereits das Angebot des Tesla Roadster. Nur für das pessimistische

Szenario wurde angenommen, dass Elektrofahrzeuge in diesem Segment erst ab 2020 erhältlich sind.

Eine Zusammenfassung der Annahmen für die drei Szenarien, welche Fahrzeugsegmente von den Herstellern ab welchem Zeitpunkt mit Elektrofahrzeugen bedient werden, ist in Abbildung 36 dargestellt.



**Abbildung 36: Fahrzeugangebot der verschiedenen Klassen** (Bildquellen: CITROËN, Nissan, Smith Electric Vehicles, Tesla, LUIS Motors)

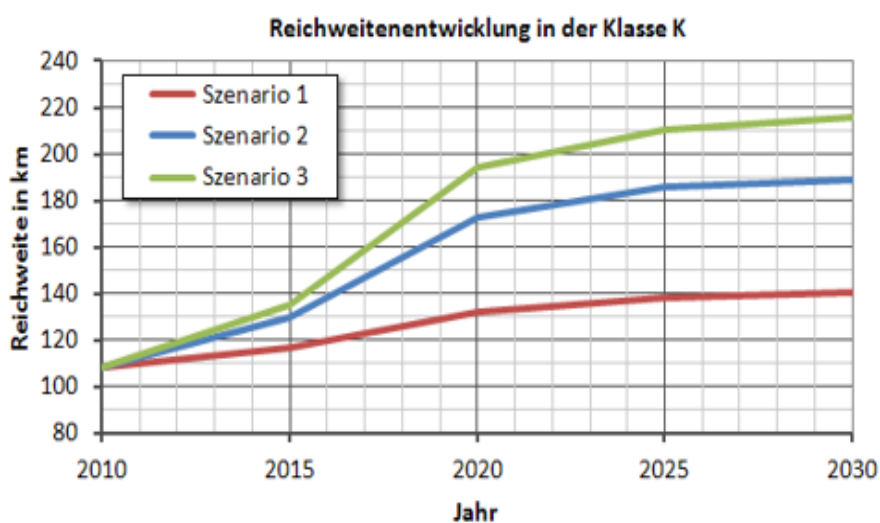
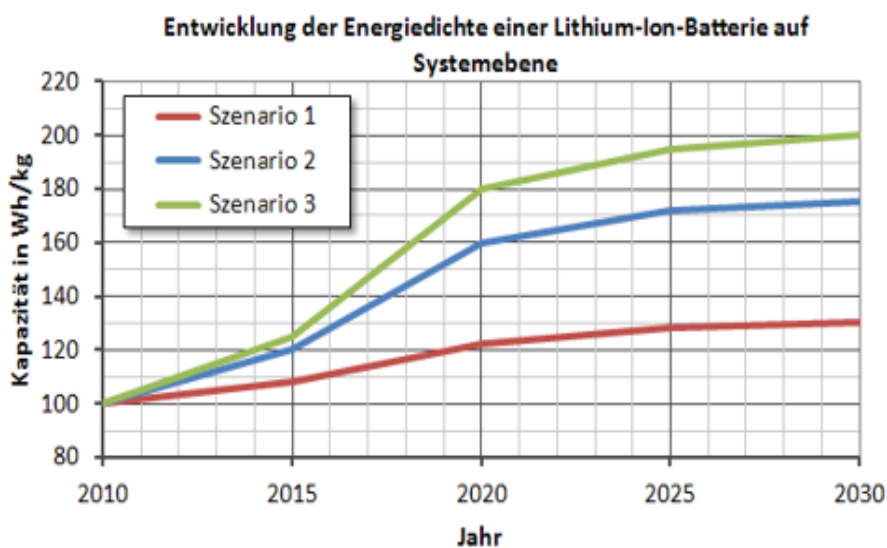
## 7.2. Parametrisierung Filter „Alltagstauglichkeit“

Wie bereits in Kapitel 6.2. beschrieben, bildet die Reichweite der Elektrofahrzeuge den zentralen Parameter beim Filter Alltagstauglichkeit. Im Rahmen dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass sich eine Steigerung der Energiedichte, wie sie für die Zukunft erwartet wird, in einer vergrößerten Reichweite niederschlägt. D.h. technologische Verbesserungen werden dazu führen, dass die Automobilhersteller Batterien mit höherer Kapazität bei gleichzeitig gleich bleibendem Batterievolumen verbauen werden. Nach einer Untersuchung von BMW [98] wird bei Li-Ionen-Batterien auf Systemebene eine Grenze bezüglich der maximalen Energiedichte bei 200 Wh/kg gesehen. Roland Berger geht im Rahmen einer Studie [97] davon aus, dass sich bereits bis 2015 die Kapazität von Li-Ionen-Batterien um 25% und bis 2020 um 80% gegenüber dem Basisjahr 2010 erhöhen wird. In Anlehnung an diese Aussagen wurden für die drei Szenarien folgende Festlegungen bezüglich einer Erhöhung der Speicherkapazitäten, d. h. bei gleich bleibenden geometrischen Maßen der Batterie, getroffen (Tab. 21):

**Tabelle 21: Kapazitätsentwicklung von Li-Ionen-Batterien, ausgehend vom Basisjahr 2010**

Kapazitätsentwicklung in %	2010	2015	2020	2025	2030
Szenario 1	100	108	122	128	130
Szenario 2	100	120	160	172	175
Szenario 3	100	125	180	195	200

Da Elektromotoren bereits heute ausgereift sind und hohe Wirkungsgrade erreichen, wurde zudem keine weitere Verbesserung im Verbrauchsverhalten unterstellt. Es ergibt sich somit eine lineare Abhängigkeit zwischen Energiedichte und Reichweite, wie in Abbildung 37, beispielhaft dargestellt.



**Abbildung 37: Entwicklung der Energiedichte (oben) und der Reichweite (unten) am Beispiel des Fahrzeugsegments der Klasse K**

Der Ausgangswert für die zukünftige Entwicklung der Reichweite wurde auf Basis der Reichweite heutiger Elektrofahrzeuge festgelegt, die als Prototyp oder in Kleinserie produziert werden bzw. deren Verkaufsstart auf absehbare Zeit angekündigt wurde. Die Reichweiten entstammen Herstellerangaben oder wurden mittels Herstellerdaten über Verbrauch und Kapazität ermittelt. Sowohl auf Seiten der konventionellen Fahrzeuge als auch auf Seiten der Elektrofahrzeuge wurden die Verbrauchswerte nach neuem europäischem Fahrzyklus (NEFZ) verwendet. D. h., Abweichungen beim spezifischen Verbrauch, die beispielsweise aus einem erhöhten Verbrauch der Elektrofahrzeuge durch das zusätzliche Heizen der Fahrgastzelle im Winter resultieren, sind somit nicht berücksichtigt. Im Ergebnis ergeben sich für die jeweiligen Fahrzeugsegmente die in der Tabelle 22 dargestellten repräsentativen Werte für das Ausgangsjahr 2010.

**Tabelle 22: Verbrauch, Kapazität und Reichweite von Elektrofahrzeugen in den Segmenten, Ausgangsjahr 2010**

	K	M	O	Sp	G	T
Verbrauch [kWh/100km]	13,2	15,0	16,0	15,6	16,0	23,8
Kapazität [kWh]	14,3	24	41,6	53	32	50
Reichweite [km]	108	160	260	340	200	210

### 7.3. Parametrisierung Filter „Wirtschaftlichkeit“

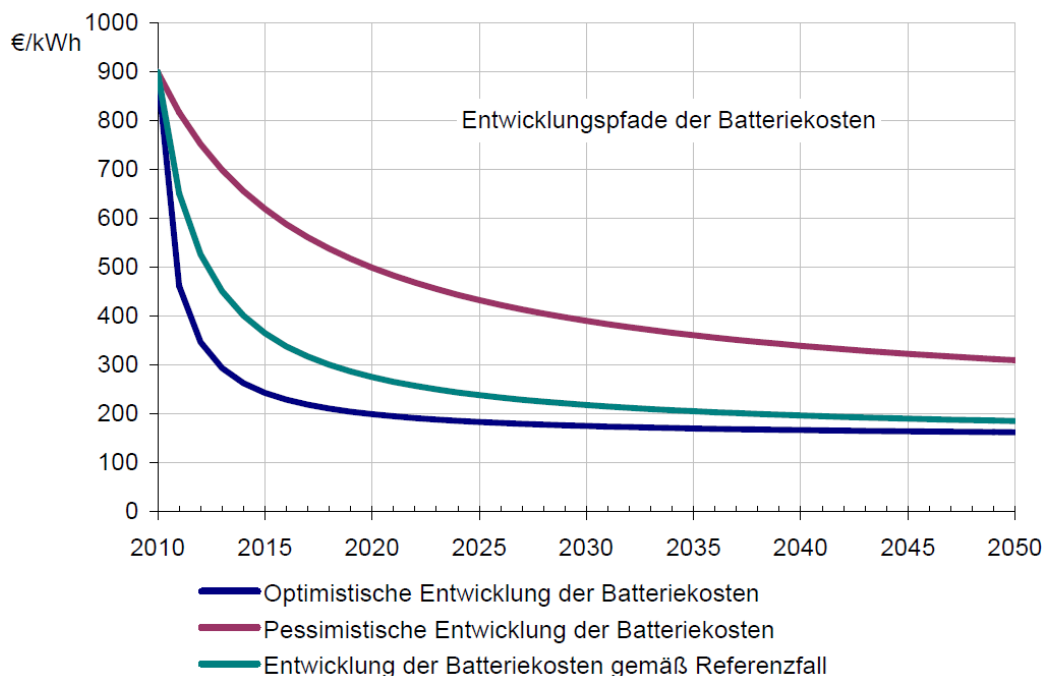
Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden mehrere Basisannahmen getroffen, die sich je nach Szenario und Zeitpunkt unterscheiden. Entsprechend der Analyse im Kapitel 6.3. bilden die Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge, die eventuelle Einführung einer Anschaffungsprämie für Elektrofahrzeuge als Investition mindernde Maßnahme, die Entwicklung der Preise für die Kraftstoffe Benzin und Diesel bzw. des Strompreises maßgebliche wirtschaftliche Einflussparameter. Als ein weiterer wichtiger Parameter wurde zudem auch die Mineralölsteuer variiert, die indirekt auf die Preise für Benzin und Diesel wirkt und somit ebenfalls einen maßgeblichen Kostenhebel darstellt. Nachfolgend werden die getroffenen Basisannahmen genauer erläutert.

#### 7.3.1. Entwicklung Anschaffungskosten Elektrofahrzeuge

Für Elektrofahrzeuge, die in Serienfertigung produziert werden, wurde angenommen, dass deren Produktionskosten exklusive der Batterie in der Größenordnung denen eines vergleichbaren Fahrzeugs mit Benzinmotor liegen. Begründet liegt diese Einschätzung in folgendem Sachverhalt, der auch von Experten der an der Modellregion München beteiligten Automobilhersteller Audi und BMW geteilt wird: Neben den als in etwa Preisgleich anzusetzenden jeweiligen Antrieben (Benzin-/Diesel- versus Elektromotor) sind die Batterie-

preise beim Elektrofahrzeug um ein vielfaches höher als die Kosten für einen konventionellen Kraftstofftank. D. h., die Mehrkosten des Elektroautos liegen im Wesentlichen in den Kosten für die Zusatzkomponente Batterie begründet. Weiter kann daraus gefolgert werden, dass für die Wirtschaftlichkeit eines Elektrofahrzeugs die Batteriepreise eine entscheidende Bedeutung haben.

Als Basis für die Entwicklung der zukünftigen Batteriekosten in den drei Szenarien wurden die Verläufe der EWI-Studie „Potentiale der Elektromobilität bis 2050“ verwendet [48]. Dort wurde von einem Referenzfall, einem optimistischen sowie einem pessimistischen Fall ausgegangen. In Abbildung 38 sind die unterstellten Entwicklungen bezüglich der Batteriekosten bis 2050 dargestellt.



**Abbildung 38: Entwicklungspfade der Batteriekosten in €/kWh (Angaben inkl. MWSt.) gemäß [48]**

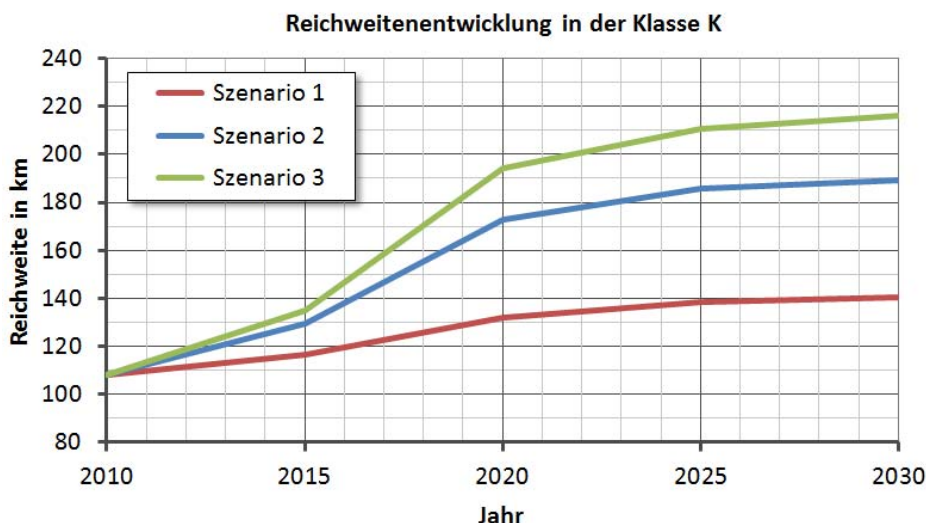
Bis zum Jahr 2030 wurden die Angaben der EWI-Studie übernommen (Tabelle 23). Dabei entspricht Szenario 2 dem Referenzfall der EWI-Studie.

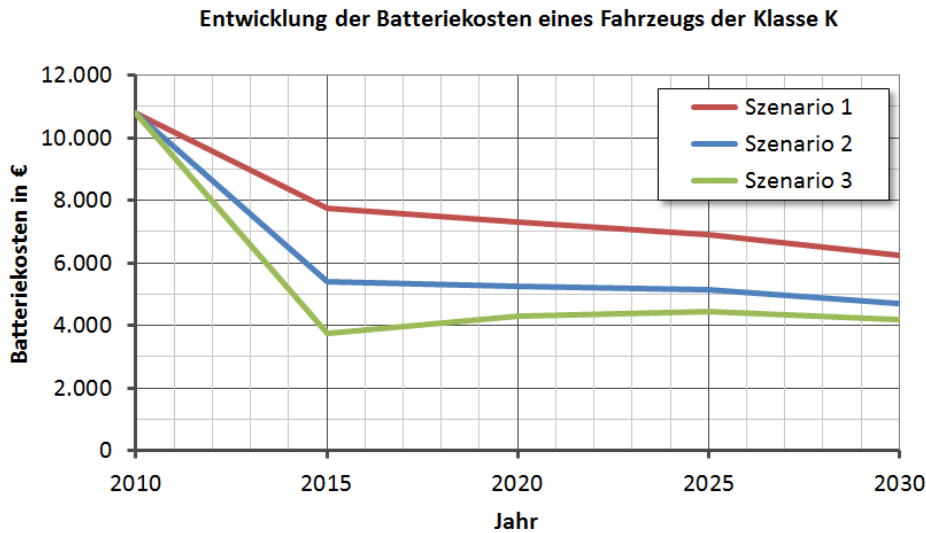
**Tabelle 23: Entwicklung der Batteriepreise in €/kWh (Angaben inkl. MWSt.)**

Batteriekosten	2010	2015	2020	2025	2030
Szenario 1	900 €	600 €	500 €	450 €	400 €
Szenario 2	900 €	375 €	275 €	250 €	225 €
Szenario 3	900 €	250 €	200 €	190 €	175 €

Die Angaben wurden zudem mit den Prognosen und Erwartungen mehrerer renommierter Institute verglichen. In praktisch allen Studien wird davon ausgegangen, dass die Batteriepreise in den nächsten Jahren deutlich sinken werden. So nennt beispielsweise die Boston Consulting Group 360-440 \$ pro kWh (ca. 280-340 €) bis 2020 realistisch [105], in [106] werden 400 \$ bis 2020 (ca. 310 €) prognostiziert, Roland Berger geht von 200 € aus [97].

Neben dem deutlichen Rückgang der spezifischen Batteriepreise pro kWh ist allerdings noch ein gegenläufiger Effekt zu berücksichtigen: Die Annahme, dass zukünftig die Reichweite durch eine verbesserte Batteriekapazität steigen wird. D. h., aus einer kapazitiv größeren Batterie (bei gleichbleibenden volumetrischen Maßen) resultieren wiederum höhere Investitionskosten, wodurch der Rückgang der Batterie-Gesamtkosten etwas gedämpft wird. Der Verlauf der Batterie-Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Reichweitensteigerung in den einzelnen Szenarien ist beispielhaft für das Fahrzeugsegment der Klasse K in Abbildung 39 dargestellt.

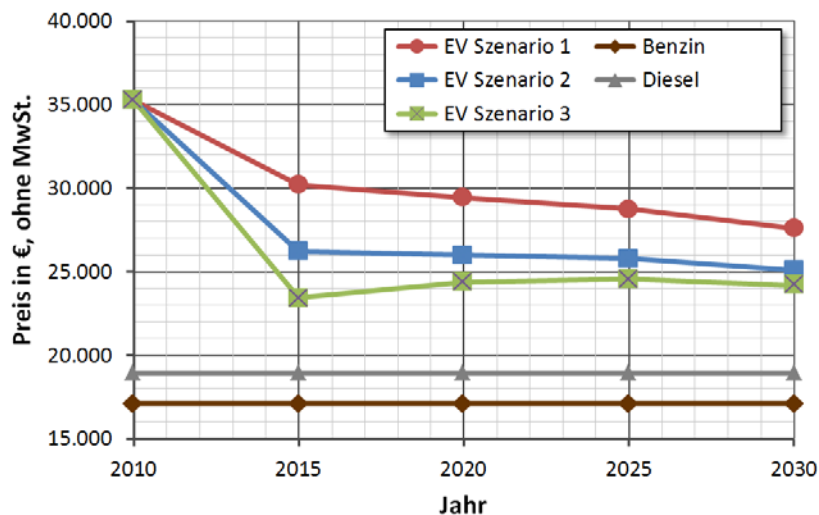




**Abbildung 39: Entwicklung Gesamt-Batteriekosten (oben) in Abhängigkeit der Reichweitenentwicklung (Seite zuvor, unten) am Beispiel des Fahrzeugsegments der Klasse K**

Generell sind die Batteriekosten rückläufig, ab 2015 ist jedoch ein Knick mit anschließender Seitwärtstendenz erkennbar. Aufgrund der in 2020 deutlich verbesserten Reichweite kommt es im Szenario 3 sogar wieder zu einem leichten Anstieg der Batteriekosten. D. h. für diesen Fall nehmen die Gesamtkosten für eine volumetrisch gleichbleibende Batterie durch eine deutlich gesteigerte Batteriekapazität stärker zu als dies durch spezifisch sinkende Batteriekosten (€/kWh) aufgefangen werden könnte.

Am Beispiel eines VW Golf sind nachstehend (Abbildung 40) die Anschaffungskosten für unterschiedliche Antriebsvarianten dargestellt.



**Abbildung 40: Vergleich der Anschaffungskosten eines VW Golf mit Elektroantrieb (EV) mit denen eines Benzin- und Dieselmotors**

Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung der spezifischen Batteriepreise und deren Kapazität variieren die Anschaffungskosten des Elektroautos in den einzelnen Szenarien. Im zuvor aufgeführten Beispiel des VW Golf wurde von einer anfänglichen Batteriegröße von 24 kWh ausgegangen. Die unterstellte Reichweitensteigerung führt zu stagnierenden (Szenario 2) bzw. sogar ab 2015 zu leicht steigenden (Szenario 3) Anschaffungskosten. Aus der Grafik lässt sich zudem ablesen, dass ein deutlicher Mehrpreis der Elektrofahrzeuge auch in Zukunft bestehen bleiben wird.

### 7.3.2. Monetäre Kaufanreize durch finanzielle Förderung

Die höheren Anschaffungskosten können beispielsweise durch eine gezielte finanzielle Förderung der Elektromobilität weiter reduziert werden. In vielen Staaten der Welt laufen hierzu umfangreiche Programme. Monetäre Kaufanreize reichen von Steuerermäßigungen (z.B. bei der Mehrwertsteuer, Zulassungsgebühren) bis zur direkten Auszahlung einer Prämie beim Kauf eines Elektroautos. In Kapitel 2.3. wurden bereits Beispiele aufgezeigt, in welcher maximalen Höhe Verkaufsfördermaßnahmen für Elektrofahrzeuge in anderen Ländern bereits umgesetzt wurden.

#### Anschubförderung mittels finanzieller Zuschüsse

Staatliche Anschubförderungen sind hierbei der direkteste Ansatz, die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugen zu verbessern. In der vorliegenden Arbeit wurde je nach Szenario davon ausgegangen, dass sich die deutsche Politik ebenfalls entscheiden wird, eine einmalige Kaufprämie für Elektroautos einzuführen. Aufgrund begrenzter finanzieller Möglichkeiten im Bundeshaushalt wurde jedoch von relativ geringen Zuschüssen auf die Fahrzeuganschaffung (Tabelle 24) im Vergleich zu anderen Staaten ausgegangen. Angenommen wurden im moderaten Szenario 2 für das Jahr 2015 eine Anschubhilfe in Höhe von 3.000 €, die bereits im Jahr 2020 auf 2.000 € abgeschmolzen sein wird.

**Tabelle 24: Angenommene Kaufprämien für Elektrofahrzeuge**

Kaufprämie	2010	2015	2020	2025	2030
Szenario 2	-	3.000 €	2.000 €	-	-

Mit diesem Ansatz soll den politischen Überlegungen Rechnung getragen werden, dass zum einen eine Zuschussregelung zeitlich befristet sein soll und zum anderen davon ausgegangen wird, dass im Zeitverlauf die Elektrofahrzeuge günstiger werden und somit eine Abschmelzung der Förderbetrags sachgerecht ist (ähnlich wie bereits bei der Einspeisevergütung von Photovoltaikanlagen im Rahmen des EEG geregelt). Für das Jahr



2030 wird davon ausgegangen, dass sich die Elektrofahrzeuge bis zu diesem Zeitpunkt am Markt durchgesetzt haben und keine Förderung mehr benötigen.

#### Steuerliche Förderung im Rahmen der Mineralölbesteuerung

Die Mineralölsteuer stellt eine wesentliche Kostenkomponente im Rahmen der Preisbildung der konventionellen Kraftstoffe dar. Nach dem Mineralölsteuergesetz (MinöStG) werden derzeit folgende Beträge pro Liter Kraftstoff erhoben:

- Benzin (Super): 65,45 ct/l
- Diesel: 47,04 ct/l

Diese Steuersätze beinhalten bereits den Ökosteueranteil von 15 ct/l. Um den Einfluss der Mineralölsteuer auf die jährlichen Gesamtkosten der Benzin/Dieselfahrzeuge und somit den indirekten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge darzustellen, wurde für das optimistische Szenario 3 eine Verdopplung der Ökosteuer auf 30 ct/l ab dem Jahr 2015 angenommen (Tab. 25). Mit dem Ansatz einer Verdopplung des Ökosteueranteils wird dem Gedanken Rechnung getragen, über eine derartige Maßnahme im speziellen die Marktabstärkung umweltfreundlicher Antriebe zu fördern.

**Tabelle 25: Angenommener Ökosteueranteil für die Kraftstoffe Benzin (Super) und Diesel**

Ökosteuer	2010	2015	2020	2025	2030
Szenario 3	15 ct/l	30 ct/l	30 ct/l	30 ct/l	30 ct/l

### **7.3.3. Entwicklung Öl- und Kraftstoffpreise**

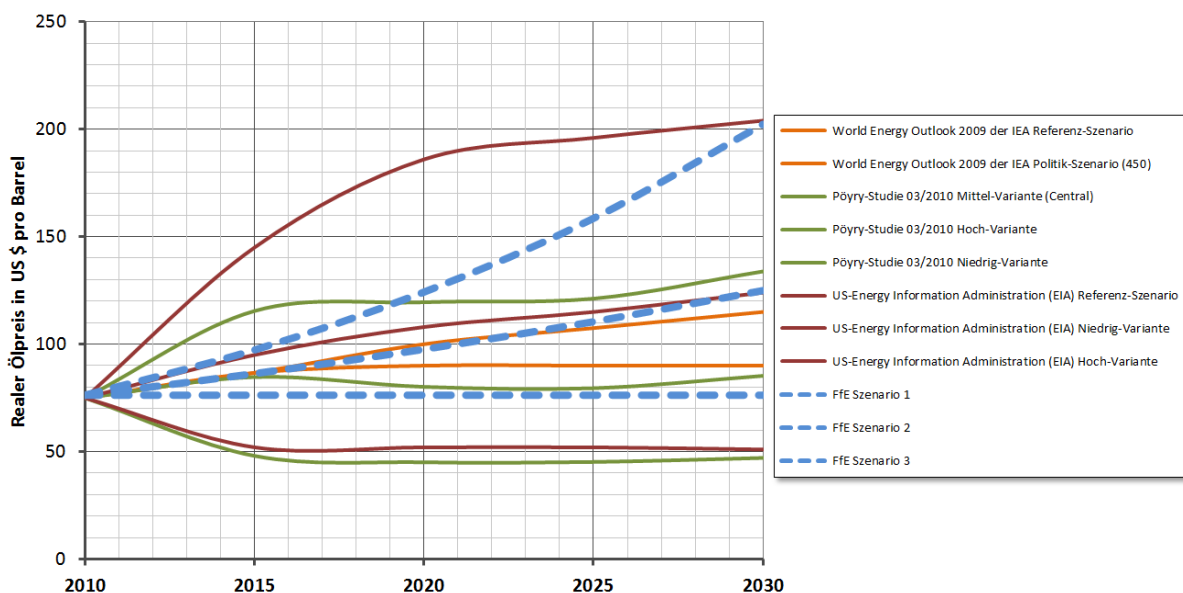
Bei der Erstellung der drei Szenarien wurden im Bereich der verbrauchsabhängigen Kosten u. a. die Benzin- und Dieselpreise variiert. Die Preise für diese beiden Kraftstoffe sind an die Preisentwicklung des Ausgangsproduktes Öl gekoppelt. Die zukünftige Entwicklung des Ölpreises wurde in den drei Szenarien in Anlehnung an die Angaben des „International Energy Outlook 2010“ [107] variiert. In einem Niedrigpreisszenario wird dort ein Preis von 52 \$/bbl. bis 2030 prognostiziert. Im Referenzszenario werden 124 \$/bbl. erwartet, in einem Hochpreisszenario 204 \$/bbl. Mit den Annahmen der Studie des „International Energy Outlook 2010“ wird das gesamte Spektrum an Ölpreisprognosen anderer renommierter Institute und Einrichtungen abgedeckt (Abbildung 41).

Um die Bandbreite der Ölpreisentwicklungen auch im Rahmen dieser Arbeit abzubilden, wurde ausgehend von einem Startwert von 76 \$/bbl., welcher etwa dem Großhandelspreisniveau in 2010 entspricht, ein jährlicher Anstieg um einen konstanten Prozentsatz angenommen (Tabelle 26).

**Tabelle 26: Angenommene Ölpreisentwicklung bis 2030**

Ölpreis-entwicklung	Anstieg	Ölpreis 2030
	pro Jahr	\$/bbl.
Szenario 1	0 %	76
Szenario 2	2,5 %	125
Szenario 3	5 %	202

Aufgrund der in Kapitel 1 dargestellten Reserven- und Ressourcensituation fossiler Energieträger wird ein langfristig sinkender Ölpreis allgemein für eher unrealistisch gehalten, so dass für das Szenario 1 von einem gleichbleibenden Wert (Anstieg 0%) ausgegangen wurde. Bei einem jährlichen Anstieg von 5% errechnet sich bezogen auf das Jahr 2030 ein Preis wie im Hochpreisszenario des „International Energy Outlook 2010“. Der mittlere Wert (125 \$) für 2030 bewegt sich zudem im Rahmen der meisten Prognosen anderer renommierter Institute, als Beispiele wurden der World Energy Outlook 2009 der International Energy Agency (IEA) [108] und der Wholesale Electricity Price Projections for Germany von Pöyry Energy Consulting [109] hinzu gezogen. Die Bandbreite dieser Prognosen sowie ein Vergleich mit den in dieser Arbeit angenommenen Verläufen ist in Abbildung 33 verdeutlicht.



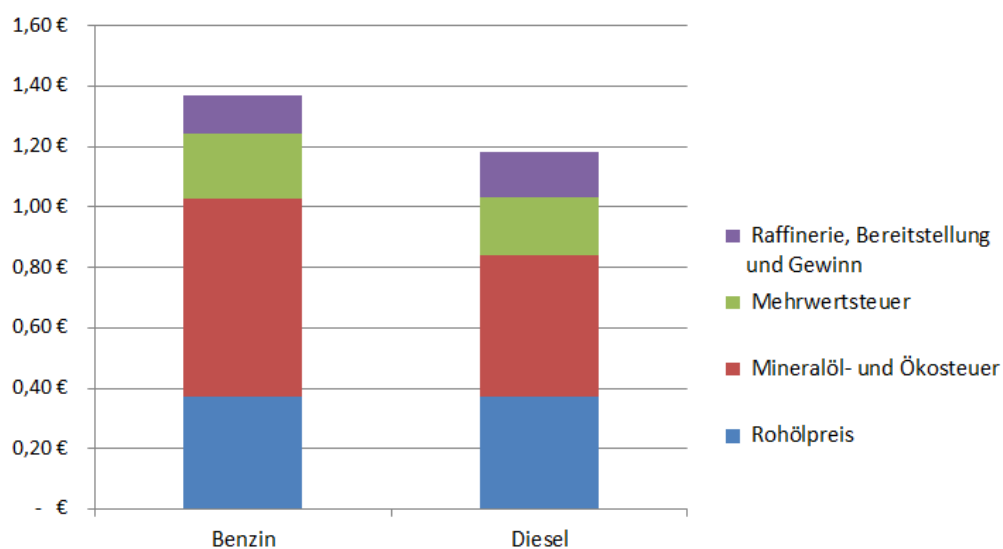
**Abbildung 41: Vergleich verschiedener Ölpreisprognosen mit den angenommenen Ölpreisentwicklungen dieser Arbeit**

Weiter ist zu berücksichtigen, dass der Rohölpreis nur ein Bestandteil des Kraftstoffpreises bildet. D. h., Ölpreissteigerungen wirken sich nicht 1:1 auf die Endverbraucherpreise an der Tankstelle aus, sondern nur anteilmäßig. Hierzu war notwendig, die Bestandteile des Endkundenpreises einzeln zu betrachten. Größter Posten bei den Tankstellenpreisen in

Deutschland sind die Steuern. Seit 2003 beträgt die Mineralölsteuer (inkl. Ökosteuer), wie bereits im Kapitel zuvor dargestellt, 65,45 ct pro Liter Benzin (Super) und 47,04 ct pro Liter Diesel. Zusätzlich werden 19 % Mehrwertsteuer auf den Gesamtpreis erhoben. Der Preisanteil des zur Produktion aufgewendeten Rohöls beträgt hingegen nur 37 ct pro Liter (bei einem Eurokurs von 1,29 US-\$ zum 18.08.2010).

Nach Abzug aller Steuern und des rechnerischen Rohölpreis-Anteils verbleibt ein Rest von 13 ct pro Liter Benzin (Super) und 15 ct pro Liter Diesel. Hierin enthalten sind sämtliche Aufwendungen für Raffinerie, Transport, Lagerhaltung, Vertrieb etc. sowie verbleibende Gewinnanteile in den verschiedenen Wertschöpfungsstufen.

Die Zusammensetzung der Benzin- und Dieselpreise in Deutschland, die im Verlauf des Jahres 2010 bei durchschnittlich 1,37 € bzw. 1,18 € lagen, ist in Abbildung 42 dargestellt.



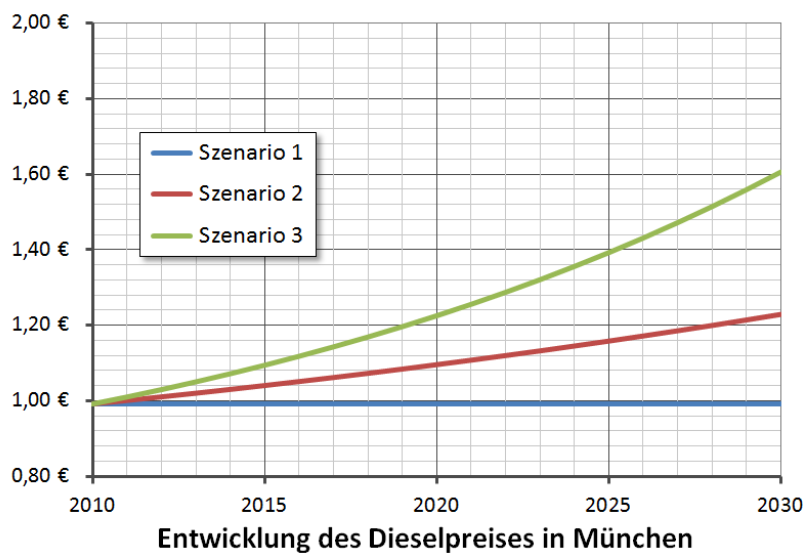
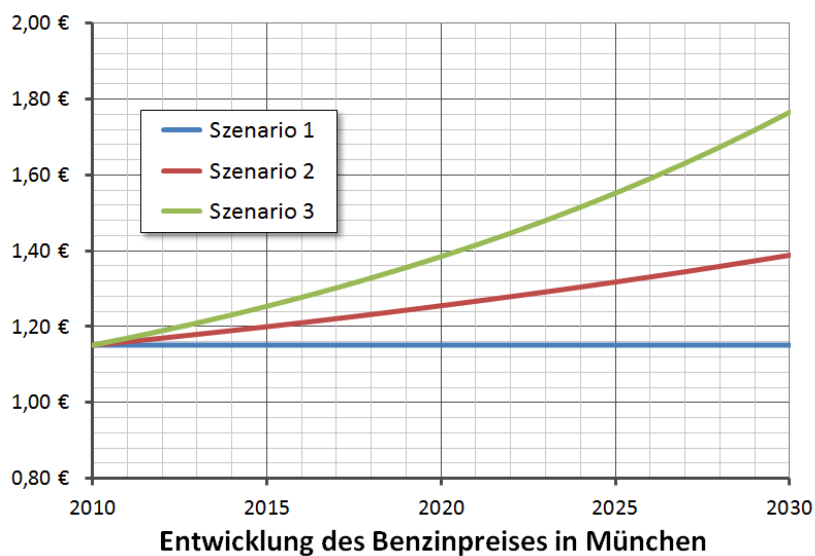
**Abbildung 42: Zusammensetzung der Kraftstoffpreise in Deutschland**

Für die Preisszenarien wurde angenommen, dass sich nur die Ölpreise verändern und alle übrigen Preisbestandteile konstant bleiben (die Variation der Mineralöl-/Ökosteuer wird im Modell gesondert berücksichtigt). Hieraus ergeben sich die in Tabelle 27 dargestellten Netto-Endverbraucherpreise (ohne MWSt.) für Benzin (Super) und Diesel.

**Tabelle 27: Rohölpreise in 2030 und korrespondierende Netto-Kraftstoffpreise (Super-Benzin und Diesel)**

Preise in 2030	Rohöl	Benzin	Diesel
	\$/bbl.	€/l	€/l
<b>Szenario 1</b>	76	1,15	0,99
<b>Szenario 2</b>	125	1,39	1,23
<b>Szenario 3</b>	202	1,77	1,61

Da der Ölpreis der einzige variable Faktor ist, ergeben sich ähnliche Kurvenverläufe für die Benzin- und Dieselpreise in den einzelnen Szenarien, wie in Abbildung 43 gezeigt.

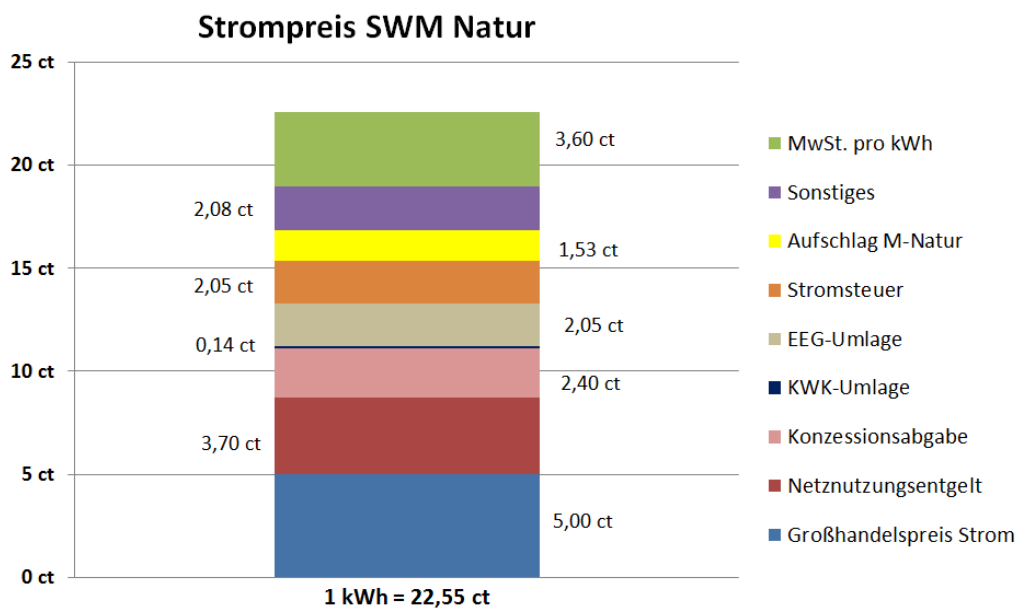


**Abbildung 43: Verlauf der Kraftstoffpreise für Benzin (Super) und Diesel bis 2030**

### 7.3.4. Entwicklung Endkundenpreise für Strom

Bezogen auf das Elektrofahrzeug bildet der Endkundenstrompreis die maßgebliche Größe zur Bestimmung der verbrauchsabhängigen Kosten. Strom wird von den Energieversorgern hauptsächlich über den Großhandel eingekauft. Der Großhandelspreis für Strom macht wiederum nur ein Bestandteil des Endkundenpreises aus, so dass sich Preisänderungen beim Großhandelspreis nicht 1:1 auf die Endverbraucherpreise auswirken, sondern nur anteilmäßig.

Zudem wurde davon ausgegangen, dass für das Laden von Elektrofahrzeugen ausschließlich regenerativ erzeugter Strom eingesetzt wird. Begründet liegt diese Annahme in der Tatsache, dass unter Umwelt- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkten, wie in Kapitel 2.1. bereits dargestellt, die Zukunftsfähigkeit des Elektroantriebs nur verknüpft mit der Verwendung regenerativ erzeugten Stroms gesehen wird. Für die Berechnungen auf München bezogen wurde beispielhaft das Produkt „M-Natur“ verwendet. Das Produkt M-Natur garantiert, dass der bereitgestellte Strom bereits heute zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammt. Im August 2010 kostete dieses Produkt 22,55 ct/kWh, welches sich in folgende Einzelbestandteile aufteilen lässt (Abbildung 43):



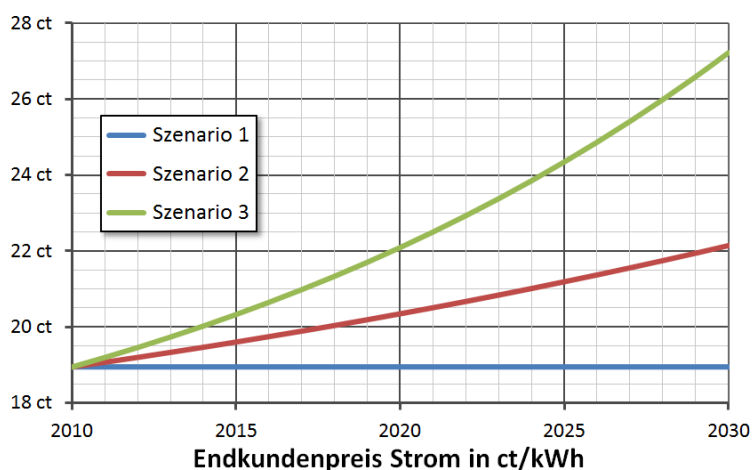
**Abbildung 43: Zusammensetzung des Strompreises M-Natur**

Der Gesamtpreis von 22,55 ct/kWh setzt sich dabei zusammen aus dem Preis für das herkömmliche Produkt M-Strom einschließlich eines Aufpreises von 1,53 ct/kWh, der in den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien investiert wird. Durch die preisliche Ver-

knüpfung des M-Natur-Stroms mit dem klassischen Produkt M-Strom wirken sich Preisveränderungen im Großhandelsmarkt für Strom auch direkt auf das Produkt M-Natur aus.

Bezüglich der konkreten Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Strom-Großhandelspreises liegt folgende Überlegung zugrunde: Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen den Rohstoffpreisen weltweit gehandelter Energieträger. Zum einen ist die Nachfrage nach allen Energieträgern gleichermaßen abhängig von der Weltkonjunktur, zum anderen sind einzelne Energieträger zumindest teilweise durch andere zu ersetzen. Zudem werden in der heute noch dominierenden konventionellen Stromerzeugung fossile Primärenergieträger eingesetzt, die eine wesentliche Komponente der Stromerzeugungskosten bilden. Steigende Energieträgerpreise führen somit tendenziell auch zu steigenden Strompreisen. Dieser Sachverhalt kann auch auf das hier verwendete Produkt „M-Natur“ übertragen werden, da die Preisbildung dieses Produktes auf dem des konventionellen Produktes M-Strom fußt. Im Ergebnis wurde angenommen, dass sich die Großhandelspreise für Strom in den einzelnen Szenarien analog zu den Ölpreisen entwickeln werden, also mit gleicher prozentualer Steigerung. Alle übrigen Preisbestandteile wurden als konstant angenommen.

Als Ausgangswert für 2010 wurde ein Großhandelspreis von 50 €/MWh bzw. 5 ct/kWh angesetzt. Dieser abgeschätzte Wert entspricht in etwa dem durchschnittlichen Großhandels-Preisniveau im Jahr 2010. In Abbildung 44 ist die darauf aufbauende weitere Entwicklung des Endkundenpreises unter den angenommen Preissteigerungsraten in den einzelnen Szenarien grafisch dargestellt.



Preise in 2030	Großhandel	Endkundenpreis
	€/MWh	ct/kWh
Szenario 1	50 €	19 ct
Szenario 2	82 €	22 ct
Szenario 3	133 €	27 ct

**Abbildung 44: Verwendete Strompreisverläufe zum Produkt M-Natur**

In der Abbildung ist deutlich die Analogie des Kurvenverlaufs zu den Benzin- und Dieselpreisen zu erkennen. Die Preissteigerung beim Strom fällt jedoch etwas geringer aus, da der

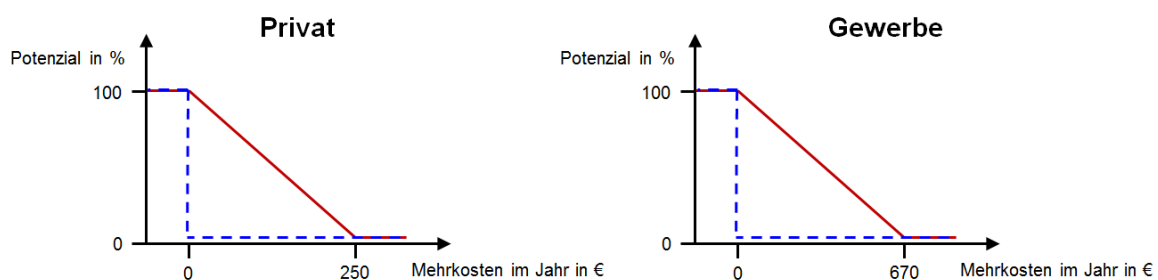
Anteil des Strom-Großhandelspreises am Endkundenpreis geringer ist als der Anteil des Rohölpreises an den Benzin- und Dieselpreisen.

### 7.3.5. Bestimmung des wirtschaftlichen Potentials

Bei der Bestimmung des Potentials an Elektrofahrzeugen wurde davon ausgegangen, dass der Faktor Wirtschaftlichkeit grundsätzlich kein Hemmnis mehr darstellt, sobald die jährlichen Gesamtkosten eines Elektrofahrzeuges kleiner oder gleich der günstigsten Alternative (also einem Fahrzeug mit Benzin- oder Dieselmotor) sind.

Falls das Elektrofahrzeug in der Wirtschaftlichkeitsrechnung hingegen teurer als die günstigste Alternative ist, wurde zudem dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass ein großer Teil der Nutzer bereit ist, für ein Elektrofahrzeug einen gewissen Mehrpreis zu akzeptieren. Wie mehrere Umfragen und Studien ergeben haben, liegt der eingeräumte Mehrpreis für ein Elektrofahrzeug in der Größenordnung von 2.000 € (wie bereits in Kapitel 4.1.1. beschrieben). Umgerechnet auf die Nutzungsdauer von 8 Jahren im privaten Bereich und 3 Jahren im gewerblichen Bereich ergibt sich ein maximaler Preisaufschlag von 250 bzw. 670 € pro Jahr.

Bei der Potentialermittlung wurden über eine lineare Funktion „akzeptierte jährliche Mehrkosten“ mit berücksichtigt, so dass sich ein fließender Übergang von Wirtschaftlichkeit zu Unwirtschaftlichkeit ergibt (Abbildung 45).



**Abbildung 45: Bestimmung des EV-Potentials in Abhängigkeit der jährlichen Mehrkosten**

D. h., erst bei Überschreiten der Grenze von 250 bzw. 670 € pro Jahr wird der wirtschaftliche Nachteil als so gravierend gesehen, dass das Elektrofahrzeug-Potential aus wirtschaftlicher Sicht auf 0 % absinkt.

## 7.4. Parametrisierung Filter „Weiche Faktoren“

Erfahrungen aus Diffusionsstudien in diversen Technologiemarkten haben gezeigt, dass die Gruppe der „Innovatoren“ und „Early Adopter“ meist ein Potential von bis zu 5 % bilden [110]. Daher wurde der Einfluss der weichen Faktoren im gleichen Maße auf die Modellrechnungen dieser Arbeit transferiert. Dabei wurden je nach Szenario Abweichungen unterstellt.

In Szenario 1 wurde mit einem über den Betrachtungszeitraum gleichbleibenden Potential von 3 % gerechnet. Hauptgründe für den reduzierten Prozentsatz sind unterstellte fehlende Privilegien und Informationsdefizite, so dass nicht das gesamte Potential dieser Käuferschicht erreicht wird. Jedoch gilt das Elektroauto bereits - wie in den beiden anderen Szenarien - als Lifestyle-Produkt.

In Szenario 2 sorgen der Ausbau regenerativer Energien und ein damit verbundenes gesteigertes Interesse an Elektrofahrzeugen sowie die Einführung von Privilegien ab 2025, für einen Anstieg auf 5 %.

Im optimistischen Szenario 3 wird unterstellt, dass dieses gesteigerte Interesse bereits ab 2020 greift. Allerdings klingt der positive Einfluss ab dem Jahr 2030 wieder ab, da sich Elektrofahrzeuge etabliert haben und nicht mehr als herausragende Neuerung mit Innovationscharakter gesehen werden.

Eine Übersicht zu den Festlegungen dieses Filters ist in Abbildung 46 dargestellt.

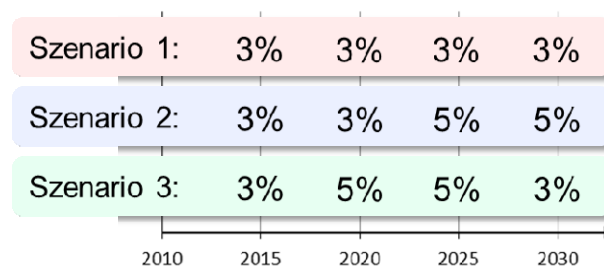


Abbildung 46: Zugrunde gelegtes Potential der „Weichen“ Faktoren“

## 8. Ergebnisse aus den Beispielszenarien

Auf Basis der zuvor erläuterten Festlegungen ergaben sich nachstehende Ergebnisse bezüglich der zukünftigen Entwicklung des Potentials an Elektrofahrzeugen im Umfeld Münchens. Gezeigt wird einerseits das Gesamtpotential an Elektrofahrzeugen, sowie andererseits die Potentialverläufe jeweils für die Nutzergruppen private und gewerbliche



Halter. An dieser Stelle sei die grundsätzliche Ausrichtung der drei verwendeten Szenarien (wie bereits zu Beginn des Kapitels 7 beschrieben) nochmals erwähnt:

- Szenario 1: Mit pessimistischen Annahmen
- Szenario 2: Mit moderaten Annahmen
- Szenario 3: Mit optimistischen Annahmen

## 8.1. Gesamtpotential Elektrofahrzeuge

Unter Zugrundelegung des gesamten Fahrzeugbestandes Münchens zeigt sich ein breites Spektrum möglicher Entwicklungen bezüglich dem Potential an Elektrofahrzeugen (Abbildung 47). Entsprechend dem optimistischen Szenario ergibt sich bis 2030 ein Potential von knapp 500.000 Fahrzeugen mit Elektroantrieb. Das entspricht etwa 83 % des gesamten Pkw-Bestandes Münchens. Weitaus weniger Elektrofahrzeuge sind im pessimistischen Fall zu erwarten. Das Potential liegt hier bei etwa 60.000 Fahrzeugen im Jahr 2030.

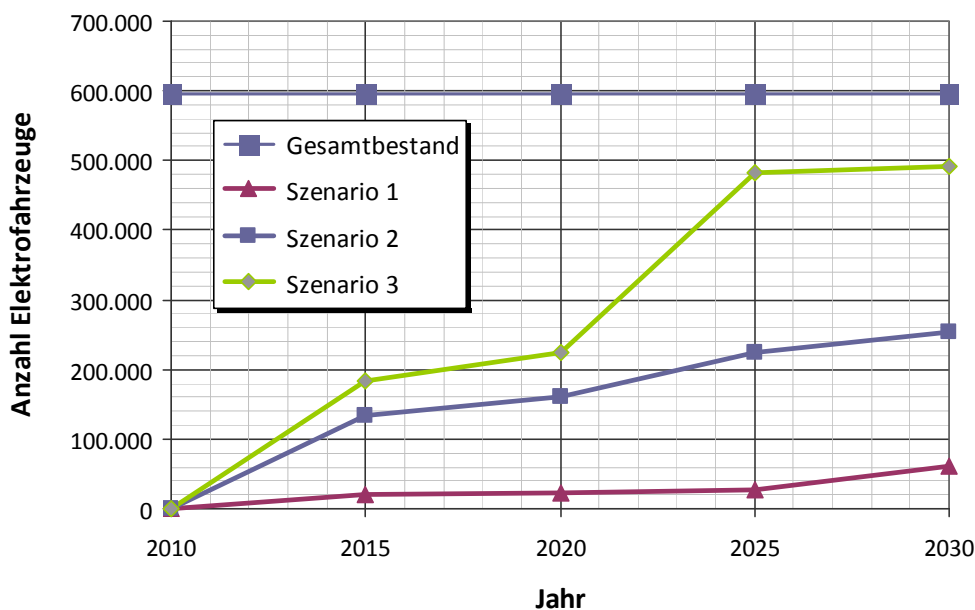


Abbildung 47: Entwicklung des Gesamtpotentials an Elektrofahrzeugen

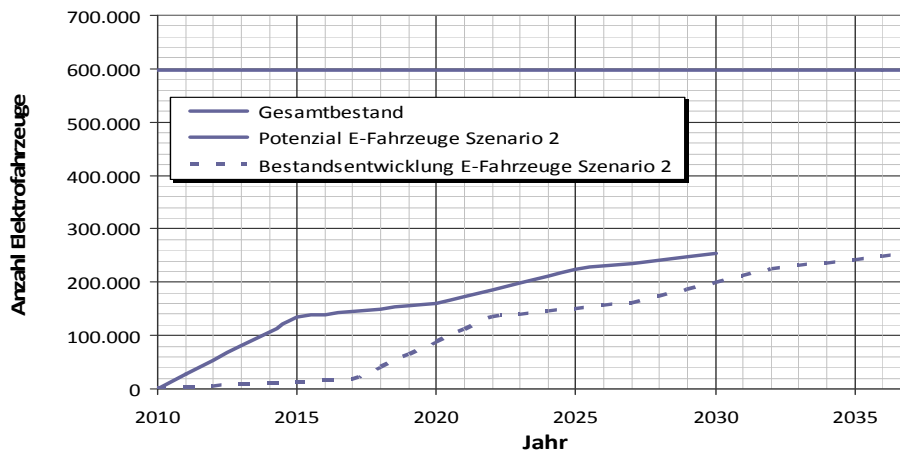
Maßgeblich für die Potentialentwicklung in allen drei Szenarien sind die über die Zeit exponentiell abnehmenden Batteriekosten. Nur im pessimistischen Szenario reicht der Rückgang der Batteriekosten nicht aus, dass sich ein signifikantes Potential an Elektrofahrzeugen entwickeln kann. Zusätzlich unterstützend im Hinblick auf eine deutliche Potentialzunahme wirken die angesetzten finanziellen Anreize: Die Erhöhung der Mineralölsteuer auf Benzin und Diesel um 15 ct/l (optimistisches Szenario) wie auch die temporär gewährten Zuschüsse auf die Anschaffung von Elektrofahrzeugen in Höhe von 3.000 € in 2015 bzw. 2.000 € in 2020 (moderates Szenario) haben eine vergleichbare Wirkung auf die Potential-

entwicklung in der Markteinführungsphase (2015 - 2020). Bereits im Jahr 2015 steigt im optimistischen Szenario das Potential für Elektrofahrzeuge auf etwas mehr als 180.000 Fahrzeuge, im moderaten Fall auf annähernd 140.000 Fahrzeuge. Das moderate Szenario zeigt zudem, dass die zeitliche Begrenzung der Zuschussregelung auf die Jahre 2015 und 2020 nicht zu einem Einbruch des Elektrofahrzeugpotentials in der Folgezeit führt. D. h., bei entsprechendem Rückgang der Batteriekosten (wie in dem moderaten und optimistischen Szenario zugrunde gelegt) könnte in der Phase der Marktetablierung (ab 2020) auf finanzielle Förderungen verzichtet werden. Ersichtlich wird aber auch, wie sich die moderat angehobene Mineralölsteuer auf Benzin und Diesel auf die Potentialentwicklung auswirkt: Entsprechend dem optimistischen Szenario führt die erhöhte Mineralölsteuer im Zeitraum 2020 – 2025 zu einer dynamischen Potentialzunahme. Ab dem Jahr 2025 ist dann in diesem Szenario das wirtschaftliche Potential nahezu ausgeschöpft. D. h., ab diesem Zeitpunkt können kaum noch weitere Potentialsteigerungen durch wirtschaftliche Anreize erzielt werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die deutliche Potentialzunahme in der Marktetablierungsphase (ab 2020) bildet zudem die bis dahin kaum noch relevante Reichweiteneinschränkung der Elektrofahrzeuge (durch eine deutlich verbesserte Energiedichte resultiert bei volumetrisch gleichbleibender Batteriegröße eine erheblich verbesserte Reichweite), so dass auch das Erstwagenpotential der privaten Nutzer für die Potentialerhebung relevant wird.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass es sich bei allen angegebenen Werten um das Fahrzeugpotential handelt, welches aus technischer und wirtschaftlicher Sicht für die Elektromobilität geeignet ist. Um Aussagen über die Bestandsentwicklung von Elektrofahrzeugen treffen zu können, müsste noch der typische Fahrzeug-Austauschzyklus, d. h. die Nutzungsdauer der Fahrzeuge (für München liegt diese im gewichteten Durchschnitt bei ca. 7 Jahren), berücksichtigt werden. Ein Elektrofahrzeugpotential von 140.000 Fahrzeugen in 2015 beispielsweise (entsprechend dem Szenario 2) würde sich demnach bis zum Jahr 2022 erschließen lassen – vorausgesetzt, jedes Fahrzeug, welches die technisch-wirtschaftlichen Kriterien für die Elektromobilität erfüllt, wird auch durch ein Elektrofahrzeug ersetzt. D.h., hierbei handelt es sich um eine 100 %-Erschließung, unabhängig von z.B. weiteren Faktoren wie Kaufbereitschaft, möglicherweise entgegenstehender Markentreue usw.

Am Beispiel des Szenarios 2 wird in Abbildung 48 gezeigt, welche zeitliche Verzögerung bei der tatsächlichen Erschließung des Potentials durch die Berücksichtigung des durchschnittlichen Fahrzeug-Austauschzyklus in etwa zu erwarten wäre. Die Kurve für die mögliche tatsächliche Umsetzung des Potentials verschiebt sich in der Folge, vereinfacht dargestellt, horizontal um sieben Jahre.

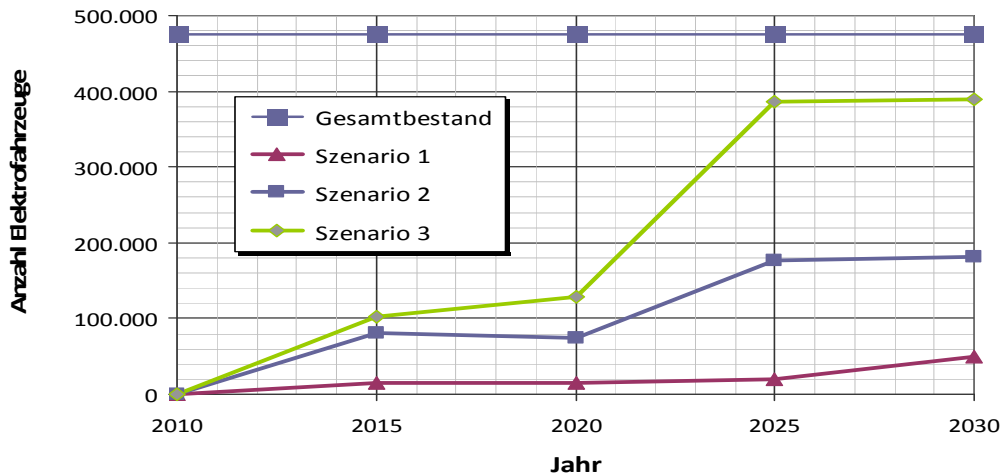


**Abbildung 48: Zeitliche Verzögerung zwischen Potential- und Bestandsentwicklung (am Beispiel des Szenario 2)**

Definitionsgemäß sind bei der vorliegenden Potentialanalyse nur die Fahrzeuge erfasst worden, die in München zugelassen sind. Würde zudem auch das Potential an Pendlern (wie in Kapitel 4.2. beschrieben), die auch am Münchner Verkehr teilhaben, in die Bewertung mit einbezogen, würde sich das Potential an Elektrofahrzeugen noch deutlich erhöhen. Hierzu müsste allerdings zunächst aufwendig recherchiert werden, wie viele Fahrzeuge in den einzelnen Segmenten in den jeweiligen Umfeldgemeinden zugelassen sind, einschließlich einer entsprechenden Halterzuordnung, wie im vorliegenden Fall für München durchgeführt. Zudem dürfte es Schwierigkeiten bereiten, den speziellen Anteil der Fahrzeuge der Pendler zu ermitteln, da nach den vorliegenden Kenntnissen hierzu keine statistischen Daten existieren.

## 8.2. Potential Elektrofahrzeuge im privaten Bereich

Im privaten Bereich zeigt sich bis 2020 zunächst noch ein mäßiges Potential, welches sich bis 2025 im moderaten und optimistischen Szenario jedoch stark erhöht (Abbildung 49). Grund dafür ist die steigende Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge durch deutlich gesunkene Batteriepreise, sowie die Annahme, dass das Reichweitenkriterium ab 2025 auch von privaten Erstfahrzeugen erfüllt wird. Das Elektrofahrzeugpotential besteht in der Markteinführungsphase (bis 2020) im Wesentlichen aus Kleinwagen (moderates Szenario) sowie ergänzend Mittelklassefahrzeugen (optimistisches Szenario), der Durchbruch in anderen Segmenten wie beispielsweise der Oberklasse ist bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht gelungen. Die nach 2020 wegfallende Kaufprämie im moderaten Szenario hat zwar einen leicht dämpfenden Effekt, was der bis dahin gesteigerten Rentabilität der Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen jedoch nicht grundlegend entgegen steht. Im Ergebnis stagniert das Potential ab dem Jahr 2025.

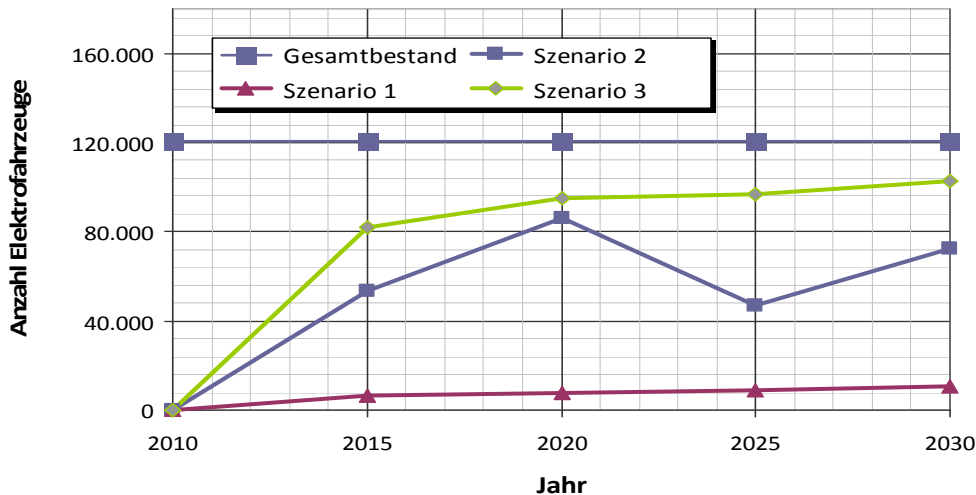


**Abbildung 49: Entwicklung des Potentials an Elektrofahrzeugen im privaten Bereich**

Im pessimistischen Szenario wird zwischen 2015 und 2025 der Verlauf nahezu ausschließlich durch die Gruppe der Innovatoren/Early Adopter bestimmt. Wirtschaftlichkeit ist in diesem Zeitfenster nicht gegeben. Ein leicht wachsendes Elektrofahrzeugpotential ist erst 2030 zu verzeichnen. Dieses beschränkt sich im Wesentlichen auf den Kleinwagensektor.

### 8.3. Potential Elektrofahrzeuge im gewerblichen Bereich

Im Vergleich zum privaten Bereich liegt dem gewerblichen Bereich – prozentual gesehen - bereits ab 2015 ein hohes Elektrofahrzeugpotential zugrunde (Abbildung 50). Unter den gegebenen Kriterien ergibt sich bezogen auf die Szenarien 2 und 3 im Jahr 2020 ein Potential in der Größenordnung von 100.000 Elektrofahrzeugen. Mit Aussetzen der Anschubfinanzierung sinkt das Potential im moderaten Szenario. D. h., die Wirtschaftlichkeit ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht so weit gegeben, dass auf eine Förderung verzichtet werden könnte. Der im Vergleich zu den Privatanwendern wesentlich stärkere Einfluss der finanziellen Zuschüsse auf die Gesamtkosten der Fahrzeuge im gewerblichen Bereich liegt in folgendem Sachverhalt begründet: Durch die angenommene wesentlich kürzere Nutzungsdauer der gewerblichen Fahrzeuge von 3 Jahren (bei privat genutzten Fahrzeugen wurden 8 Jahre zugrunde gelegt) hat die staatliche Förderung einen wesentlich größeren Einfluss auf die Ermittlung der jährlichen Gesamtkosten.



**Abbildung 50: Entwicklung des Potentials an Elektrofahrzeugen im gewerblichen Bereich**

Im optimistischen Szenario hingegen wird durch die unbefristete Mineralölsteuererhöhung auf Benzin und Diesel ein Einbruch beim Elektrofahrzeugpotential vermieden. D .h. der erhöhte Mineralölsteuersatz bewirkt einen stetigen Zuwachs an Elektrofahrzeugen.

Das Potential im pessimistischen Szenario beschränkt sich auch hier auf Anwendungen in Nischensegmenten. Erklärbar ist dies wiederum durch unzureichende Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge, wodurch diese nur für die relativ kleine Gruppe der Early Adopter in Frage kommen.

## 9. Umweltauswirkungen

Wie bereits im Rahmen des Kapitels 7.3.4. beschrieben, wird das Thema Elektromobilität eng verknüpft mit der Verwendung regenerativen Stroms als Kraftstoff gesehen. Die Mobilität der Zukunft soll die zentralen Nachhaltigkeitskriterien „möglichst emissionsfrei“ und „ölrressourcenunabhängig“ erfüllen. Dies würde auf die Elektromobilität im Grundsatz zutreffen. Bei den Emissionen steht vor allem die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen als Verursacher des anthropogenen Treibhauseffektes im Vordergrund. Aufgrund der Wichtigkeit dieses Themas für eine breite Akzeptanz der E-Mobilität in der Öffentlichkeit soll im Folgenden kurz darauf eingegangen werden, in wie weit die Elektromobilität zur Reduzierung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen kann. Hierbei wird differenziert nach einer Betrachtung „mit“ und „ohne“ CO<sub>2</sub>-Emissions-Vorkette.

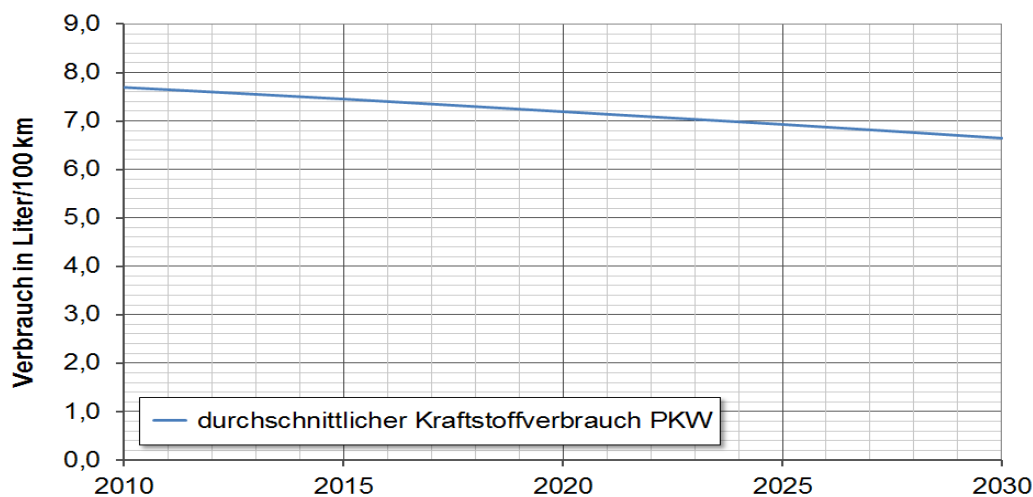
Bei Betrachtung ohne CO<sub>2</sub>-Emissions-Vorkette wird in dieser Arbeit definitionsgemäß nur der CO<sub>2</sub>-Ausstoß betrachtet, der durch die Umwandlung von chemischer bzw. elektrischer

Energie in kinetische Energie direkt am Fahrzeug verursacht wird. D. h., die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien für die Elektrofahrzeuge führt zu einer vollständigen CO<sub>2</sub>-Vermeidung gegenüber den konventionellen Benzin- oder Dieselfahrzeugen.

Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten bezogen auf die erstellten Potential-Szenarien wurde ein Modul der FfE verwendet, welches in Zusammenhang mit der Studie „Modellregion Elektromobilität München – Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030“ der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) [96] entwickelt wurde. Vereinfachend wurden im Rahmen der FfE-Studie nachstehende Annahmen getroffen, die auch auf die in dieser Arbeit verwendeten Szenarien angewendet wurden.

Der Durchschnittsverbrauch aller Fahrzeuge beträgt im Ausgangsjahr 2010 7,7 l/100 km (wurde seitens der FfE ermittelt aus [113], [114]). Diese Vereinfachung ist sachgerecht, da der spezifische Verbrauch von vielen Faktoren abhängt, wie der Motorart (Benziner, Diesel), dem Fahrzeugtyp, der Fahrweise des Nutzers und nicht zuletzt dem typischen Einsatzbereich der Fahrzeuge (individueller Mix aus Stadtverkehr, ländlicher Einsatz, Nutzung Fernstraßen).

Ein weiterer Rückgang des Kraftstoffverbrauchs durch eine Weiterentwicklung der Motoren in den Folgejahren ist wie nachfolgend dargestellt mit eingeflossen (Abbildung 51).

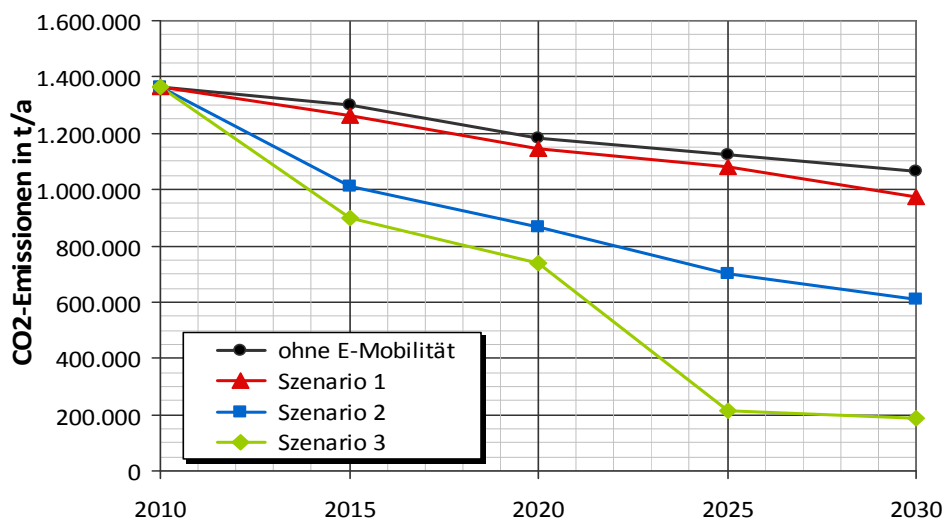


**Abbildung 51: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch eines Pkw in Liter/100 km von 2010 bis 2030, [96]**

Zudem schreibt die Europäische Union die Beimischung von Bio-Kraftstoff zu den herkömmlichen Kraftstoffen vor [115]. Dessen Anteil soll von 5,8 % im Jahr 2010 bis auf 10 % im Jahr 2020 steigen und wurde in den Berechnungen als linearer Anstieg berücksichtigt. Als durch-

schnittliche Tagesfahrleistung wurde ein Wert von 39 km/d, entsprechend dem gewichteten Mittelwert aus den angenommenen Fahrleistungen aller in München zugelassenen PKW, zugrunde gelegt [96]. Die spezifisch verwendeten CO<sub>2</sub>-Werte für Diesel (2,65 kg CO<sub>2</sub>/l) und Super-Benzin (2,37 kg CO<sub>2</sub>/l) entsprechen den Angaben des Kraftfahrtbundesamtes [111].

Werden die eigens gebildeten Szenarien in dem Modul der FfE abgebildet, ergeben sich aufgrund des Ersatzes konventioneller Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch Elektrofahrzeuge für den Fall 1 „ohne CO<sub>2</sub>-Emissions-Vorkette“ die nachstehend dargestellten CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale (Abbildung 52).



**Abbildung 52: CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Pkw in München bis 2030 ohne und mit Elektromobilität**

Der hier aufgezeigte Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den Fahrzeugen mit herkömmlichem Verbrennungsmotor (Szenario „ohne E-Mobilität“) resultiert aus dem sinkenden Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge sowie dem steigenden Anteil an Bio-Kraftstoffen. Je optimistischer die Szenarien für den Einsatz von Elektrofahrzeugen sind, umso größer ist der Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Insbesondere bei Betrachtung der Szenarien 2 und 3 führt der vermehrte Einsatz von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr zu einer deutlichen Vermeidung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Bei einer Betrachtung mit CO<sub>2</sub>-Emissions-Vorkette müssen weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Bilanzierung mit einbezogen werden, die durch die Bereitstellung der Kraftstoffe am Fahrzeug anfallen. Bei Benzin und Diesel reicht die Vorkette von der Ölförderung, den Transport, über die Verarbeitung bis zur Bereitstellung der Kraftstoffe an der Tankstelle. Im Rahmen der konventionellen Strombereitstellung umfasst die gesamte CO<sub>2</sub>-Kette sowohl die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der eigentlichen Stromproduktion als auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen die beim Bau der Erzeugungsanlagen sowie bei der Förderung, ggf. Weiter-

verarbeitung bis hin zum Transport der eingesetzten Energieträger zum Kraftwerk anfallen. Beim regenerativ erzeugten Strom ohne fossilen Primärenergieeinsatz beschränkt sich die CO<sub>2</sub>-Kette im Wesentlichen auf die anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Rahmen der Bereitstellung der Stromerzeugungsanlagen entstehen.

Bezogen auf Deutschland wird stromseitig derzeit mit folgendem CO<sub>2</sub>-Wert im gewichteten Mittel über alle Erzeugungsanlagen (sog. D-Mix, Basisjahr 2009) gerechnet [112]:

- CO<sub>2</sub>-Wert (D-Mix) : 0, 570 kg CO<sub>2</sub>/kWh (mit Vorkette)

Bezüglich Angaben zur CO<sub>2</sub>-Vorkette der regenerativen Energien sind kaum Daten bzw. nachvollziehbare Angaben verfügbar. Bei der Erzeugung von regenerativem Strom aus Wasser- und Windkraft wird von der FfE beispielsweise ein gewichteter CO<sub>2</sub>-Durchschnittswert von 0,032 kg CO<sub>2</sub>/kWh angegeben [112]. Da auch die anderen Emissionsdaten auf Angaben der FfE beruhen (Datenkonsistenz) und zudem auch die Wind- und Wasserkraft den größten Anteil an der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland ausmacht, erscheint es schlüssig, diesen Wert auch als CO<sub>2</sub>-Durchschnittswert für die gesamte regenerative Stromerzeugung anzusetzen:

- CO<sub>2</sub>-Wert (EE): 0,032 kg CO<sub>2</sub>/kWh (mit Vorkette)

Unter Berücksichtigung eines Nutzungsgrades der Elektrofahrzeuge von 0,8 (entsprechend Kapitel 2.1., einschließlich Lade-/Endladeverluste Batterie) ergeben sich demnach folgende spezifische CO<sub>2</sub>-Werte:

- CO<sub>2</sub>-Wert E-Fahrzeuge (D-Mix): 0,713 kg CO<sub>2</sub>/kWh (mit Vorkette)
- CO<sub>2</sub>-Wert E-Fahrzeuge (EE): 0,04 kg CO<sub>2</sub>/kWh (mit Vorkette)

An dieser Stelle bleibt anzumerken, dass der CO<sub>2</sub>-Wert für Strom nach dem Deutschland-Mix (D-Mix) durch Veränderungen im Kraftwerkspark jährlich neu ermittelt wird. Der massive Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland beispielsweise trug in den letzten Jahren dazu bei, dass der CO<sub>2</sub>-D-Mix kontinuierlich abnahm.

Für Fahrzeuge mit konventionellen Motoren stellt sich die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wie folgt dar: Auf Basis der spezifischen CO<sub>2</sub>-Werte für Diesel (2,65 kg CO<sub>2</sub>/l) und Super-Benzin (2,37 kg CO<sub>2</sub>/l) [111], dem Energieinhalt von Super-Benzin (8,6 kWh/l) und Diesel (9,9 kWh/l) [118], unter Berücksichtigung eines Primärenergiefaktors PE bei der Kraftstoffproduktion von 1,16 (Benzin) und 1,12 (Diesel) [116] sowie Nutzungsgraden von 0,2 (Benziner) bzw. 0,25 (Dieselfahrzeug) entsprechend Kapitel 2.1. ergeben sich unter der Gleichung



$\text{CO}_2\text{-Wert Fahrzeug} = \text{CO}_2\text{-Wert Kraftstoff} / (\text{Energieinhalt} * \text{Nutzungsgrad}) * \text{PE-Faktor}$

folgende spezifische  $\text{CO}_2$ -Werte:

- $\text{CO}_2$ -Wert Benzinfahrzeug: 1,598 kg  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  (mit Vorkette)
- $\text{CO}_2$ -Wert Dieselfahrzeug: 1,199 kg  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  (mit Vorkette)

Aus dem Vergleich der spezifischen  $\text{CO}_2$ -Werte wird ersichtlich, dass selbst bei Verwendung konventionell erzeugtem Stroms die  $\text{CO}_2$ -Emissionen durch Elektrofahrzeuge im Vergleich zum Benziner um mehr als die Hälfte und im Vergleich zum Dieselfahrzeug um ca. 40% reduziert werden können. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um einen Vergleich der  $\text{CO}_2$ -Emissionen handelt, die ausschließlich auf die Erzeugung kinetischer Energie bezogen sind. Ein zusätzlicher Strombedarf z. B. für die Beheizung des Innenraums von Elektrofahrzeugen (diese Wärme steht bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor per se zur Verfügung), wurde aufgrund fehlender statistischer Daten nicht mit berücksichtigt. Bei der Verwendung von regenerativem Strom liegt die Emissionsminderung gegenüber den konventionellen Kraftstoffen auch unter Berücksichtigung der Vorkette noch bei über 95%.

## **10. Zusammenfassung / energiewirtschaftliche Aspekte**

Das neu entwickelte Modell ermöglicht die Durchführung von Studien zur Potentialentwicklung für Elektrofahrzeuge auf der Basis handfester technisch-wirtschaftlicher Kriterien unter Zugrundelegung eines definierten Bestands konventioneller Fahrzeuge (100%-Ausgangsbasis). Im Rahmen der Arbeit wurden die Potentialerhebungen beispielhaft für die Großstadt München durchgeführt. Die Anwendung des Modells ist dabei nicht nur auf Großstädte beschränkt, sondern kann auch z. B. auf erweiterte Einzugsbereiche (d. h. unter Berücksichtigung des Potentials von Pendlern) oder generell auch bezogen auf ländliche Gebiete angewendet werden.

Insofern ist dieses Modell besonders für Kommunen interessant, die sich mit nachhaltiger Mobilität auseinandersetzen und sich in diesem Zusammenhang mit den Möglichkeiten der Etablierung alternativer Antriebskonzepte befassen. Erstmals angewendet wurde das Modell bereits im Rahmen der Studie „Modellregion Elektromobilität München – Szenarien für das Potential an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030“ der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) [96]. Die Ergebnisse dieser Studie dienen als Ausgangsbasis für die Ausgestaltung eines kommunalen nachhaltigen Elektromobilitätskonzeptes für

München, welches die Stadtwerke München GmbH gemeinsam mit der Landeshauptstadt München bis zum Ende des Jahres 2011 vorlegen wollen.

Durch die sowohl fahrzeug- als auch nutzersegmentspezifische Betrachtungsweise ist das Modell auch interessant für die Automobilhersteller. Im Rahmen begleitender Präsentationen im Zuge der Veröffentlichung der FfE-Studie haben bereits die beiden an der Modellregion Elektromobilität München beteiligten Automobilhersteller BMW und Audi Interesse an dem Modell gezeigt. Für die Automobilindustrie dürfte das Modell nach eigener Einschätzung allerdings noch nicht hinreichend ausgerichtet sein. So kann das Modell zwar Anhaltspunkte für eine Absatzplanung bezogen auf bestimmte Fahrzeugsegmente liefern, allerdings nicht konkret bezogen auf einzelne Fahrzeugmodelle eines Segments. Hierzu müssten in das Modell neben den berücksichtigten sachlichen Kriterien noch weitere, emotionale Kriterien, wie z. B. Markentreue, Modell-Image, die jeweilige Kaufbereitschaft einzelner Kundengruppen, mit einbezogen werden. Hierin würde eine mögliche Erweiterung des Modells liegen.

Wie schnell sich die Elektromobilität am Markt etablieren kann, hängt von vielen marktinternen und -externen Einflussfaktoren ab. Mit den gewählten Szenarien wurde die gesamte Bandbreite möglicher Entwicklungen abgebildet. Um möglichst aussagefähige Ergebnisse zu generieren, wurde im Rahmen der vorangegangenen Sensitivitätsanalysen und -bewertungen die jeweiligen maßgeblichen Potential limitierenden bzw. treibenden Einflussgrößen selektiert und als Variablen in den Szenarien geführt.

Unter dem technischen Blickwinkel ist ein möglichst breites Angebot an Elektrofahrzeugen zunächst einmal die Grundvoraussetzung, dass sich überhaupt ein nennenswertes Potential bilden kann. Nach den Ankündigungen der Automobilhersteller wird ein entsprechendes Elektrofahrzeugangebot (seriengefertigte Modelle) bereits in den Massensegmenten Kleinwagen (K), Mittelklassefahrzeuge (M) und Transporter (T) ab 2015 verfügbar sein, so dass hieraus in der Folge keine maßgeblichen Potentialeinschränkungen resultieren.

Die Recherchen und Analysen haben ferner ergeben, dass bezüglich der Alltagstauglichkeit der Elektrofahrzeuge die Reichweitenproblematik der wesentliche einschränkende Faktor bildet. Hierbei wurde nach der tatsächlich notwendigen und der psychologisch gewünschten Reichweite differenziert. Zudem hat sich gezeigt, dass es für eine Potentialerhebung maßgeblich ist, bei den privaten Nutzern nach der Verfügbarkeit von Erst- und Zweitfahrzeugen zu differenzieren. Für die Gruppe der Zweitfahrzeugbesitzer kommt das Kriterium der Reichweiteneinschränkung nicht zum Tragen, da dieser jederzeit für längere Strecken auf

das konventionelle Fahrzeug ausweichen kann. Wie schnell sich die Reichweitenproblematik insgesamt entschärft, hängt davon ab, wie die technische Weiterentwicklung der Batterien im Sinne einer Erhöhung der Energiedichte (höhere Batteriekapazität bei gleichbleibenden volumetrischen Maßen) voran kommt.

Nach den Ergebnissen des Modells hat -bei unterstellter Verfügbarkeit der Elektrofahrzeuge- die Wirtschaftlichkeit den größten Einfluss auf die weitere Potentialentwicklung. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge gegenüber der konventionellen Benzin- und Dieselvariante ist die zukünftige Entwicklung der Batteriepreise. Ein überschlägiges Beispiel auf Basis der verwendeten spezifischen Batteriepreise der EWI-Studie (Werte in €/kWh aus Abbildung 38) verdeutlicht diesen Sachverhalt: Danach ergeben sich nach dem moderaten Szenario für das Jahr 2010 batteriebedingte Mehrkosten für ein Elektrofahrzeug mit einer Batteriespeicherkapazität von 20 kWh in Höhe von 18.000 € ( $900 \text{ €/kWh} * 20 \text{ kWh}$ ), die entsprechend der Studie bis zum Jahr 2020 auf rund 5.500 € ( $275 \text{ €/kWh} * 20 \text{ kWh}$ ) zurück gehen dürften.

Die Ergebnisse aus den Modellrechnungen haben zudem gezeigt, dass eine finanzielle Förderung mittels Zuschüsse eine wirkungsvolle Maßnahme wäre, um die batteriebedingten Mehrkosten abzumildern. Nach den unterstellten Preisrückgängen bei den Batteriepreisen entsprechend dem moderaten Szenario wären auf einen Zeitraum 2015 – 2020 begrenzte finanzielle Zuschüsse in Höhe von 2.000 – 3.000 € als Anschubfinanzierung ausreichend um eine Marktdynamik in Gang zu setzen.

Eine vergleichbare Wirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge würde auch durch eine Erhöhung der Mineralölsteuer auf Benzin und Diesel um 15 ct/l (entspricht einer Verdopplung des Ökosteueranteils als Bestandteil der Mineralölbesteuerung) erreicht. Gegenüber der zeitlich begrenzten Zuschuss-Förderung in der Markteinführungsphase (2015 - 2020) hat die Mineralölsteuererhöhung den Vorteil, dass diese auch in der Folgephase der Marktetablierung (ab 2020) das Elektrofahrzeug-Potential weiter dynamisch anwachsen lässt. Die Nutzung der Steuer als Lenkungsinstrument im Verkehrssektor ist nicht neu, sie wird bereits zur Unterstützung der Markteinführung der Erdgasfahrzeuge praktiziert: Bis zum Jahr 2020 gilt für die Verwendung von Erdgas als Kraftstoff ein deutlich reduzierter Steuersatz.

Aus politischer Sicht wäre auf den ersten Blick eine Mineralölsteuererhöhung vorteilhafter, da über eine derartige Maßnahme neben dem gewünschten Lenkungseffekt zusätzliche Erträge erwirtschaftet werden könnten, während die Zuschuss-Regelung den Staatshaushalt

finanziell belastet. Bei tiefer gehender Betrachtung der Variante „Mineralölsteuererhöhung“ wäre allerdings abzuwägen, wie sich möglicherweise der Kaufkraftverlust durch die Steuererhöhung auf die Gesamtwirtschaft auswirken könnte. Die Mehreinnahmen durch eine Steuererhöhung um 15 ct/l würden immerhin bei rund 10 Mrd. € liegen (ermittelt aus Kraftstoffaufkommen in Deutschland, Daten 2008, Statistisches Bundesamt [117]).

Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes bilden Elektrofahrzeuge in Verbindung mit der Nutzung erneuerbarer Energien eine sinnvolle Zukunftsoption. Dies heißt allerdings im Umkehrschluss nicht, dass Elektrofahrzeuge den Ausbau erneuerbarer Energien antreiben oder beschleunigen. Investitionen in die erneuerbare Stromerzeugung rechnen sich in der Regel gegenüber der konventionellen derzeit noch nicht, so dass der Ausbau der regenerativen Stromerzeugung über das erneuerbare Energien Gesetz (EEG) gefördert wird. Der regenerativ erzeugte Strom wird vom Verteilnetzbetreiber zu einem festen Preis vergütet und schließlich vom Übertragungsnetzbetreiber im Stromhandel als „Graustrom“ vermarktet. D. h., der Ausbau der regenerativen Stromerzeugung findet aktuell unabhängig von der Entwicklung der Nachfrageseite statt. Erst bei Netzparität, d. h. wenn die regenerative Stromerzeugung wettbewerbsfähig gegenüber der konventionellen Stromerzeugung ist, würde durch eine verstärkte Direktvermarktung des Öko-Stroms ein Zusammenhang zwischen Nachfrageseite (u. a. Strombedarf für Elektrofahrzeuge) und der Angebotsseite (Ökostrom-Erzeugern) entstehen.

Unter dem Umweltgesichtspunkt erfüllen Elektroautos zudem den Aspekt eines effizienten Umgangs mit Energie-Ressourcen. Im Vergleich zu den konventionellen Verbrennungsmotoren mit Wirkungsgraden in der Größenordnung von 20 – 25% bieten Elektrofahrzeuge mit einem Wirkungsgrad von insgesamt rd. 80% (entsprechend Kapitel 2.1.) eine deutlich bessere Energieausbeute. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass auch die volkswirtschaftlichen Belastungen zur Bereitstellung regenerativer Energien im Verkehrssektor kostenoptimal ausgestaltet werden können.

Die Verfügbarkeit von Strom für den Verkehrsbereich sollte absehbar keine Probleme bereiten. Wie bereits in Kapitel 5.5. dargestellt, würde der Bedarf von einer Million Elektrofahrzeugen gerade einmal 0,4% des gesamtdeutschen Stromabsatzes ausmachen. Insofern dürften auch preistreibende Effekte durch diesen neuen zusätzlichen Absatzmarkt kaum auftreten. Bezogen auf die Verwendung erneuerbarer Energien sieht die Situation wie folgt aus: Die regenerative Stromerzeugung hatte in Deutschland im Jahr 2009 bereits einen Anteil von ca. 17% an der Bruttostromerzeugung [119]. Entsprechend der von der Bundes-

regierung beschlossenen Energiewende soll der Ausbau der erneuerbaren Energien massiv vorangetrieben werden. Zielsetzung ist, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 35% bis 2020 zu steigern [120]. Auch hieraus lässt sich selbst bei starkem Zuwachs des Elektrofahrzeugbestands keine Knappheit bezüglich der Verfügbarkeit regenerativen Stroms ableiten.

Neben der Strombereitstellung sieht sich die Energiewirtschaft insbesondere in der Verantwortung, die zur Beladung der Elektrofahrzeuge notwendige Ladeinfrastruktur bereit zu stellen. Die in den Modellregionen Elektromobilität laufenden Projekte haben bereits gezeigt, dass sich das Laden von Elektrofahrzeugen zu Hause absehbar als Basisladeinfrastruktur herausbilden wird. In wie weit darüber hinaus noch weitere öffentlich zugängliche Lademöglichkeiten von Nöten sind, ist derzeit noch umstritten. Bezogen auf München würde es sich beispielsweise anbieten, eine ergänzende Ladeinfrastruktur an den P+R-Parkplätzen, an denen die Fahrzeuge in der Regel auch für mehrere Stunden geparkt werden, einzurichten. Wie sich das Thema „Ladeinfrastruktur“ weiter entwickeln wird hängt zudem maßgeblich von der technischen Weiterentwicklung (Stichwort „Schnell-Ladung“) ab.

In der Energiewirtschaft wird darüber hinaus diskutiert, in wie weit Elektrofahrzeuge auch im Rahmen der Zukunftsthemen „Smart grids“ und „Smart homes“ als Zwischenspeicher elektrischen Stroms eingesetzt werden können, um z. B. zur Abfederung von Lastspitzen im Stromnetz beitragen zu können. Hierzu laufen derzeit eine Reihe von Studien und Forschungsaufträgen.



## 11. Abkürzungsverzeichnis

A	Ampère
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
bbl.	US-Barrel (1 bbl. ≈ 159 Liter)
BFE	Schweizer Bundesamt für Energie
BLSD	Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMW	Bayerische Motoren Werke AG
BMWi	Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
cm	Zentimeter
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
ct	Cent
D	Deutschland
€	Euro
EFI	Expertenkommission Forschung und Innovation
E-Mobilität:	Elektromobilität
EU	Europäische Union
EV	Elektrofahrzeug
EW	Einwohner
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FfE	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München
G	Geländewagen
g	Gramm
G7	Gruppe der Sieben (die sieben führenden Industrieländer)
GEMO	Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität
IEA	International Energy Agency
K	Kleinwagen
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km/a	Kilometer pro Jahr
kW	Kilowatt

kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LHM	Landeshauptstadt München
LKW	Lastkraftwagen
M	Mittelklasse
mg	Milligramm
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MVG	Münchner Verkehrsgesellschaft mbH
MWh	Megawattstunde
MWSt.	Mehrwertsteuer
Mrd.	Milliarden
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
Nfz:	Nutzfahrzeug
NOx	Stickstoffoxid
O	Oberklasse
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
p. a.	per anno
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PkW:	Personenkraftwagen
PS	Pferdestärke
P+R	Park and Ride
Sp	Sportwagen
StVO	Straßenverkehrsordnung
SWM	Stadtwerke München GmbH
t	Tonne
T	Transporter
TOE	Tonnen Rohöläquivalent
TÜV	Technischer Überwachungsverein
TUM	Technische Universität München
USA	United States of Amerika
US-\$	US-Dollar
V	Volt



## 12. Literatur

### Vorveröffentlichungen zur Dissertation

Brunnert, S.: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge – Ein Markt mit Zukunft?, In: e/m/w Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb, Nr. 4, Essen, August 2010

Brunnert, S., et al.: Der Markt für Elektrofahrzeuge: Politisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Angebots- und Nachfrageseite, In: et Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Nr. 11, Essen, November 2010 (Kurzfassung als Printversion)

Brunnert, S., et al.: Der Markt für Elektrofahrzeuge; [http://www.et-energie-online.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=331:der-markt-fuer-elektrofahrzeuge&catid=23:e-mobility&Itemid=27](http://www.et-energie-online.de/index.php?option=com_content&view=article&id=331:der-markt-fuer-elektrofahrzeuge&catid=23:e-mobility&Itemid=27); November 2010 (Langfassung für Internetportal)

Mauch, W., Brunnert, S., et al.: Studie „Modellregion Elektromobilität München – Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030“, FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München, November 2010

Brunnert, S.: Szenarien zur Entwicklung der Elektromobilität in München, In: Tagungsband zur FfE-Veranstaltung „Energieeffizienz – eine stete Herausforderung an Wissenschaft und Praxis“, München, Mai 2011

### Sonstige verwendete Quellen

- [1] Bundesministerium der Justiz: Personenbeförderungsgesetz – PbefG, Berlin, 2009
- [2] Rat der Europäischen Union: Richtlinie des Rates vom 6. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger - 70/156/EWG, Brüssel, 1970
- [3] Sterner, M.: Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems - Limiting global warming by transforming energy systems, In: Electrical Engineering and Computer Science, Universität Kassel, Kassel, 2009
- [4] Steffen, W.: Climate Change 2009 - Faster Change & More Serious Risks, Australian Government, Department of Climate Change, Canberra, 2009
- [5] Eurostat: Transport energy consumption and emissions, [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Transport\\_energy\\_consumption\\_and\\_emissions#Air\\_transport\\_second\\_largest\\_energy\\_consumer\\_after\\_road\\_transport](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Transport_energy_consumption_and_emissions#Air_transport_second_largest_energy_consumer_after_road_transport), Zugriff am 20.04.2010
- [6] European Commission: EU Energy in figures 2010, CO2 Emissions by Sector, Brüssel, 2010
- [7] European Commission: EU Energy in figures 2010, CO2 Emissions from Transport by Mode, Brüssel, 2010

- [8] European Environment Agency (EEA): Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2007 and inventory report, Copenhagen, 2009
- [9] Eurostat: Using official statistics to calculate greenhouse gas emissions, Luxembourg, 2010
- [10] Exxon Mobile: Oeldorado, Hamburg, 2009
- [11] Zentrum für Transformation der Bundeswehr: Peak Oil, Strausberg, 2010
- [12] Publications Office of the European Union: Energy - Monthly statistics, Luxembourg, 2009
- [13] Frondel, M.; Ritter, N.; Schmidt, C.M.: Deutschlands Energieversorgungsrisiko gestern, heute und morgen, In: Zeitschrift für Energiewirtschaft, Vol. 33 No. 1, 2009
- [14] Ribeiro, K.S.; Kobayashi, S.; Beuthe, M.; Gasca, J.; Greene, D.; Lee, D.S.; Muromachi, Y.; Newton, P.J.; Plotkin, S.; Sperling, D.; Wit, R.; Zhou, P.J.: Transport and its infrastructure. In: Climate Change 2007: Mitigation, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA 2007
- [15] International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook, Paris, Frankreich, 2009
- [16] EFI Expertenkommission Forschung und Innovation: Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands, 2010
- [17] Axsen, J.; Burke, A.F.; Kurani, K.S.: Batteries for Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Goals and the State of Technology circa 2008, Institute of Transportation Studies, University of California, USA, 2008
- [18] Abgeordnetenwatch : CO2-Grenzwerte für Neuwagen: [http://www.abgeordnetenwatch.de/co2\\_grenzwerte\\_fuer\\_neuwagen-136-164.html](http://www.abgeordnetenwatch.de/co2_grenzwerte_fuer_neuwagen-136-164.html), Zugriff am 21.04.2010
- [19] Grenzwerte für CO2-Emissionen bei Neuwagen: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/motor\\_vehicles/interactions\\_industry\\_policies/l28200\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28200_de.htm), Zugriff am 21.04.2010
- [20] Euro-5- und Euro-6-Normen: Verringerung der Schadstoffemissionen von leichten Kraftfahrzeugen: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/motor\\_vehicles/interactions\\_industry\\_policies/l28186\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28186_de.htm), Zugriff am 21.04.2010
- [21] Malorny, C.; Kluge, J.; Wüllenweber, J.; Müller, N.; Herberger, D.; Gabardi, E.; Schiemenz, M.; Wehsarg, D.; Papier, F.; Huber, F.: Der Trend zu energieeffizienten Pkw - Implikationen für die deutsche Automobilindustrie, McKinsey&Company, 2009
- [22] Valentine-Urbschat, M.; Bernhart, W.: Powertrain 2020 – The Future Drives Electric, Roland Berger Strategie Consultants, München, 2009
- [23] Bundesregierung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, Berlin, 2009

- [25] Elektromobilität - Vier Ressorts fördern mit 500 Mio. €:  
[http://www.bmu.de/verkehr/elektromobilitaet/nationaler\\_entwicklungsplan/doc/print/45043.php](http://www.bmu.de/verkehr/elektromobilitaet/nationaler_entwicklungsplan/doc/print/45043.php), Zugriff am 08.01.2010
- [26] Modellregionen Elektromobilität: <http://www.bmvbs.de/Verkehr,1405.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.htm>, Zugriff am 11.05.2010
- [27] EU: Europe 2020 - A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth, Brüssel, 2010
- [28] EU: A European Strategy on Clean and Energy Efficient Vehicles, Brüssel, 2010
- [29] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Programm zur Marktaktivierung für Elektrofahrzeuge – 100.000 Stück bis Ende 2014, Berlin, 2010
- [30] Die große E-Illusion, In: Der Spiegel, Vol. 17, 2010
- [31] Deutschland startet die Aufholjagd, <http://www.faz.net/s/RubD16E1F55D21144C4AE3F9DDF52B6E1D9/Doc~E00B9FF909B234E0F9835EAB4561A9E06~ATpl~Ecommon~Scontent.html>, Zugriff am 10.05.2010
- [32] Ritter, S.: Automobil - Elektroauto: Eine Charta zur erfolgreichen Verbreitung in Frankreich. In: Wissenschaft-Frankreich (Vol. 182), Französische Botschaft in Deutschland, Berlin, 2010
- [33] Zielke; Campbell; Sterly: Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität in den USA, Delegierter der deutschen Wirtschaft, 2010
- [34] Bündnis 90/Die Grünen: Mit grüner Elektromobilität ins postfossile Zeitalter, Fraktionsbeschluss, Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin, 2010
- [35] Meyer, U.: Modellstadt gesucht, <http://www.welt.de/die-welt/regionales/article7442343/Modellstadt-gesucht.html>, Zugriff am 21.09.2010
- [36] Bayern will Steuerfreiheit für Elektro-Autos, <http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/elektro-autos-bayern-will-steuerfreiheit-fuer-elektro-autos-1779935.html>, Zugriff am 09.05.2010
- [37] Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO) nimmt Fahrt auf, <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/wirtschaft,did=329290.html>, Zugriff am 20.05.2010
- [38] Harding, G.G., Electric vehicles in the next millennium. In: Journal of Power Sources, Vol. 78, 1999
- [39] Sternad, M.; Cifrain, M.; Watzenig, D.; Brasseur, G.; Winter, M.: Condition monitoring of Lithium-Ion Batteries for electric and hybrid electric vehicles, In: Elektrotechnik & Informationstechnik, Vol. 126 No. 5, 2009
- [40] Conte, F.V.: Battery and battery management for hybrid electric vehicles: a review. In: Elektrotechnik & Informationstechnik, Vol. 123 No. 10, 2006
- [41] Smole, E.; Wolfsegger, C.: e-connected - Abschlussbericht, Wien, 2009

- [42] fortiss: Elektromobilität 2010 - Grundlagenstudie zu Voraussetzungen der Entwicklung von Elektromobilität in der Modellregion München, München, 2010
- [43] Citroën Berlingo First Electric "Powered By Venturi" for La Poste, <http://www.venturi.fr/Berlingo-Powered-by-Venturi-for-La.html>, Zugriff am 23.04.2010
- [44] Kalhammer, F.R.; Kopf, B.M.; Swan, D.H.; Roan, V.P.; Walsh, M.P.: Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology, Report of the ARB Independent Expert Panel 2007, Sacramento, California, USA, 2007
- [45] Staudacher, T.; von Roon, S.; Vogler, G.: Energiespeicher - Stand, Perspektiven und Wirtschaftlichkeit, Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München, 2008
- [46] Oliver Wyman: Elektromobilität 2025, Powerplay beim Elektrofahrzeug, München, 2009
- [47] Spath, D.; Bauer, W.; Rothfuss, F.; Voigt, S.; Rath, C.: Strukturstudie BWe mobil - Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart, 2010
- [48] Energiewirtschaftliches Institut der Universität zu Köln: Potentiale der Elektromobilität bis 2050 – Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration, Köln, 2010
- [49] Pfaffenbichler, P.C.; Emmerling, B.; Jellinek, R.; Krutak, R.: Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“, Österreichische Energieagentur, Wien, 2009
- [50] Wietschel, M.; Dallinger, D.: Quo Vadis Elektromobilität?, In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Vol. 12, Essen, 2008
- [51] Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Wendl, M.; Wietschel, M.: Lithium für Zukunftstechnologien - Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität, Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung, Karlsruhe, 2009
- [52] Barkawi: Große Bereitschaft zum Kauf von Elektrofahrzeugen, <http://www.barkawi.com/de/presse/pressemitteilungen/101-studie-grosse-bereitschaft-zum-kauf-von-elektrofahrzeugen.html>, Zugriff am 08.04.2010
- [53] Roland Berger: Powertrain 2020 – The Future Drives Electric, Präsentation, München, 2010
- [54] Aral Aktiengesellschaft: Trends beim Autokauf, Bochum, 2009
- [55] Thehos, K.: Elektroautos bestehen Großstadt-Test, [http://www.tu-chemnitz.de/tu/home/fpdf/uni\\_aktuell.php?aid=2819](http://www.tu-chemnitz.de/tu/home/fpdf/uni_aktuell.php?aid=2819), Zugriff am 22.03.2010
- [56] Jeder zehnte Firmenwagen könnte ein Elektroauto sein - auch ohne Subventionen, <http://www.arval.de/ger/full-service-leasing/unternehmen/news/pressemitteilungen/elektrofahrzeuge-07-20010.html>, Zugriff am 03.09.2010

- [57] Freter, H.: Markt- und Kundensegmentierung, Stuttgart, 2008
- [58] Kleinaltenkamp, M., Saab, S.: Technischer Vertrieb, Berlin, 2009
- [59] Krafftahrt-Bundesamt: Fahrzeugzulassungen, 2008
- [60] Pepels, W.: Marktsegmentierung, Düsseldorf, 2007
- [61] Gaus, H.: Entwicklung eines Bezugsrahmens zur Untersuchung des ökologieorientierten Mobilitätsverhaltens, Chemnitz, 2001
- [62] Canzler, Weert: Last und Freud des Privatautos - Chancen und Grenzen einer Umdeutung des Autos, In: Zukünfte des Automobils, Berlin, 2008
- [63] Bundesminister für Verkehr, Forschung, Stadtverkehr: Reihe Auswertungen, A1, Modal Split, Köln, 1984
- [64] Behrends, S., Kott, K.: Zuhause in Deutschland - Ausstattung und Wohnsituation privater Haushalte, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2009
- [65] Ahrens, G.-A.: Endbericht zur Verkehrserhebung Mobilität in Städten – SrV 2008 und Auswertungen zum SrV-Städtepegel, TU Dresden, Dresden, 2009
- [66] Eckey, H.-F., Stock, W.: Verkehrsökonomie, Wiesbaden, 2000
- [67] infas, DLR: Mobilität in Deutschland 2008, Ergebnisbericht, Bonn, Berlin, 2010
- [68] Fraunhofer ISI: Neue Studie vergleicht verschiedene Konzepte der Elektromobilität, <http://isi.fraunhofer.de/isi-de/service/presseinfos/2010/pri10-10.php>, Zugriff am 19.05.2010
- [69] Brunnert et al., Artikel „Der Markt für Elektrofahrzeuge“ in ET Energiewirtschaftliche Tagesfragen, [http://www.et-energie-online.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=331:der-markt-fuer-elektrofahrzeuge&catid=23:e-mobility&Itemid=27](http://www.et-energie-online.de/index.php?option=com_content&view=article&id=331:der-markt-fuer-elektrofahrzeuge&catid=23:e-mobility&Itemid=27), Zugriff am 21.01.2011
- [70] Kröpfl, B. et al.: Angewandte Statistik, München, Wien, 1999
- [71] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen: Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen, Phase 2, Braunschweig, 2003
- [72] Kauermann, G.; Küchenhoff, H.: Erkenntnisse aus Stichproben - Theorie und praktische Umsetzung, 2008
- [73] Sachs, L.: Angewandte Statistik, Berlin, 2002
- [74] MCT Diana Koll KG: Datenerhebung für die SWM - Marktbefragung zum Thema Elektromobilität, Köln, 2010
- [75] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis 2028, München, April 2010
- [76] Kurzidim, J.: Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis 2028, In: Bayern in Zahlen, München, 2009

- [77] Koppen, G.-F.; Greis, M.; Martin, M.: Verkehrsentwicklungsplan München, Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, München, 2006
- [78] Statistisches Amt München: Datenauswertung zum Münchner Pkw-Bestand zum 31.03.2010, auf Anfrage, München, 2010
- [79] Landeshauptstadt München: Verkehrsentwicklungsplan (Kurzversion), Referat für Stadtplanung und Bauordnung, München, 2006
- [80] <http://www.mvv-muenchen.de/de/home/fahrgastinformation/mvv-netz/netzplaene/parkride/primmvv/index.html>, Zugriff am 11.02.2010
- [81] INZELL-Initiative: Pressemitteilung zur Vorstellung des Praxisleitfadens „P+R Anlagen – Planen, Bauen und Betreiben“, München, 2009
- [82] [http://www.muenchen.de/Rathaus/plan/stadtentwicklung/verkehrsplanung/8250/2/02\\_parken.html](http://www.muenchen.de/Rathaus/plan/stadtentwicklung/verkehrsplanung/8250/2/02_parken.html), Zugriff am 24.03.2010
- [83] Verbundraumdaten, Münchner Verkehrs- und Tarifverbund: [http://www.mvv-muenchen.de/de/home/dermvv/unternehmen/mvv\\_in\\_zahlen/verbundraumdaten/index.html](http://www.mvv-muenchen.de/de/home/dermvv/unternehmen/mvv_in_zahlen/verbundraumdaten/index.html), Zugriff am 22.03.2010
- [84] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Zweiter Fahrradbericht der Bundesregierung, Schlussbericht, Anhang, Hannover, 2007
- [85] Huss, E.), In München haben 417.000 Pendler ihren Arbeitsplatz, Statistisches Amt München, München, 2005
- [86] Martin, M.: Eckwerte zum Pendleraufkommen Region München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, München, 2009
- [87] Sonderauswertung aus einer Mobilitätsstudie im Auftrag der MVG auf Anfrage am 08.07.2010
- [88] Eon-Energie: Strom "tanken" ohne Kabel: E.ON testet nutzerfreundliche Ladetechnologie für Elektrofahrzeuge, [http://www.eon-energie.com/pages/eea\\_de/Presse/Pressemitteilungen/Aktuelle\\_Presse/Pressemitteilung.htm?id=1413550](http://www.eon-energie.com/pages/eea_de/Presse/Pressemitteilungen/Aktuelle_Presse/Pressemitteilung.htm?id=1413550), Zugriff am 23.05.2010
- [89] Better Place launches switchable-battery electric taxi project in Tokyo: <http://www.betterplace.com/global-progress-japan> und <http://www.betterplace.com/the-opportunity-cars>, Zugriff am 27.05.2010
- [90] Wietschel, M.; Kley, F.; Dallinger, D.: Eine Bewertung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. In: Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft (ZfAW), Vol. 3, 2009
- [91] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Mobilität in Deutschland 2008 – Tabellenband, Berlin, 2010
- [92] Ruschmeyer, T: Elektromobilität ist machbar, In: Solarmobil Zeitschrift Nr. 74, August 2009

- [93]** Handelsblatt: Vattenfall und BMW testen Elektro-Minis, [www.handelsblatt.de](http://www.handelsblatt.de), Zugriff am 30.09.2010
- [94]** Media Website der Daimler AG, [media.daimler.com](http://media.daimler.com), Zugriff am 23.09.2010
- [95]** Nissan Newsroom der Nissan Motor Co., Ltd., [www.nissan-newsroom.com](http://www.nissan-newsroom.com), Zugriff am 23.09.2010
- [96]** Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE): Modellregion Elektromobilität München - Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr, München, November 2010
- [97]** Valentine-Urbschat, M.; Bernhart, W.: Powertrain 2020 – The Future Drives Electric, Roland Berger Strategy Consultants, München, 2009
- [98]** Hockgeiger, E.: Grundlagen und Potentiale elektrischer Hochvolt-Energiespeicher, BMW Group, München, 2010
- [99]** TÜV SÜD: Elektroautos – Was TÜV SÜD-Kunden von der E-Mobilität halten, München, 2009
- [100]** Deutsche Automobil Treuhand GmbH, [www.dat.de](http://www.dat.de), Zugriff am 23.09.2010
- [101]** Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., [www.adac.de](http://www.adac.de), Zugriff am 23.09.2010
- [102]** TU Chemnitz: Elektroautos bestehen Großstadt-Test, Chemnitz, 2010
- [103]** Kuhnert, F.; Arnold, H.; Kurtz, R.: Elektromobilität - Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Fraunhofer IAO, Frankfurt am Main, 2010
- [104]** Tesla Motors Inc: Roadster Features and Specifications, [www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com). Palo Alto, California, USA, 2010
- [105]** The Boston Consulting Group: Batteries for Electric Cars - Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020, München, 2010
- [106]** Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Strukturstudie BWe mobil. Stuttgart, 2010
- [107]** U.S. Energy Information Administration: International Energy Outlook 2010, Washington DC, USA, 2010
- [108]** International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2009, Paris, 2009
- [109]** Pöyry Energy Consulting: Wholesale Electricity Price Projections for Germany – January 2010, Oxford, 2010
- [110]** Pulz, R.: Was ist Diffusion?, Dr. Pulz & Partner Managementberatung, Groß Grönau, 2010
- [111]** Borchers, U.; Bückle, C.: Emissionen, Kraftstoffe, Krafffahr-Bundesamt, Flensburg, 2009

- [112] Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE): Basisdaten zur Bereitstellung elektrischer Energie, <http://www.ffe.de/wissenffe/artikel/186-basisdaten-energetraeger>, Zugriff am 13.01.2011
- [113] Statista GmbH: CO2-Emissionen nach Fahrzeugklassen im Jahr 2008 <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/38983/umfrage/co2-emissionen-nach-fahrzeugklassen-in-2008/>, Zugriff am 17.07.2011
- [114] Focus Online: Kraftstoffverbrauch - Die Top Ten nach Fahrzeugklassen, [http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/tid8122/kraftstoffverbrauch\\_aid\\_145443.html#table\\_74583](http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/tid8122/kraftstoffverbrauch_aid_145443.html#table_74583), Zugriff am 17.07.2011
- [115] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, Brüssel, 2009
- [116] Mauch, W., Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE): Ganzheitliche energetische Bewertung der Elektromobilität, Vortrag anlässlich eCarTec Kongress, München, 2009
- [117] Statistisches Bundesamt Deutschland Pressemitteilung Nr. 244, [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/07/PD09\\_244](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/07/PD09_244), Zugriff am 17.07.2011
- [118] Aral Homepage, <http://www.aral.de/aral/faq.do?categoryId=4000141&contentId=56034&currentPage=2#4>, Zugriff 13.01.2011
- [119] BDEW, Präsentation zur Sitzung der AG Energiebilanzen, Hamburg, 2010
- [120] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich, <http://www.bmu.de/energiewende/doc/47465.php>, Zugriff am 17.07.2011