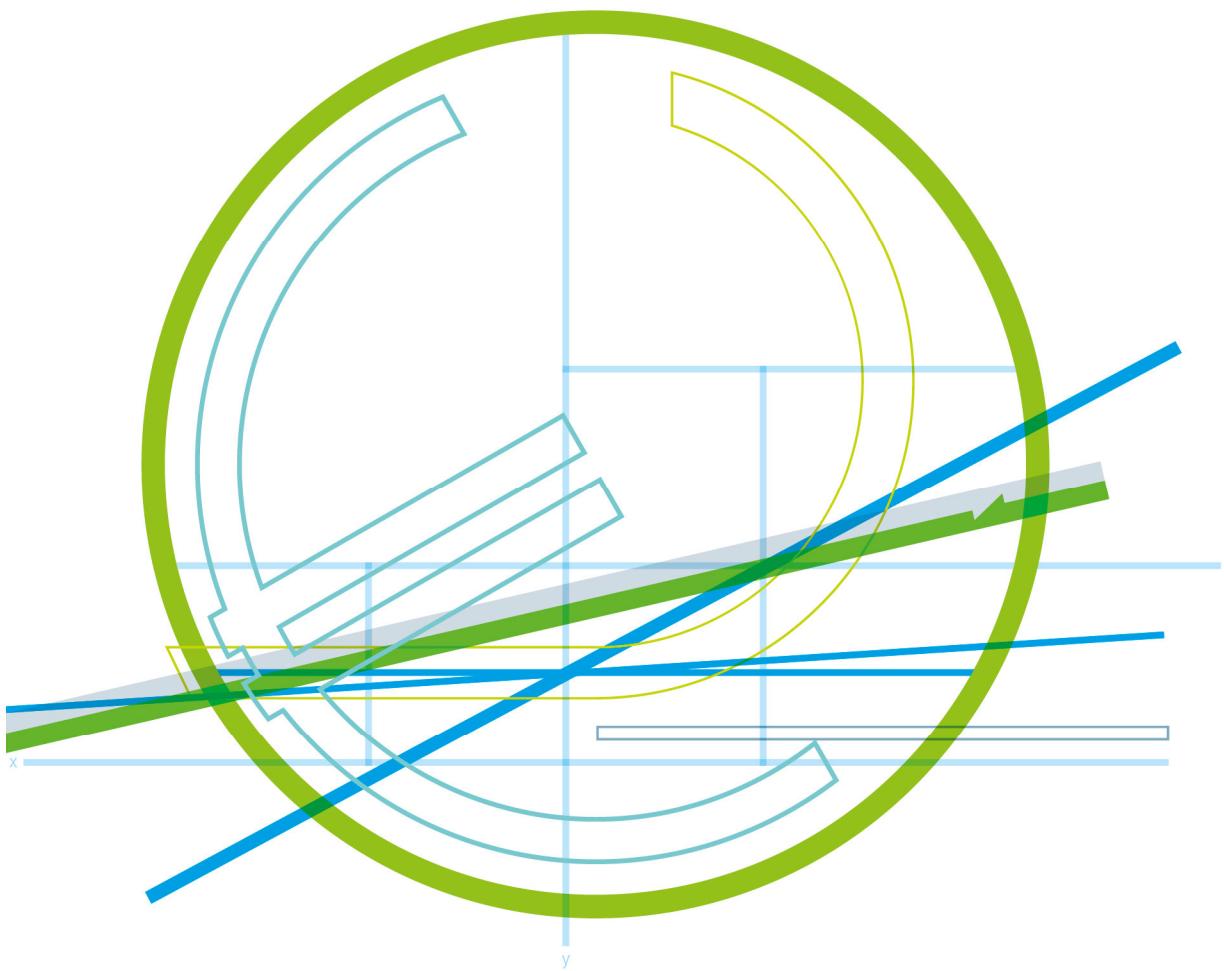


ELEKTROMOBILITÄT IN ÖSTERREICH

Determinanten für die Kaufentscheidung
von alternativ betriebenen Fahrzeugen:
Ein diskretes Entscheidungsexperiment



VORWORT

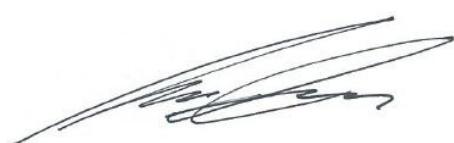
Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Ingmar Höb Barth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds



Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

ELEKTROMOBILITÄT IN ÖSTERREICH

Determinanten für die Kaufentscheidung von
alternativ betriebenen Fahrzeugen: Ein diskretes
Entscheidungsexperiment

Tibor Hanappi
Günther Lichtblau
Sandra Müllbacher
Roman Ortner
Britta Plankensteiner
Friedrich Pötscher
Stefanie Reitzinger
Ulrich Schuh
Sigrid Stix



Projektleitung

Sigrid, Stix, Umweltbundesamt

AutorInnen

Tibor, Hanappi, Institut für Höhere Studien
Sandra, Müllbacher, Institut für Höhere Studien
Ulrich, Schuh, Institut für Höhere Studien
Stefanie Reitzinger, Institut für Höhere Studien
Günther, Lichtblau, Umweltbundesamt
Friedrich, Pötscher, Umweltbundesamt
Britta Plankensteiner, Umweltbundesamt
Roman, Ortner, Umweltbundesamt
Sigrid, Stix, Umweltbundesamt

Übersetzung

Vorname, Nachname, Institution (falls nicht Umweltbundesamt)

Lektorat

Maria Deweis, Umweltbundesamt

Satz/Layout

Ute Kutschera, Umweltbundesamt

Umschlagbild

© Bernhard Gröger

Diese Publikation wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefond gefördert und im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“ durchgeführt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	5
1 MOTIVATION/ZIELSETZUNG	7
2 DATEN	10
2.1 Datenerhebung	10
2.2 Fahrzeugtechnik, Fahrzeugmarkt und Entscheidungsexperiment	11
2.2.1 Betrachtete Antriebssysteme und Referenzfahrzeuge	12
2.2.2 Fahrzeugcharakterisierungen und Entscheidungsexperiment	15
2.3 Deskriptive Auswertung und Repräsentativität	17
2.4 Faktorenanalyse zu Umweltbewusstsein und deskriptive Auswertungen	20
3 METHODIK	25
3.1 Definition und Überblick	25
3.2 Experimentelles Design	26
3.3 Diskrete Entscheidungsmodelle	32
3.4 Modellspezifikation und Resultate	35
3.5 Energie- und Emissionsberechnungen	45
3.5.1 Das Transport Energie- und Emissionsberechnungsmodell (TEEM)	47
3.5.2 Methodik der Energie- und Emissionsbilanzberechnungen	48
4 SIMULATIONEN ZUM FAHRZEUGMARKT	51
4.1 Simulation der Maßnahmen	51
4.2 Das Referenzszenario	52
4.2.1 Attribute im Referenzszenario	52
4.3 Untersuchte Einzelmaßnahmen	55
4.3.1 Einführung eines CO ₂ -basierten Bonus-Malus-Systems mit unterschiedlichen Grenzwerten (NoVA1, NoVA2, NoVA3)	56
4.3.2 Weitere Einzelmaßnahmen	61
4.4 Bündel an Maßnahmen in zwei Szenarien	62
4.5 Ergebnisse der Simulationen auf Marktanteile und Umwelteffekte	64
4.5.1 Marktanteile der Einzelmaßnahmen und der Szenarien	64
4.5.2 Wirkungen der Reformen nach Urbanisierungsgrad	66
4.5.3 Emissions- und Energiepotenzial der Reformen	70
4.5.4 Effekte der Szenarien DEE und OEE	75
4.5.5 Auswirkungen des Einsatzes von EV auf die Lärmsituation	80
5 LITERATURVERZEICHNIS	84

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

In dieser Forschungsarbeit wurden die Präferenzen von KonsumentInnen für alternativbetriebene Fahrzeuge, insbesondere Elektrofahrzeuge erhoben. Dafür wurden mittels diskretem Entscheidungsexperiment 714 Personen im Raum Wien und Umgebung zu einem Neuwagenkauf, befragt. Zur Auswahl standen sechs Antriebskonzepte in sieben Fahrzeugsegmenten. Auf Basis der erhobenen Präferenzen wurde in mehreren Simulationen überprüft, wie verschiedene Maßnahmen im Verkehrsbereich die Fahrzeugwahl der KonsumentInnen beeinflussen und welche Umwelteffekte dadurch zu erwarten sind.

Die Ergebnisse des Nachfragemodells zeigen, dass die Erhöhung der Reichweiten bei gleichzeitigem Ausbau der Ladestelleninfrastruktur die Wahrscheinlichkeit einer Entscheidung zugunsten eines Elektrofahrzeugs erhöht. Obwohl die Leistung der Elektrofahrzeuge ebenfalls positiv auf die Kaufwahrscheinlichkeit wirkt, hat dieses Kriterium bei allen untersuchten Fahrzeugalternativen (konventionelle Fahrzeuge, Erdgas (CNG), Ethanol, Hybrid (HEV) und Plug-in Hybrid (PHEV)) den geringsten Effekt. Das Angebot einer Zusatzleistung, wie ein Park & Ride Parkplatz bei Kauf eines Elektrofahrzeugs wirkt ebenfalls positiv auf die Auswahl. Deutliche Effekte zeigt auch der Fahrzeugpreis bei der Kaufentscheidung: ein hoher Preis verringert die Wahrscheinlichkeit, ein Elektrofahrzeug zu wählen. Die Auswertung nach sozioökonomischen Variablen zeigt, dass mit zunehmendem Alter der FahrzeugkäuferInnen die Wahlwahrscheinlichkeit für alternativ betriebene Fahrzeuge sinkt. Am skeptischsten sind ältere Personen gegenüber CNG-Fahrzeugen, gefolgt von Ethanol- und Elektrofahrzeugen. Einen positiven Effekt auf die Wahrscheinlichkeit ein alternativ-betriebenes Fahrzeug zu kaufen, haben Geschlecht (männlich), Familienstatus (Kinder) und Nutzung (täglich). Mit der Höhe der Ausbildung und dem Einkommen nimmt die Wahrscheinlichkeit ein alternativ betriebenes Fahrzeuge zu kaufen zu. Der Einkommenseffekt ist am größten für die teil- und vollelektrifizierten Fahrzeuge (PHEV&EV) und am kleinsten für das CNG-Fahrzeug. Je weniger FahrzeugnutzerInnen im Haushalt leben, desto eher wird ein konventionelles Fahrzeug bevorzugt.

Anhand der durchgeführten Simulationen konnte gezeigt werden, dass bewusstseinsbildende Maßnahmen einen größeren Effekt auf die Wahlwahrscheinlichkeit für Elektrofahrzeuge haben als CO₂-basierte Bonus/Malus Systeme. Hohe Treibstoffpreise und die Erhöhung der Reichweiten bei gleichzeitigem Ausbau der Ladestelleninfrastruktur haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die Marktanteile der Elektrofahrzeuge.

Die räumliche Analyse ergab, dass die Maßnahmen je nach Wohnort der Befragten unterschiedlich wirken. Hohe Treibstoffpreise haben den größten Effekt auf den Marktanteil der Elektrofahrzeuge in ländlichen Gebieten, in Regionen mit mittlerer Dichte hingegen hat eine Reichweitenerhöhung den größten Effekt. Bewusstseinsbildende Maßnahmen, die den Anteil der umweltbewussten Personen im Sample um 50 % erhöhen, haben den größten marktanteilssteigernden Effekt auf die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in Städten oder Regionen mit mittlerer Dichte.

Werden die untersuchten Maßnahmen hinsichtlich ihrer Umwelteffekte bewertet, zeigen die Berechnungen für die österreichische Flotte, dass die meisten direkten CO₂-Emissionseinsparungen durch hohe Treibstoffpreise und bewusstseinsbildende Maßnahmen erzielt werden können. Dasselbe gilt für die direkten Partikel-Emissionen (PM) und den direkten Energieverbrauch.

Hinsichtlich der Gesamtbilanz der Fahrzeugemissionen liefern Erhöhungen der Treibstoffpreise und Reichweiten ebenfalls den höchsten Einsparungseffekt bei CO₂-Emissionen. Bei Partikel-Emissionen (PM) muss berücksichtigt werden, dass beim Quarzabbau für Silicium in Photovoltaikanlagen erhebliche PM-Emissionen entstehen. Der Einsatz von Dünnschichtsolarmodulen könnte diesbezüglich eine Lösung darstellen.

Ausblick und Resümee

Die Arbeit baut auf bereits vorhandenen Studien (z. B. HIDRUE et. al 2011, ACHTNICHT et al. 2008, EWING&SARIGÖLLÜ 2000) auf und vertieft diese um sechs Aspekte: der erwartete Fahrzeugmarkt 2013 wurde als Referenzszenario abgebildet, ein Faktor zu Umweltbewusstsein integriert, vier Fahrzeugattribute für das Entscheidungsexperiment individualisiert und FührerscheinbesitzerInnen im Raum Wien und Wien Umgebung befragt. Diese Regionen gelten als Katalysatoren für Elektromobilität.

Für die Bewertung der Umwelteffekte für die österreichische Flotte wurden die Samplemarktanteile anhand mehrerer Faktoren gewichtet. Die Umwelteffekte wurden entlang des Lebenszyklus der Fahrzeuge und der Betriebsphase (direkte und gesamte Emissions- und Energieeinsparungen) berechnet.

Die Stärke der gewählten Methode zur Erhebung der Präferenzen liegt vor allem in der Abbildung des Verhaltens von KonsumentInnen gegenüber neuen Technologien. Die berechneten Umwelteffekte liefern das Potential der neuen Technologien bei direkter Substitution von fossilen Energieträgern. Unbestreitbar ist es auch sinnvoll den gesamten Lebenszyklus bei den Energie- und Emissionsbetrachtungen der neuen Technologie zu berücksichtigen, da dadurch Emissionsminderungen entlang der Produktionskette angestrebt werden können.

Um aber das volle Potential der erhobenen Präferenzen und der Trade-Offs zwischen den Technologieoptionen für zukünftige Maßnahmenevaluierungen auszuschöpfen zu können erscheint es sinnvoll die vorliegenden Ergebnisse in breiteren ökonomischen Rahmenbedingungen zu modellieren. Eine mögliche Verwendung ist, die geschätzten Parameter aus dem diskreten Entscheidungsexperiment, als Inputdaten für die Verhaltensparameter in Hybrid Energie-Ökonomie Modellen zu verwenden (Jaccard, 2005). Diese Herangehensweise stellt eine sinnvolle Erweiterung unseres Ansatzes dar. In einem Nachfolgeprojekt „Entwicklung eines Evaluierungsrahmens für die Einführung von Elektromobilität“ (DEFINE) – im Rahmen des ERA-NET Schemas (FP7) – wird dieser Ansatz umgesetzt.

1 MOTIVATION/ZIELSETZUNG

Der weltweite Anstieg der anthropogenen Treibhausgasemissionen (THG) hat Auswirkungen auf den Klimawandel. Innerhalb der EU zählt der Verkehrssektor zum zweitgrößten Emittenten von THG-Emissionen nach dem Energiesektor. In Österreich sind die THG-Emissionen im Verkehrsbereich seit 1990 um 60 % angestiegen (UMWELTBUNDESAMT 2010). Diese Entwicklung steht in deutlichem Gegensatz zu umweltpolitischen Zielsetzungen. So sieht das Kyoto-Protokoll eine Verminderung der THG-Emissionen um rund 8 % in der Verpflichtungsperiode 2008–2012 im Vergleich zu 1990 vor. Bis 2020 hat sich die EU zum Ziel gesetzt, die THG-Emissionen um 20 % zu reduzieren.

Alternativ betriebene Fahrzeuge werden als Lösung zur Reduktion der direkten anthropogenen THG-Emissionen im Verkehrsbereich gesehen. Insbesondere in Kombination mit Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen erzielen diese Fahrzeuge entscheidende Umweltvorteile.

Reduktion der THG-Emissionen

Weltweit werden politische Ziele für die Einführung von Elektromobilität formuliert und gemeinsam mit entsprechenden Fördermaßnahmen umgesetzt. So möchte etwa die Obama-Administration bis zum Jahr 2015 den Bestand der Plug-in Fahrzeuge in der US-Flotte auf eine Million erhöhen. Auch in Deutschland sollen eine Million und in Österreich 250.000 Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf den Straßen unterwegs sein. Von Seiten der Automobilindustrie sind vor allem ab dem Jahr 2013 attraktive, marktfähige Fahrzeuge am Automobilmarkt zu erwarten.

Im kürzlich publizierten Umsetzungsplan für „Elektromobilität in und aus Österreich“ (BMLFUW et al. 2012) werden vor allem betriebliche und öffentliche Flotten als besonders geeignete Erstanwender von Elektromobilität gesehen. Diese sind unbestreitbar Hauptstimulatoren für die Entstehung eines Elektro-Fahrzeugmarktes, insbesondere da bei der Einführung einer neuen Technologie die Entwicklung und die Kommerzialisierung noch durch eine Lernkurve geprägt sind. Schlussendlich aber werden die KonsumentInnen ausschlaggebend für den langfristigen Erfolg einer Technologie sein.

Rolle der KonsumentInnen

Die vorliegende Studie versucht hierzu einen Beitrag zu leisten, indem sie einerseits auf der Nachfrageseite ansetzt und die Präferenzen der KonsumentInnen bezüglich alternativ betriebener Fahrzeuge erhebt. Darauf aufbauend werden andererseits verschiedene Fördermaßnahmen und Rahmenbedingungen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Markteinführung von Elektrofahrzeugen und anderen Übergangstechnologien überprüft.

Förderungen und Anreizsysteme

Gerade in der Markteinführungsphase einer neuen Technologie ist es wichtig, zielgerichtete nachfrageseitige Förderungen und Anreizsysteme entweder neu zu implementieren oder bestehende weiterzuführen. Für erfolgreiche Politikinstrumente ist eine solide wissenschaftliche Grundlage Voraussetzung, um innovationsfördernde Rahmenbedingungen zu entwickeln.

Als Datengrundlage für die Analyse diente ein diskretes Entscheidungsexperiment, welches im Raum Wien und Umgebung durchgeführt wurde. In dem Experiment wurden in mehreren Entscheidungssituationen den Befragten unterschiedliche Fahrzeugtypen zur Wahl angeboten. Es wurde die Situation „Neuwagenkauf“ hypothetisch dargestellt, zur Auswahl standen elektrifizierte, teil-elektrifizierte, konventionelle aber auch Ethanol- und E85-Fahrzeuge aus dem bevorzugten Fahrzeugsegment der Befragten.

Einfluss auf die Kaufentscheidung	Es wurde erhoben, welche Fahrzeugattribute den größten Nutzen für die KonsumentInnen von Elektrofahrzeugen haben, wie sich die Präferenzen ändern, wenn die Leistung oder die Reichweite der Elektrofahrzeuge erhöht werden und ob intelligente Anreizsysteme die Entscheidung beeinflussen. Neben fahrzeugbezogenen Maßnahmen wie u. a. ein CO ₂ -basiertes Bonus-Malus-System mit unterschiedlichen Grenzwerten, Treibstoffpreisveränderungen (sowohl fossile als auch Strompreise) sowie Änderungen in den Wartungskosten und den Reichweiten der Elektrofahrzeuge wurden auch die Effekte von bewusstseinsbildenden Maßnahmen untersucht. Diese wurden anhand einer Faktorenanalyse – welche im Rahmen des Entscheidungsexperiments durchgeführt wurde – erhoben. Es wurde auch abgeschätzt, in welcher Region (urban, ländlich, Stadtrand) bewusstseinsbildende Maßnahmen die größte Wirkung erzielen.
Lebenszyklusperspektive	Ob die untersuchten Reformen auch tatsächlich zu einer Reduktion der negativen Umwelteffekte des Verkehrs beitragen, kann nur durch Betrachtung der Gesamtbilanz sichergestellt werden. Neben dem direkten Emissions- und Energiepotenzial der Maßnahmen wurden somit auch die gesamten Emissions- und Energieeffekte aus einer Lebenszyklusperspektive betrachtet. Die Energie- und Emissionsbetrachtungen wurden für die Fahrzeugflotten der Regionen Wien, Niederösterreich, Burgenland und Österreich ausgewertet. Zwar wurden schon viele Studien zu diesem Themenbereich durchgeführt (siehe z. B. HIDRUE et. al 2011, ACHTNICHT et. al. 2008, EWING&SARIGÖLLÜ 2000), auf denen der vorliegende Report aufbauen konnte. Eine Erweiterung erscheint aber aus sechs Gründen sinnvoll:
besondere Merkmale des Berichtes	<ul style="list-style-type: none">● <i>Erstens</i> werden alle in naher Zukunft verfügbaren Fahrzeugkonzepte berücksichtigt.● <i>Zweitens</i> wird zusätzlich zu den fahrzeugspezifischen Attributen (Preis, Leistung etc.) auch die umweltbewusste Einstellung der KonsumentInnen abgefragt, anhand einer Faktorenanalyse ausgewertet und mit den Ergebnissen verknüpft.● <i>Drittens</i> wurden die Entscheidungssituationen in mehreren Schritten individualisiert, sodass den Befragten eine möglichst realistische und ihren grundsätzlichen Wünschen entsprechende Kaufsituation ermöglicht wurde: Die Fahrzeugwahl erfolgte in einer ersten Stufe über eine Segmentwahl (Klein-, Mittel-, Oberklasse etc.), erst danach erfolgte die Wahl aus den sechs unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten (Plug-in, Hybrid etc.). Die Attribute Wartungskosten und Treibstoffkosten wurden an die angegebenen Jahreskilometerleistungen der Befragten verknüpft, womit individuelle Attribute erzeugt wurden.● <i>Viertens</i> wurden nur jene Personen befragt, die einen Führerschein besitzen und zumindest in den nächsten Jahren planen, einen Neuwagen zu kaufen.● <i>Fünftens</i> wurde das diskrete Entscheidungsexperiment in Wien und Wien-Umgebung durchgeführt. Zum einen, da urbane Zentren als Katalysatoren für Elektromobilität gelten (Pwc & FRAUENHOFERINSTITUT 2010) und zum anderen, da keine Studien bekannt sind, die das Fahrzeugkaufverhalten auf kleinen geografischen Räumen wie dem urbanen Raum betrachten. Gerade der urbane Raum bietet interessante Verlinkungsmöglichkeiten zwischen urbanen Charakteristiken und der Wahl bestimmter Attribute eines Fahrzeugs.● <i>Sechstens</i> wurde, soweit bekannt, in keiner Publikation zusätzlich zu den Marktsimulationen auch eine ökologische Bewertung hinsichtlich Emissionen, Energieverbrauch und Lärmemissionen durchgeführt.

Der vorliegende Bericht ist folgendermaßen aufgebaut: Nach einer Beschreibung der Datenerhebung und des diskreten Entscheidungsexperiments in Kapitel 2 wird in Kapitel 3 die Methodik zur Schätzung der diskreten Entscheidungsmodelle sowie zu den Emissionsberechnungen beschrieben. Während in Kapitel 3.4 die Schätzergebnisse der gewählten Modelle präsentiert und die Koeffizienten sowie die Zahlungsbereitschaft für ausgewählte Attribute dargestellt sind, werden in Kapitel 4 mehrere Simulationen durchgeführt, um die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen und Reformen auf die Marktanteile der Fahrzeuge aufzuzeigen und um das Energie- und Emissionspotenzial zu bewerten.

**Aufbau des
Berichtes**

2 DATEN

In diesem Kapitel wird einleitend Prozess und Aufbau der Datenerhebung dargestellt. Während Kapitel 2.1 die Samplegröße und die Erhebungsmethode erläutert, wird in Kapitel 2.2 die Herleitung der im Entscheidungsexperiment verwendeten Fahrzeugattribute, aufbauend auf den österreichischen Fahrzeugflottencharakteristika, beschrieben. Hier werden auch die betrachteten Fahrzeugkonzepte und die Referenzfahrzeuge angeführt. In Kapitel 2.3 wird eine kurze deskriptive Auswertung des Samples geliefert und auf Abweichungen zur österreichischen Bevölkerung hingewiesen. Um später (siehe Kapitel 4) den Zusammenhang zwischen Umweltbewusstsein und dem Marktpotenzial für Elektrofahrzeuge erfassen zu können, wurde mittels Faktorenanalyse ein Umweltbewusstseinsindex gebildet. Die Methodik und eine deskriptive Auswertung dazu finden sich in Kapitel 2.4.

2.1 Datenerhebung

Die Analyse der KonsumentInnen-Präferenzen beim Autokauf erfolgte über den in Kapitel 3 beschriebenen methodischen Ansatz des diskreten Entscheidungsexperiments. Hintergrund der Analyse ist ein speziell erhobener Datensatz, der einerseits sozio-ökonomische Variablen und Informationen zu Umweltbewusstsein, Fahrverhalten, Fahrzeugkauf etc. enthält. Andererseits wurde bei dieser Erhebung ein Entscheidungsexperiment durchgeführt, in dem den befragten Personen jeweils neun Entscheidungssituationen zum Neuwagenkauf präsentiert wurden.

Online-Befragung Die Befragung wurde über einen Subauftragnehmer (GfK Austria) durchgeführt. GfK Austria verfügt über einen 32.000 Personen umfassenden Online-Pool an Personen, die zu einem früheren Zeitpunkt telefonisch oder persönlich rekrutiert worden waren und Befragungen mittels CAWI-Methode (**C**omputer **A**sisted **W**ebs **I**nterviewing) zugestimmt hatten. Dieser Pool ist repräsentativ für Internet-Nutzer ab 15 Jahren. Aus diesem Pool wurden Personen kontaktiert und zur Umfrage gebeten, die in den Bezirken Wien, Wien Umgebung, Mödling, Korneuburg, Gänserndorf, Mistelbach, Hollabrunn, Tulln, Bruck/Leitha und Neusiedl/See wohnen, regelmäßig Auto fahren und planen, innerhalb der nächsten Jahre einen Neuwagen zu kaufen.

Aufbau des Fragebogens Der Fragebogen war in drei Abschnitte unterteilt. Der erste Teil umfasste allgemeine Informationen zur Anzahl an vorhandenen Fahrzeugen, zu den Fahrgewohnheiten, dem Umweltbewusstsein und dem zukünftigen geplanten Autokauf.

Danach erfolgte nach einem kurzen Einführungstext und einer Beschreibung der präsentierten Fahrzeugalternativen die Weiterleitung zum Entscheidungsexperiment. Die Fahrzeugalternativen, die im Entscheidungsexperiment angeboten wurden, waren dabei mit Angaben aus dem ersten Teil (beim Neukauf gewünschte Fahrzeugklasse, durchschnittliches Fahrverhalten der Befragten) verbunden, sodass das Entscheidungsexperiment auf Einzelpersonen individualisiert werden konnte.

Nach Beendigung des Entscheidungsexperiments folgten noch Fragen zu Haushaltszusammensetzung, Ausbildung, Einkommen und Berufstätigkeit, die bei jeder Befragung des Online-Pools gestellt werden.

Die Befragung fand im Dezember 2010 statt und dauerte pro TeilnehmerIn etwa 20 Minuten. Insgesamt schlossen 714 Personen die Befragung vollständig ab, davon 339 Frauen und 375 Männer.

2.2 Fahrzeugtechnik, Fahrzeugmarkt und Entscheidungsexperiment

Die technisch korrekte Beschreibung der Fahrzeugattribute (Preis, Leistung etc.) stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung des diskreten Entscheidungsexperiments dar, welches gemeinsam mit der Haushaltsbefragung durchgeführt wurde. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass die individuelle Kaufentscheidung als eine Wahl aus einer Reihe an Alternativen charakterisiert werden kann. Jede dieser Alternativen kann wiederum anhand einiger Attribute beschrieben werden, wobei letztere sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur sein können (siehe auch Kapitel 3.1).

In einem ersten Schritt wurde daher recherchiert, welche Fahrzeugalternativen mit welchen Antriebssystemen in naher Zukunft am Markt verfügbar sein werden. Um gewährleisten zu können, dass die Entscheidungssituationen der Realität so gut wie möglich entsprechen, wurden den Befragten Alternativen jenes Fahrzeugsegments zur Auswahl gestellt, an dessen Kauf diese vor allem interessiert sind. Ausgehend von diesen zwei Bedingungen und aufbauend auf den Charakteristika des österreichischen Fahrzeugmarktes (z. B. meist verkaufte Fahrzeuge in Österreich pro Segment) wurden Referenzfahrzeuge für das Jahr 2013 abgeleitet.

Ein hypothetischer Fahrzeugmarkt 2013 wurde also in einer umfassenden Marktrecherche anhand von Referenzfahrzeugen beschrieben. Von diesem wurden dann die relevanten Attribute für das Entscheidungsexperiment abgeleitet und nachfolgend als Referenzszenario beschrieben. Die Attribute der Referenzfahrzeuge sind auch für die Simulationen der Reformen in Kapitel 4 relevant, da die Ausprägungen der Eigenschaften so verändert werden können, dass sie die Fahrzeugentwicklung bis 2020 und die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen (z. B. CO₂-Bonus-Malus-System oder Treibstoffpreisänderungen) darstellen.

Eigenschaften der Referenzfahrzeuge

Viele Studien zur Marktnachfrage untersuchen nur rein elektrische Fahrzeuge im Vergleich zu fossil betriebenen (ÖKOINSTITUT 2011, EWING & SARIGÖLLÜ 2000, HIDRUE et al. 2011). Wird aber davon ausgegangen, dass in naher Zukunft unterschiedliche Abstufungen von Elektrifizierungen am Markt verfügbar sein werden, ist der Vergleich mehrerer Konzepte essenziell, um zielgerichtete Fördermechanismen identifizieren zu können.

Zusammenfassend wird der Fahrzeugmarkt wie folgt definiert:

Definition des Fahrzeugmarktes

- Der Fahrzeugmarkt wird in sieben Segmente beschrieben.
- Als Referenzfahrzeuge dienen die am häufigsten zugelassenen Fahrzeuge nach Segment.

- Es werden sechs Fahrzeugtechnologien betrachtet: konventionelle Fahrzeuge (CV), Hybrid-Fahrzeuge (HEV), Plug-in Fahrzeuge (PHEV), Erdgas (CNG), Ethanol (E85) und Elektrofahrzeuge(EV)¹.

2.2.1 Betrachtete Antriebssysteme und Referenzfahrzeuge

ausgewählte Fahrzeugtypen

Das Entscheidungsexperiment sollte möglichst Fahrzeugtypen anbieten, an denen die Befragten grundsätzlich auch interessiert waren. Um etwa zu vermeiden, dass potenzielle KäuferInnen von Kleinstwagen ein Fahrzeug der Oberklasse mit entsprechenden Preisen angeboten bekamen, wurde der recherchierte Fahrzeugmarkt in einem ersten Auswahlschritt in sieben Segmente unterteilt. Die getroffene Segmentwahl wurde danach mit dem nachgelagerten Entscheidungsexperiment verknüpft, sodass nur Fahrzeuge in dieser Preis- und Leistungsklasse angeboten wurden.

Die Untergliederung der Segmente erfolgte gemäß der Definition der EU-Kommission; einige für das Projekt weniger relevante Segmente wurden nicht gesondert recherchiert und zusammengefasst. Für jedes Segment wurde ein Referenzfahrzeug definiert. Folgende sieben Segmente wurden gewählt:

- Kleinstwagen
- Kleinwagen
- Mittelklasse
- Obere Mittelklasse
- Oberklasse
- Großraumlimousine (Familie Van)
- Geländewagen.

ausgewählte Antriebssysteme

Da davon auszugehen ist, dass ein breites Portfolio an elektrifizierten Fahrzeugen sowie verschiedene Übergangstechnologien in naher Zukunft am Markt verfügbar sein werden, wurden in einem zweiten Schritt relevante Antriebssysteme definiert. Es wurden sechs Antriebssysteme für jedes Segment ausgewählt.

konventionelles Fahrzeug (CV)

Als konventionelles Fahrzeug werden alle Fahrzeuge verstanden, die rein fossil betrieben werden. Verglichen mit den anderen Fahrzeugen verursachen diese Fahrzeuge die höchsten direkten CO₂-Emissionen.

E85-Fahrzeuge (E-85)

E85-Fahrzeuge sind Fahrzeuge, die mit dem Kraftstoff Superethanol E85 – einem Treibstoff, der bis zu 85 % aus Bioethanol und zu 15 % aus Superbenzin besteht – betrieben werden. Das Bioethanol muss aus Biomasse oder biologisch abbaubaren Anteilen von Abfällen hergestellt werden. Der Tankvorgang ist herkömmlich wie bei den konventionellen Fahrzeugen; abhängig vom Treibstoffgemisch können bis zu 67 % der direkten CO₂-Emissionen eingespart werden.

¹ Eine Definition der Fahrzeuge findet sich im nachfolgenden Kapitel 2.2.1.

Biogas- oder Erdgas-Fahrzeug (CNG)

Erdgasfahrzeuge verbrennen Gas in herkömmlichen Ottomotoren und verursachen bis zu 13 % geringere direkte Emissionen als konventionell betriebene Fahrzeuge. Der Tankvorgang kann an Erdgastankstellen durchgeführt werden und dauert etwas länger (3–6 Minuten). Derzeit (Stand: Jänner 2011) gibt es in Österreich 174 Erdgas-Tankstellen, davon 19 in Wien und 32 in Niederösterreich.

Hybrid-Elektrofahrzeuge (HEV)

Bei Hybrid-Fahrzeugen können drei Arten unterschieden werden: Mild-, Micro- und Voll-Hybrids. Bei Micro-Hybrids wird der Verbrennungsmotor bei Fahrzeugstillstand abgeschaltet bzw. wieder gestartet (Start-Stopp-Funktion). Sie besitzen keinen Elektromotor zum Vortrieb. Mild-Hybrid-Fahrzeuge besitzen einen Elektromotor, mit dem sie den Anfahrvorgang unterstützen und Bremsenergie speichern können. Voll-Hybrid-Fahrzeuge können kürzere Strecken auch rein elektrisch zurücklegen. Alle drei Arten haben geringere direkte CO₂-Emissionen als herkömmliche fossile Fahrzeuge. In der Analyse werden hauptsächlich Voll-Hybrid-Fahrzeuge betrachtet.

Plug-In Hybrid-Elektrofahrzeuge (PHEV)

Plug-In Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) verfügen sowohl über einen Elektromotor wie auch über einen Benzin- oder Dieselmotor. Die Batterie im PHEV ist aber größer als beim HEV und es kann eine längere Strecke rein elektrisch zurückgelegt werden. Getankt wird je nach Bedarf fossiler Kraftstoff oder Strom.

Elektrofahrzeuge (EV)

Elektrofahrzeuge werden mit einem Elektromotor betrieben, der die Energie aus einer Batterie bezieht. Dadurch verursachen sie keine direkten Emissionen. Eine leere Batterie benötigt derzeit 6–8 Stunden, bei Starkstrom 1–2 Stunden, um voll aufgeladen zu werden. Für die Batterie ist es günstig, auch zwischendurch aufgeladen zu werden (es ist keine Vollentladung notwendig).

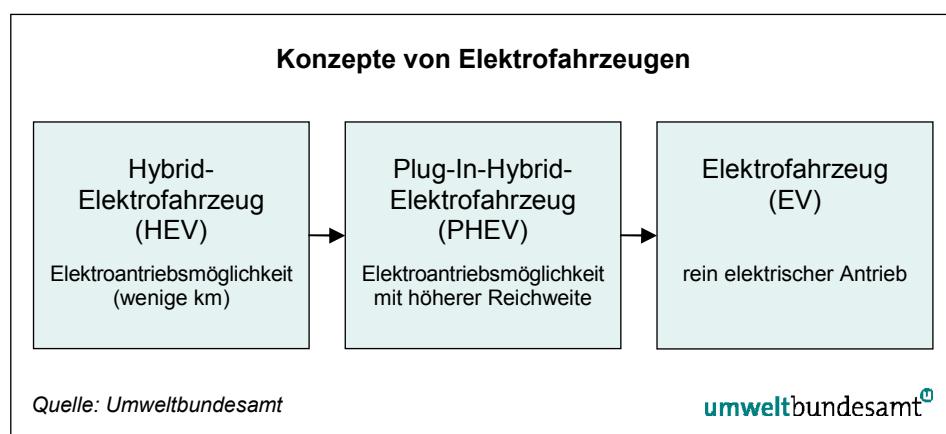


Abbildung 1: Konzepte von Elektrofahrzeugen.

ausgewählte Referenzfahrzeuge Die Referenzfahrzeugermittlung erfolgte basierend auf den Neuzulassungen im Jahr 2009. Weitere Auswahlkriterien waren die meist zugelassenen Fahrzeuge, die meist gewählte Motorisierung sowie die segmenttypische Ausstattung des jeweiligen Fahrzeugsegments.

Tabelle 1: Neuzulassungen pro Segment und gewählte konventionelle Referenzfahrzeuge.

Segment	Anzahl Neuzulassungen 2009	Anteile	konventionell betriebene Referenzfahrzeuge
Kleinstwagen	24.878	8 %	Fiat 500
Kleinwagen	81.341	27 %	VW Polo
Mittelklasse	73.293	24 %	Skoda Octavia (Combi)
Obere Mittelklasse	40.050	13 %	Mercedes E-Klasse
Oberklasse	6.983	2 %	BMW 7er-Reihe
Großraumlimousine/ Family Van	31.772	11 %	Ford Galaxy
Geländewagen	33.238	11 %	VW Tiguan
Mehrzweckfahrzeuge	11.033	4 %	in Studie nicht berücksichtigt
Gesamt	302.588	100 %	

Bei der Auswahl der Referenzfahrzeuge der Pkw mit alternativ betriebenen Antrieben wurde darauf geachtet, dass die Fahrzeuge innerhalb der Segmente vergleichbar waren, also aus dem gleichen Segment stammten oder in direkter Konkurrenz zum konventionell betriebenen Referenzfahrzeug standen. Des Weiteren sollten folgende Attribute möglichst gleichwertig/ähnlich den Referenzfahrzeugen sein:

- Ausstattung
- Fahrleistung
- Verkaufspreis.

Somit wurde gewährleistet, dass die im Entscheidungsexperiment verwendeten Attribute möglichst realistisch waren und die befragten Personen innerhalb der Segmente vergleichbaren Entscheidungsalternativen gegenüberstanden. Für das Jahr 2013 wurden für folgende Segmente vergleichbare, alternativ betriebene Fahrzeuge definiert.

Tabelle 2: Alternativ betriebene Referenzfahrzeuge nach Segment (Fahrzeugmarkt 2013).

Bezeichnung	Alternative Antriebe – Technologieoptionen 2013				
	EV	PHEV	HEV	CNG	E85
A: Kleinstwagen	Mitsubishi I-Miev/ Peugeot ION			Panda 1.2 Natural Power	
B: Kleinwagen	Nissan Leaf	Audi A1		Punto 1.2 Natural Power	Renault CLIO III 1,2 HI-FLEX BZ/E85
C: Mittelklasse		Toyota Prius PHEV	Toyota Auris Hybrid		Ford FOCUS DA3 1,8/92KW HK BZ/E85
D: Obere Mittelklasse		Opel Ampera	Toyota Prius III	Passat TSI EcoFuel	A4 2.0 TFSI flexible fuel
E:		Volvo	Mercedes E	Mercedes-	Volvo S60/

Alternative Antriebe – Technologieoptionen 2013					
Bezeichnung	EV	PHEV	HEV	CNG	E85
Oberklasse		S60/V60	Hybrid	Benz: E 200 NGT	V60 2.0F
F: andere			Audi A8 Hybrid	VW Touran CNG Peugeot 3008 Hybrid 4 x 4	Renault Scenic E85

Die endgültige Auswahl der Referenzfahrzeuge sowie eine Diskussion über mögliche Bandbreiten der Attribute erfolgten in Abstimmung mit dem Projektbeirat in der Sitzung am 27. April 2010.

2.2.2 Fahrzeugcharakterisierungen und Entscheidungsexperiment

Nachdem die Fahrzeugalternativen, die Referenzfahrzeuge und die Segmente gewählt waren musste noch entschieden werden, welche Attribute im Entscheidungsexperiment die Fahrzeuge beschreiben sollten. Die Auswahl der Attribute wurde zum einen anhand einer Literaturstudie (siehe Kapitel 3.2, Tabelle 10), zum anderen ebenfalls in Abstimmung mit dem Projektbeirat sowie mit den ExpertInnen im Umweltbundesamt getroffen. Letztendlich wurden fünf quantitative und zwei qualitative Attribute gewählt.

ausgewählte Attribute

- Quantitative Attribute
 - Leistung in kW/PS,
 - Wartungskosten in Euro/Jahr,
 - Treibstoffkosten in Euro/Jahr,
 - Reichweite in Kilometern,
 - Kaufpreis in Euro.
- Qualitative Attribute
 - Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen und Tankstellen,
 - Zusatzleistung (Carsharing-Angebot oder Benützung öffentlicher Verkehrsmittel zum Kauf eines Elektrofahrzeugs).

Eine zusätzliche Unterscheidung der zur Wahl stehenden Fahrzeuge nach Herstellermarke erschien hingegen aus verschiedenen Gründen nicht sinnvoll. Erstens würde die vergleichsweise große Anzahl an Markennamen bedeuten, dass ein solches Attribut auch die entsprechende Anzahl an Ausprägungen haben müsste. Dies würde wiederum die Entwicklung des effizienten experimentellen Designs erschweren und somit unter Umständen auch die statistische Signifikanz der Schätzergebnisse einschränken.

Zweitens würde ein solcher Ansatz die Gefahr bergen, dass die Entscheidungen der Befragten fast zur Gänze von diesem Attribut bestimmt würden und die Bedeutung der anderen Eigenschaften somit nur mehr unzureichend bestimmt werden könnte.

Drittens gibt es im Bereich der Automobilforschung jährliche Untersuchungen die sich explizit mit dem Thema Markentreue beschäftigen und dementsprechend als Referenz für die vorliegende Studie herangezogen werden können (DAT, 2009). Zur Erreichung der Projektziele – d. h. insbesondere zur Quantifi-

zierung des Effekts durch die oben angeführten Fahrzeugattribute – erschien es daher sinnvoll, von einer expliziten Modellierung des Markenverhaltens Abstand zu nehmen.

neun Entscheidungssituationen

In Abbildung 2 wird exemplarisch eine Entscheidungssituation, wie sie den Befragten im Entscheidungsexperiment dargestellt wurde, gezeigt. In den Entscheidungssets wurden die relevanten Informationen aus der Fahrzeugmarktrecherche verwertet. Insgesamt wurden neun Entscheidungssituationen präsentiert, die Variation der Bandbreiten der Attribute erfolgte aufgrund eines effizienten experimentellen Designs (siehe Kapitel 3.2, Tabelle 11). Ziel dieser neun Entscheidungssituationen war es, je eine Kaufentscheidung der Befragten zur Ableitung der Präferenzen zu beobachten (siehe Kapitel 3.1). Jede Fahrzeugalternative wurde mit einem *pop-up* Fenster versehen. So konnten Hintergrundinformationen zu den Antriebsarten, aber auch zur Spezifikation der Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten oder zu angebotenen Zusatzleistungen beim Kauf von Elektrofahrzeugen noch einmal abgerufen werden.

Entscheidungssituation aus der Befragung						
GfK		GfK eSolutions				
Situation 1 von 9						
CBC-Version und Task (nur sichtbar zum Testen) D - 102, T - CBC_Random1 Für welches der Fahrzeuge würden Sie sich bei Ihrem nächsten Fahrzeugkauf am ehesten entscheiden?						
Antriebstechnik:	Konventionelles Fahrzeug	E85-Fahrzeug	Bio- oder Erdgasfahrzeug	Hybrid-Fahrzeug	Plug-in Hybridfahrzeug	Elektrofahrzeug
Leistung in PS:	70 PS	70 PS	56 PS	84 PS	56 PS	70 PS
Wartungskosten in Euro pro Jahr:	625 EUR	625 EUR	750 EUR	500 EUR	625 EUR	625 EUR
Treibstoffkosten in Euro pro Jahr:	1.000 EUR	1.000 EUR	750 EUR	1.000 EUR	750 EUR	500 EUR
Reichweite in Kilometern:	500 km	500 km	280 km	500 km	500 km	420 km
Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen und Tankstellen:	an allen Tankstellen	an allen Tankstellen	an allen Tankstellen	an allen Tankstellen	an allen Tankstellen	Gering
Zusatzleistung:	-	-	-	-	-	Carsharing-Mietwagen
Einkaufspreis:	15.000 EUR	18.000 EUR	21.000 EUR	12.000 EUR	21.000 EUR	12.000 EUR
<input type="button" value="→"/>						
Quelle: GfK e Solutions				umweltbundesamt		

Abbildung 2: Beispiel einer Entscheidungssituation aus der Online-Befragung (1 von 9).

2.3 Deskriptive Auswertung und Repräsentativität

In diesem Abschnitt erfolgt eine knappe deskriptive Auswertung der erhobenen Daten. Eine genauere Analyse der vom Entscheidungsexperiment unabhängigen Befragungssteile befindet sich im Anhang „Deskriptive Analyse“.

Insgesamt umfasste das Sample 714 Beobachtungen, darunter 339 Frauen und 375 Männern, die in den für die Studie als relevant betrachteten Bezirken in Wien und Umgebung wohnen. Im Jahr 2011 lebten etwa 2,4 Millionen Menschen in diesen Bezirken. Tabelle 3 stellt einige Charakteristika des Samples jenen der Gesamtbevölkerung gegenüber, um die Repräsentativität für die ausgewählte Region besser einordnen zu können.

714 Beobachtungen

Tabelle 3: Vergleich des Samples mit der Gesamtbevölkerung.

	Sample	Gesamtbevölkerung	
	Österreich	Wien und Umgebung	
Anzahl¹⁾		2011	2011
Gesamt	714	8.404.252	2.405.279
im Alter von 17–85 Jahren	714	6.822.683	1.965.746
Anteil Frauen	47 %	51 %	52 %
Altersverteilung¹⁾		2011	2011
17–24	8 %	12 %	12 %
25–44	40 %	35 %	36 %
45–64	38 %	34 %	33 %
65–85	14 %	19 %	19 %
höchster Bildungsabschluss^{2)*}		2009	2009
höchstens Allgemeinbildende Pflichtschule	2 %	19 %	21 %
Lehre	17 %	37 %	28 %
BMS	8 %	16 %	14 %
AHS	15 %	6 %	9 %
BHS	17 %	8 %	9 %
Kolleg	5 %	4 %	1 %
Universität, Fachhochschule, hochschulverwandte Lehranstalt	37 %	14 %	19 %
durchschnittliche Haushaltsgröße (Anzahl Personen)³⁾	**	2011	2011**
Anzahl Personen	2,2	2,3	2,0
Anzahl Kinder	1,4	1,8	1,8
Anteil verheiratet/in Lebensgemeinschaft	0,6	0,6	0,5
mittleres Nettopersoneneinkommen (Median, in €)⁴⁾	**	2010	2010**
	25.847	18.569	18.338

	Sample	Gesamtbevölkerung	
	Österreich	Wien und Umgebung	
Anzahl ¹⁾		2011	2011
Haushaltseinkommensverteilung (in €)⁵⁾		2010	
25 % haben weniger als ...	19.125	15.570	–
50 % haben weniger als ...	25.579	20.618	–
75 % haben weniger als ...	31.846	27.504	–
Pkw-Nutzer pro Haushalt	2,065826	–	–
Autos pro Haushalt⁶⁾		**	2009/10 2009/10**
kein Auto	10 %	23 %	41 %
ein Auto	62 %	51 %	50 %
mehr als ein Auto	27 %	26 %	8 %
Fahrhäufigkeit			
fast täglich	53 %	–	–
mehrmals pro Woche	26 %	–	–
mehrmals pro Monat	14 %	–	–
einmal im Monat	2 %	–	–
seltener	5 %	–	–
Urbanisierungsgrad			
URB 1 – dicht besiedelt (Städte)	91 %	30 %	–
URB 2 – mittlere Dichte (Vororte)	4 %	28 %	–
URB 3 – dünn besiedelt (ländliche Gebiete)	5 %	42 %	–

* 25–64 Jahre

** nur Wien

Quelle: Sample aus Erhebung.

¹⁾ Statistik Austria, Bevölkerung zu Quartalsbeginn ab 2002.²⁾ Statistik Austria, Bildungsstandregister 2009.³⁾ Statistik Austria, Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung 2011 (Durchschnitt aller Wochen eines Jahres).⁴⁾ Statistik Austria, Lohnsteuerdaten – Sozialstatistische Auswertungen.⁵⁾ Statistik Austria, EU-SILC 2010.⁶⁾ Statistik Austria, Konsumentenbefragung 2009/10.

sozio-ökonomische Auswertung

Die älteste Person im Sample war 85, die jüngste 17 Jahre alt. Verglichen mit der Gesamtbevölkerung sind unter den Befragten sowohl junge (unter 24) als auch ältere (über 65) Personen unterrepräsentiert, während Personen zwischen 25 und 64 überrepräsentiert sind. Bezüglich des Ausbildungsniveaus sind Personen mit geringerer Ausbildung unter- und Personen mit höherer Ausbildung überrepräsentiert. Dies setzt sich auch im Vergleich der Einkommen fort: Das mittlere Nettopersoneneinkommen im Sample (zu Vergleichszwecken nur für Wien ausgewertet) belief sich auf knapp 26.000 € jährlich, während das Median-Einkommen in Wien im Jahr 2010 gut 18.000 € betrug. Die Streuung der Haushaltseinkommen zeigt ebenfalls, dass die Einkommen im Sample höher liegen als die der Vergleichsdaten.

Diese Unterschiede im Vergleich zur Gesamtbevölkerung entsprechen den Erwartungen: Es wurden nur Personen befragt, die einerseits regelmäßig Auto fahren und die außerdem planen, in den nächsten Jahren einen Neuwagen anzuschaffen. Beide Kriterien treffen eher auf Leute in mittlerem Alter zu, insbesondere das Kriterium des Auto-Neukaufs kann eher von Personen mit höheren Einkommen und höherer Bildung erfüllt werden, womit das Sample sehr gut zu der untersuchten Fragestellung passt.

Tabelle 4 zeigt die prozentuelle Verteilung der Befragten nach Wohnbezirken, im Vergleich zur Gesamtbevölkerung in diesen Regionen. Zu besseren Vergleichszwecken wurde in beiden Auswertungen auf die Altersgruppe der 25- bis 64-Jährigen eingeschränkt. Verglichen mit der Gesamtbevölkerung ist der Anteil der WienerInnen im vorliegenden Sample zu gering. Demgegenüber steht eine Überrepräsentation vor allem in Neusiedl am See (als einziger Bezirk Burgenlands), aber auch in Gänserndorf und Tulln.

Verteilung nach Wohnbezirken

Tabelle 4: Verteilung der Bevölkerung und der Befragten auf die Bezirke (25–64-Jährige). (Quelle: IHS 2011)

Jahr	2011	2011
	Bevölkerung¹⁾ 25–64-jährig	Sample 25–64-jährig
Gesamt	1.359.858	557
Neusiedl am See	2 %	8 %
Bruck an der Leitha	2 %	2 %
Gänserndorf	4 %	6 %
Hollabrunn	2 %	2 %
Korneuburg	3 %	3 %
Mistelbach	3 %	3 %
Mödling	5 %	5 %
Tulln	3 %	4 %
Wien Umgebung	5 %	5 %
Wien	72 %	63 %

¹⁾ STATISTIK AUSTRIA, Bevölkerung zu Quartalsbeginn 01/2011

Die Relation des Samples zur Gesamtbevölkerung gilt es bei den Sampleauswertungen zu berücksichtigen. Um österreichweite sowie bundeslandspezifische Abschätzungen hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Emissionen zu erhalten, wurde das Sample gewichtet (siehe Kapitel 3.5).

2.4 Faktorenanalyse zu Umweltbewusstsein und deskriptive Auswertungen

Mutmaßlich spielt das persönliche Umweltbewusstsein bei der Entscheidung für ein alternativ betriebenes Fahrzeug eine bedeutende Rolle. Da eine direkte Frauge nach dem Umweltbewusstsein möglicherweise nicht zu einer objektiv bewertbaren Antwort führen würde², wurden in dieser Erhebung, ähnlich wie etwa in EWING & SARIGÖLLÜ (2000), den Befragten zunächst acht Aussagen, die mit der Einstellung zur Umwelt voraussichtlich in Zusammenhang stehen, präsentiert. Die Befragten wurden aufgefordert, jedes dieser Statements auf einer Skala von 1 bis 6, also von „trifft völlig zu“ bis „trifft überhaupt nicht zu“, zu bewerten. In Tabelle 5 sind die Aussagen aufgelistet. Aus diesen acht erhaltenen Variablen wurde dann in weiterer Folge mittels Faktorenanalyse ein Indikator für Umweltbewusstsein gebildet.

Tabelle 5: Aussagen zu Umweltbewusstsein im Fragebogen.

Aussage	trifft völlig zu			trifft überhaupt nicht zu		
	1	2	3	4	5	6
In größeren Städten sollte die Innenstadt weitgehend für den Autoverkehr gesperrt werden.	1	2	3	4	5	6
Ich achte auf den „CO ₂ -Fußabdruck“ eines Produkts, bevor ich es kaufe.	1	2	3	4	5	6
Ich halte mich für einen umweltbewussten Menschen.	1	2	3	4	5	6
Der Klimaschutz ist unbestritten ein wichtiges Thema in der heutigen Zeit.	1	2	3	4	5	6
Ich bin bereit, Maßnahmen für den Klimaschutz selbst mitzutragen.	1	2	3	4	5	6
Ich achte beim Kauf von Lebensmitteln sehr auf die Regionalität/regionale Herkunft der Produkte.	1	2	3	4	5	6
Ich beziehe Öko-Strom in meinem Haushalt.	1	2	3	4	5	6
Ich achte in meinem Haushalt sehr auf Mülltrennung.	1	2	3	4	5	6

**Erhebung
des Faktors
Umweltbewusstsein**

Die Faktorenanalyse ist eine statistische Methode, deren grundsätzliches Ziel es ist, aus mehreren, ähnlichen Dingen messenden (und daher miteinander korrelierten) Variablen eine geringere Anzahl an Variablen (Faktoren) herauszufiltern. Im vorliegenden Anwendungsbereich geht es darum, aus den abgefragten Meinungen zum Thema Umwelt eine nicht direkt abgefragte Variable – den „Faktor Umweltbewusstsein“ –, die allerdings wahrscheinlich den abgefragten Variablen zugrundeliegt, herauszufiltern.

² Einerseits könnte sich das Problem des sozial erwünschten Antwortverhaltens stellen, andererseits ist der Begriff „Umweltbewusstsein“ vermutlich zu abstrakt und ungenau und wird von den Befragten unterschiedlich verstanden und interpretiert, sodass die Antworten nur schlecht verglichen werden können.

Grundsätzlich können mehrere Faktoren aus den abgefragten Variablen gebildet werden. Im vorliegenden Fall bestand das Ziel aber darin, nur einen Faktor für Umweltbewusstsein zu erhalten. Die Berechnung dieses Faktors erfolgt über eine Schätzung hinsichtlich der Variationen in den beobachteten Variablen – der Faktor Umweltbewusstsein ist dann die Summe der Ausprägungen der abgefragten Variablen, jeweils mit einem Koeffizienten gewichtet.

Tabelle 6 stellt das Ergebnis der Faktorenanalyse dar. Aus den acht abgefragten Variablen könnten bis zu acht Faktoren gefiltert werden. Die Eigenwerte geben an, inwiefern der berechnete Faktor mit den zugrundeliegenden abgefragten Aussagen korreliert. Die berechneten Eigenwerte bestätigen die Vorgehensweise, dass nur ein Faktor die acht Fragen zusammenführen kann, da bereits der erste Faktor sehr viel der Variation der abgefragten Variablen beinhaltet und zusätzliche Faktoren nicht mehr viel Informationen beisteuern würden. Faktor eins ist somit der gesuchte Faktor für Umweltbewusstsein.

Tabelle 7 zeigt die Eigenschaften des Faktors Umweltbewusstsein in Verbindung mit den zugrundeliegenden abgefragten Variablen. Der Faktor Umweltbewusstsein korreliert mit allen acht Fragen positiv (Faktorladung), was auch der Intention bei der Entwicklung der Fragen entsprach. Der Gemeinsamkeitsgrad gibt an, wie viel Variation der einzelnen Frage der neue Faktor Umweltbewusstsein erklärt. Werte über 40 % können als recht gute Gemeinsamkeit interpretiert werden. Eher niedrig sind die Grade für die Fragen 6 und 7 nach regionalen Lebensmitteln und ob Ökostrom bezogen wird.

*Tabelle 6: Ergebnis der Faktorenanalyse: Eigenwerte der möglichen Faktoren.
(Quelle: IHS 2012).*

Faktor	Eigenwert	Anteil
Faktor 1	3,30	99 %
Faktor 2	0,41	12 %
Faktor 3	0,12	4 %
Faktor 4	0,03	1 %
Faktor 5	-0,05	-2 %
Faktor 6	-0,11	-3 %
Faktor 7	-0,17	-5 %
Faktor 8	-0,20	-6 %

Tabelle 7: Eigenschaften des Faktors Umweltbewusstsein in Verbindung mit den Fragen. (Quelle: IHS 2012).

Frage	Faktorladung	Gemeinsamkeitsgrad	Score Koeffizienten
Frage 1	0,73	53 %	0,21
Frage 2	0,70	49 %	0,17
Frage 3	0,81	65 %	0,30
Frage 4	0,60	35 %	0,14
Frage 5	0,56	31 %	0,11
Frage 6	0,53	28 %	0,10
Frage 7	0,44	19 %	0,07
Frage 8	0,70	49 %	0,18

Interpretation des Faktors Umweltbewusstsein Der eigentliche Wert des Faktors wird nun für jede Person anhand der Ausprägung der abgefragten Variablen (Frage 1 bis Frage 8) und des Score Koeffizienten berechnet. Um einen leicht interpretierbaren und verwendbaren Index zu erhalten, wird der so berechnete Faktor mit einem Durchschnitt 100 und einer Standardabweichung von 10 standardisiert. Dazu wird der errechnete Faktor Umweltbewusstsein durch die geschätzte Standardabweichung dividiert, mal 10 gerechnet und schließlich wird noch 100 hinzugefügt.³ Die Interpretation des Faktors Umweltbewusstsein ist nun die Folgende: Personen mit einem Faktor über 100 sind überdurchschnittlich umweltbewusst, Personen mit einem Faktor unter 100 sind dies in unterdurchschnittlichem Ausmaß. Somit können die Personen im Sample nach diesem Faktor eingeteilt werden. Das Ergebnis kann in Abbildung 3 abgelesen werden und es zeigt sich, dass im vorliegenden Sample Frauen ein höheres Umweltbewusstsein als Männer haben. So erreichen 19 % der Frauen und 11 % der Männer einen Wert (Score) über 110, 20 % der Männer und nur 10 % der Frauen haben einen Wert unter 90. Bei den Werten um 100 ist die Verteilung der Geschlechter ähnlich. Zwischen den Altersgruppen gibt es keine erkennbaren Unterschiede im Umweltbewusstsein, einzige die jüngste Altersgruppe hat wenig Anteile mit Werten über 110, aber auch geringe Anteile mit Werten unter 90. Für die älteste Gruppe ist das Gegenteil der Fall. Hinsichtlich des Bildungsniveaus konnte ein etwas größerer Anteil bei den Werten über 100 unter (Fach-)HochschulabsolventInnen gefunden werden.

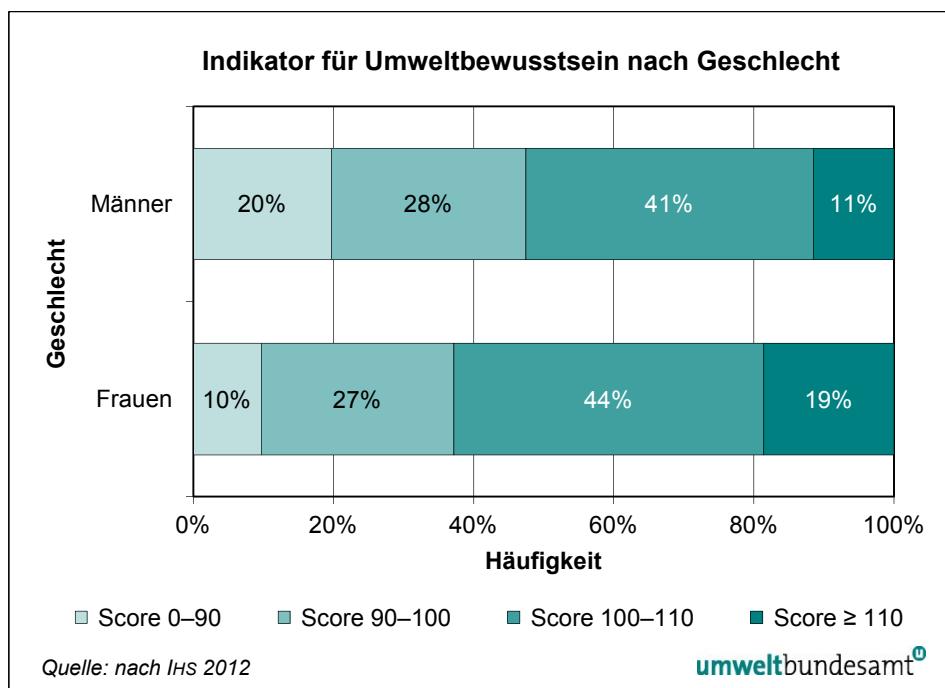


Abbildung 3: Indikator für Umweltbewusstsein nach Geschlecht.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Indikator-Werte nach den möglichen Wohnorten. Im Sample sind BewohnerInnen von Dörfern und kleinen Städten durchschnittlich umweltbewusster als WienerInnen (Großstadt) oder BewohnerInnen von mittelgroßen Städten.

³ Index für Umweltbewusstsein = $(\text{Faktor}/\sigma_{\text{Faktor}}) * 10 + 100$

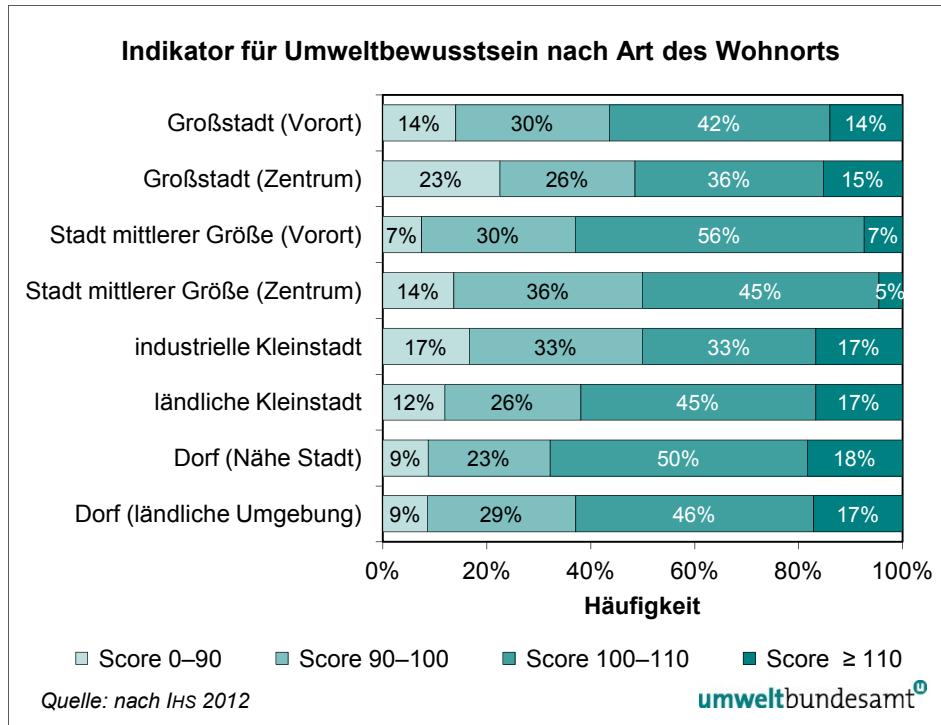


Abbildung 4: Indikator für Umweltbewusstsein nach Art des Wohnorts.

Bei Vergleich der Einstellung zur Umwelt in Zusammenhang mit der Häufigkeit der Autonutzung (siehe Tabelle 8) ist zu erkennen, dass in diesem Sample umweltbewusste Personen ihr Auto nicht seltener benutzen als nicht umweltbewusste Personen. Dies liegt darin begründet, dass außerhalb von Städten wohnende Personen zwar ein größeres Umweltbewusstsein haben, zugleich aber vermehrt auf das Fahrzeug zur alltäglichen Fortbewegung angewiesen sind und somit auch häufiger fahren als die im Durchschnitt weniger umweltbewussten WienerInnen.

Tabelle 8: Indikator für Umweltbewusstsein nach der Häufigkeit der Autonutzung.
(Quelle: IHS 2012).

	Score 0–90	Score 90–100	Score 100–110	Score ≥ 110
fast täglich	16 %	27 %	42 %	16 %
mehrmales pro Woche	12 %	34 %	41 %	12 %
mehrmales pro Monat	17 %	22 %	44 %	17 %
einmal im Monat	17 %	25 %	42 %	17 %
seltener	14 %	17 %	55 %	14 %

Werden hingegen nur WienerInnen (siehe Tabelle 9) betrachtet, ist sehr wohl ein Zusammenhang zwischen höherem Umweltbewusstsein und seltenerer Benützung des Autos erkennbar.

Tabelle 9: Indikator für Umweltbewusstsein nach der Häufigkeit der Autonutzung, nur WienerInnen. (Quelle: IHS 2012).

Häufigkeit der Autonutzung	Score 0–90	Score 90–100	Score 100–110	Score ≥ 110
fast täglich	22 %	26 %	38 %	14 %
mehrmals pro Woche	13 %	36 %	38 %	12 %
mehrmals pro Monat	16 %	25 %	47 %	12 %
einmal im Monat	13 %	19 %	31 %	38 %
seltener	12 %	15 %	45 %	27 %

3 METHODIK

In diesem Kapitel wird der methodische Ansatz, der zur Erreichung der Projektziele gewählt wurde, im Detail dargestellt. Während Kapitel 3.1 die notwendigen Definitionen vorstellt und eine allgemeine Einleitung bietet, beschreibt Kapitel 3.2 das experimentelle Design, das für die vorliegende Studie entwickelt wurde, wobei eine vertiefende Behandlung dieses Themas sowohl bei LOUVIERE et al. (2000) als auch bei HENSHER et al. (2005) nachgeschlagen werden kann. In Kapitel 3.3 werden, aufbauend auf TRAIN (2009) und GREENE (2008), die ökonometrischen Modelle beschrieben, welche bei der Analyse der entsprechenden Datensätze zur Verwendung kommen. In Kapitel 3.5 wird die Herangehensweise zur Berechnung der Emissionen erläutert.

3.1 Definition und Überblick

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, enthält der erhobene Datensatz einerseits umfangreiche Informationen zum sozio-ökonomischen Hintergrund, den vorangegangenen Kaufentscheidungen sowie dem Mobilitätsverhalten von Individuen und Haushalten. Andererseits wurde im Rahmen der Haushaltsbefragung auch ein diskretes Entscheidungsexperiment (*discrete choice experiment*) durchgeführt. Ziel eines solchen experimentellen Ansatzes ist es, die Präferenzen der befragten Haushalte bezüglich einer spezifischen Entscheidungssituation systematisch zu untersuchen. Dieser methodische Ansatz baut auf der ökonometrischen Analyse *bekundeter Präferenzen* auf und gilt gegenwärtig als der modernste und vielversprechendste Ansatz zur Untersuchung einer Vielzahl von umweltökonomischen (und auch anderen) Fragestellungen.

**methodischer
Ansatz**

Wie in Kapitel 3.3 im Detail dargestellt wird, geht die Volkswirtschaftslehre generell davon aus, dass individuelle Entscheidungen in ökonomischen Situationen von zugrundeliegenden Präferenzen motiviert sind. Da die Vorlieben eines Individuums allerdings nicht direkt beobachtet werden können, müssen die individuellen Entscheidungen als Ausgangspunkt einer entsprechenden Analyse herangezogen werden.

Diesem Ansatz folgend sind ökonomische Entscheidungssituationen charakterisiert durch eine Anzahl an Alternativen, zwischen denen sich ein Individuum entscheiden kann. Jede dieser Alternativen kann wiederum anhand einiger Attribute beschrieben werden, wobei letztere

**Rolle der
Alternativen**

- (a) bei jeder Alternative unterschiedliche Ausprägungen annehmen und
- (b) sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur sein können.

Wie bereits in Kapitel 2.2 angeführt wurde, kann der Fahrzeugkauf als eine Entscheidung zwischen mehreren Fahrzeugtypen aufgefasst werden. Jedes zur Wahl stehende Fahrzeug stellt demnach eine Alternative dar und unterscheidet sich von den anderen Alternativen in der Ausprägung der Eigenschaften, das heißt z. B. bei Preis, Leistung, Treibstoff-/Wartungskosten und dergleichen. Ein Individuum, das sich in einer solchen Entscheidungssituation befindet, wird also die zur Wahl stehenden Fahrzeuge anhand ihrer Attributsausprägungen bewerten und sich schließlich für jenes entscheiden, welches die bestmögliche Befriedigung seiner Präferenzen garantiert (siehe Kapitel 3.3).

Wie aus dieser kurzen Darstellung ersichtlich ist, muss eine systematische Analyse individueller Präferenzen also nicht nur Informationen zur tatsächlich gewählten Alternative beinhalten. Sie muss darüber hinaus auch Informationen zu jenen nicht gewählten Alternativen enthalten, die zum Zeitpunkt der Entscheidung zur Wahl gestanden haben.

offenbare Präferenzen In diesem Zusammenhang wird zwischen offenbarten und bekundeten Präferenzen unterschieden. Offenbare Präferenzen bauen auf Datensätzen auf, welche Informationen über in der Vergangenheit tatsächlich getroffene Entscheidungen enthalten (*revealed preferences*). Wie bereits erwähnt ist es dabei nicht ausreichend lediglich zu wissen, welches Fahrzeug gekauft wurde. Für eine systematische Analyse auf Basis diskreter Entscheidungsmodelle wäre es notwendig, die gesamte Entscheidungssituation (*choice set*) rekonstruieren zu können. Da es im Falle des Fahrzeugkaufs außerordentlich schwierig wäre, die notwendige Information über alle zur Wahl gestandenen Fahrzeuge ex-post zu rekonstruieren, war ein solcher Zugang für das vorliegende Projekt ungeeignet.

bekundete Präferenzen Ein weiterer Zugang, welcher sich in vielen Zusammenhängen bereits zum Standard entwickelt hat, besteht darin, ein diskretes Entscheidungsexperiment in einer Haushaltsbefragung zu inkludieren. Dieser Ansatz wurde auch im Rahmen des vorliegenden Projektes gewählt. Demnach wurden die befragten Haushalte gebeten, eine Reihe von hypothetischen Entscheidungssituationen zu beurteilen und eine ihren Präferenzen entsprechende Entscheidung zu treffen. Bei den dadurch erhobenen Daten handelt es sich also um bekundete Präferenzen, wobei das für das vorliegende Projekt verwendete experimentelle Design in Kapitel 3.2 beschrieben wird (*stated preferences*).

Im Kontext des Fahrzeugkaufs hat dieser Zugang eine Reihe von Vorteilen:

- *Erstens* wäre es mit sehr hohen Kosten verbunden, adäquate Informationen über vorangegangene Fahrzeugkäufe (i. e. offenbare Präferenzen) zu sammeln.
- *Zweitens* wären Qualität und Vergleichbarkeit der Daten in diesem Fall nicht im selben Ausmaß gewährleistet und die ökonometrische Analyse mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet.
- *Drittens* kann das experimentelle Design in diskreten Entscheidungsexperimenten mit Hinblick auf die relevanten Fragestellungen gestaltet werden (siehe Kapitel 3.2) und
- *Viertens* können bekundete Präferenzen auch für neue, noch nicht in großem Umfang erhältliche Alternativen (wie z. B. Elektrofahrzeuge) erhoben werden.

3.2 Experimentelles Design

Für das vorliegende Projekt wurde ein eigenes experimentelles Design auf Basis der Software *Ngene* (CHOICEMETRICS 2012) entwickelt. Um die verhaltens-theoretische Relevanz und somit den Erfolg der Datenerhebung sicherzustellen wurden einerseits eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und andererseits das vorgeschlagene experimentelle Design im Rahmen eines Workshops mit dem wissenschaftlichen Beirat diskutiert. Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Literaturrecherche zu Elektrofahrzeugen.

Studie	ökometrisches Modell	Anzahl der Entscheidungssituationen, Attribute und Prägungen	Liste der Attribute	Fahrzeugalternativen	Region	Stichprobe	Journal
HIDRUE et al. (2011)	MNL, Latent class	48 (in 24 blocks), 6, 4–7	Reichweite, Aufladezeit, Treibstoffkostenersparnis, Emissionsreduktion und Leistung, Preis	3 (CV, 2 EV)	USA	3.029	Resource and Energy Economics
EWING & SARIGÖLLÜ (2000)	MNL	9, 7, 3	Preis, Treibstoffkosten, Wartungs- und Reparaturkosten, Pendelzeit, Beschleunigung, Reichweite, Aufladezeit	3 (CV, AFV, EV)	Kanada	881	Journal of Public Policy & Marketing
HORNE et al. (2005)	MNL	8, 6, (2–4)	Preis, Treibstoffkosten, Anzahl der Tankstellen mit geeignetem Treibstoff, eigene Fahrspuren, Emissionen, Leistung	4 (CV, CNG, HEV, HFCV)	kanadische Städte größer 250.000 Einwohner	885	Energy Economics
MAU et al. (2008)	MNL	18, 6, 3	Preis, Treibstoffkosten, Förderung vom Staat, Reichweite, Tankstellen mit geeignetem Treibstoff, Garantie	2 pro Studie (CV, HEV, HFCV)	kanadische Städte größer 250.000 Einwohner	916\ 1.019	Ecological Economics
BROWNSTONE et al. (2000)	MNL und MML	2, 13, 4	Preis, Reichweite, Betankungszeit zuhause, Treibstoffkosten zuhause, Betankungszeit bei der Tankstelle, Kosten bei der Tankstelle, Tankstellenverfügbarkeit, Beschleunigung, Höchstgeschwindigkeit, Emissionen, Fahrzeuggröße, Fahrzeugtyp, Kofferraumgröße	3 (EV, CNG, AFV)	städtisches Kalifornien	4.747	Transportation Research Part B
AHN et al. (2008)	MDCEV	12, 6, 2–4	Fahrzeugtyp, Wartungskosten, Motorwechsel, Treibstoffeffizienz, Treibstoffkosten	4 (CV, CNG, LPG, Hybrid)	Südkorea	280	Energy Economics
diese Studie	ML	9, 7, 2–4	Preis, Leistung, Wartungskosten, Treibstoffkosten, Reichweite, Verfügbarkeit der Tankstellen, Zusatzleistungen	6 (CV, AFV, CNG, HEV, PHEV, EV)	Wien und Wien Umgebung	714	

AFV alternativ betriebenes Fahrzeug

CNG Erdgasfahrzeug

CV konventionelles Fahrzeug

EV Elektrofahrzeug

HEV Hybridfahrzeug

HFCV Wasserstofffahrzeug

LPG Gasfahrzeug

PHEV Plug-in-Hybrid Fahrzeug

MDCEV multiples diskretes Entscheidungswahlmodell

ML mixed logit

MNL multinomial logit

Attribute der Fahrzeugalternativen Wie bereits in Kapitel 2.2.1 dargelegt, wurden sieben Marktsegmente definiert und sechs unterschiedliche Antriebstechniken berücksichtigt: konventionelle Fahrzeuge (CV), Bio- oder Erdgasfahrzeuge (CNG), E85-Fahrzeuge (E85), Hybrid-Fahrzeuge (HEV), Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) sowie Elektrofahrzeuge (EV). Dementsprechend wurden Referenzfahrzeuge für jede Kombination aus Antriebstechnik und Segment definiert. Jede der Fahrzeugalternativen wurde anhand der folgenden Attribute beschrieben.

1. Leistung in kW/PS
2. Wartungskosten in Euro/Jahr
3. Treibstoffkosten in Euro/Jahr
4. Reichweite in Kilometern
5. Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen und Tankstellen
6. Zusatzleistung (nur beim Kauf eines Elektrofahrzeugs)
7. Kaufpreis in Euro.

Hierbei ist anzumerken, dass nicht jedes Attribut für jede Fahrzeugalternative relevant sein muss. So kann z. B. davon ausgegangen werden, dass Reichweite und Tankstellenverfügbarkeit (Attribute 4 und 5) bei konventionellen Fahrzeugen nicht variieren oder dass Zusatzleistungen (Attribut 6) nur bei Elektrofahrzeugen eine Rolle spielen.

In Bezug auf die Attribute wurden folgende zusätzliche Annahmen getroffen: Die Tankstellenverfügbarkeit wurde bei CV, E85, HEV und PHEV durchgehend mit ‚an allen Tankstellen‘ beschrieben. Bei den CNG-Fahrzeugen variierte diese Ausprägung zwischen 80 % oder 100 % der Tankstellen, während bei den Elektrofahrzeugen 3 qualitative Ausprägungen abgebildet wurden: ‚gering‘, ‚mittel‘ und ‚hoch‘. Diese wurden jeweils in einem *pop-up* Fenster genauer beschrieben. Die Zusatzleistungen waren nur bei Elektrofahrzeugen (wenn auch nicht durchgehend) verfügbar. Sie umfassten entweder eine Carsharing-Option, ein Park & Ride Jahresticket oder einen kostenlosen EV-Parkplatz in der Nähe des eigenen Wohnortes. Tabelle 11 stellt die Variation der Fahrzeugattribute (unabhängig von Segment und Fahrverhalten) dar.

Tabelle 11: Variation der Fahrzeugattribute im Experiment.

Attribut	CV	CNG	E85	HEV	PHEV	EV
Preis (% der Referenz)	–	140	140	140	140	140
	–	120	120	120	120	120
	100	100	100	100	100	100
	–	80	80	80	80	80
Leistung (% der Referenz)	–	120	120	120	120	120
	100	100	100	100	100	100
	–	80	80	80	80	80
Treibstoffkosten (€/km)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	–
	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	–
	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Wartungskosten (€/km)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Attribut	CV	CNG	E85	HEV	PHEV	EV
Reichweite (km)	500	–	500	500	500	–
	–	420	–	–	–	420
	–	280	–	–	–	280
	–	140	–	–	–	140
Tankstellenverfügbarkeit (% oder qualitativ)	100	100	100	100	100	Gering
	–	80	–	–	–	Mittel
	–	–	–	–	–	Hoch
Zusatzleistung (qualitativ)	keine	keine	keine	keine	keine	keine
	–	–	–	–	–	Carsharing
	–	–	–	–	–	P & R
	–	–	–	–	–	Parkplatz

CV..... konventionelles Fahrzeug

CNG..... Biogas- (Erdgas-)Fahrzeug

E85..... E85-Fahrzeug

HEV..... Hybrid-Fahrzeug

PHEV.... Plug-in-Hybrid-Fahrzeug

EV..... Elektrofahrzeug

Um die verhaltenstheoretische Relevanz der Entscheidungssituationen zu erhöhen wurden zwei direkte Verknüpfungen mit dem Fragebogenteil eingerichtet. So wurden bei jeder Person das angegebene Marktsegment des Neuwagens sowie die jährlich gefahrenen Kilometer zur Individualisierung der Entscheidungssituationen herangezogen. Dementsprechend wurden die Treibstoff- und Wartungskosten mit den Kilometern pro Jahr multipliziert und sowohl Kaufpreis als auch Leistung (in kW/PS) an das entsprechende Segment angepasst. Die Zuteilung der Haushalte nach Marktsegmenten sowie gefahrenen Kilometern können Tabelle 12 und Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 12: Zuteilung der Haushalte nach gefahrenen Kilometern.

Gefahrene Kilometer im Jahr	Beobachtungen nach km Angaben	Anteil in %
zwischen 0 und 5.000 km	720	11,2
zwischen 5.000 und 7.500 km	1.746	27,2
zwischen 10.000 und 15.000 km	1.602	24,9
zwischen 15.000 und 20.000 km	1.287	20,0
zwischen 20.000 und 30.000 km	720	11,2
mehr als 30.000 km	351	5,5
Gesamt	6.426	100

Tabelle 13: Zuteilung der Haushalte nach Marktsegmenten.

Marktsegmente	Beobachtungen nach Segment	Anteil in %
Kleinstwagen	567	8,8
Kleinwagen	1.494	23,2
Mittelklasse	1.899	29,6
Obere Mittelklasse	1.341	20,9
Oberklasse	198	3,1
Großraumlimousine/Van/Minivan/Family Van/MPV	657	10,2
Offroad/Geländewagen/SUV	270	4,2
Gesamt	6.426	100

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben, sollte jede Person, die an der Befragung teilnahm, neben dem klassischen Fragebogen, auch mit neun unterschiedlichen Entscheidungssituationen, in denen jeweils eine Kaufentscheidung getroffen werden musste, konfrontiert werden. Dabei wurde jede Fahrzeugalternative einer der sechs Antriebstechniken zugeordnet und mit einem *pop-up* Fenster versehen, in welchem die jeweiligen Eigenschaften zusammengefasst waren (*labeled experiment*). Bei 714 Befragten würde dies demnach zu einem Datensatz mit 6.426 Entscheidungsbeobachtungen führen.

Zweck des experimentellen Designs war es, ausgehend von diesen Einschränkungen, die Entscheidungssituationen (*choice sets*) zu definieren, welche in der Befragung implementiert werden sollten. Die daraus hervorgehenden Entscheidungsbeobachtungen bildeten also die (oben beschriebenen) bekundeten Präferenzen und waren letztlich auch die Grundlage für das diskrete Entscheidungsmodell. Die Entwicklung eines möglichst guten experimentellen Designs ist also essenziell für die Möglichkeiten und den Erfolg der ökonometrischen Modellierung.

Qualität eines experimentellen Designs

Zur Beurteilung der Qualität eines experimentellen Designs bietet sich das Kriterium der *Orthogonalität* an. Dies würde bedeuten, dass die Spalten der resultierenden Datenmatrix orthogonal sein müssen und Multikollinearität in den alternativ-spezifischen Attributen somit ausgeschlossen wäre. Wenngleich diese Eigenschaft in linearen Modellen – wie z. B. dem linearen Regressionsmodell – ausreicht, um Unabhängigkeit und Signifikanz der Parameterschätzungen sicherzustellen, ist dies in nicht-linearen Modellen – wie z. B. diskreten Entscheidungsmodellen – nicht notwendigerweise der Fall.

Weitere Argumente sprechen für die Verwendung zusätzlicher bzw. anderer Kriterien:

- Erstens kann die vollkommene Orthogonalität der Datenmatrix in Studien mit mehreren alternativ-spezifischen Attributen – aufgrund von Beschränkungen in der Anzahl der Entscheidungssituationen pro Person – ohnehin nur schwer gewährleistet werden.
- Zweitens bedeutet die Hinzunahme von Individuum-spezifischen sozio-ökonomischen Variablen (ohne Anpassung des Samplings), dass die im ökonometrischen Modell verwendete Datenmatrix nicht zur Gänze orthogonal sein wird.

- Drittens kann die ausschließliche Verwendung des Orthogonalitäts-Kriteriums zur Inklusion von verhaltenstheoretisch irrelevanten Entscheidungssituationen führen, in denen z. B. eine Alternative in allen Attributen attraktiver als die anderen ist.

Obwohl das experimentelle Design also im Wesentlichen ein Mittel zum Zweck ist, existiert eine umfangreiche Literatur die sich mit der Entwicklung neuer Qualitätskriterien, die in der Lage sind diese Nachteile auszugleichen, beschäftigt (für einen Überblick siehe auch BLIEMER et al. 2008 oder HENSHER et al. 2005).

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein *effizientes* experimentelles Design gewählt, welches auf Basis der a-priori erwarteten Parameterschätzungen entwickelt wurde⁴. Dieser Zugang stellt einerseits sicher, dass die Korrelation in den Attributen möglichst gering gehalten wird. Andererseits wird Information über die a-priori erwarteten Parameterschätzungen hinzugezogen, um die Entscheidungssituationen möglichst ausgewogen zu halten und die Dominanz einzelner Alternativen zu vermeiden. Dieser Ansatz bietet also die Möglichkeit, die Eigenschaften des experimentellen Designs noch weiter zu verbessern und somit eine solide Grundlage für die anschließende ökonometrische Modellierung zu schaffen.

Um die a-priori erwarteten Parameterschätzungen zu bestimmen wurde auf die in der Literaturrecherche gesammelten Resultate zurückgegriffen. Dabei wurde insbesondere auf ACHTNICHT (2009) und ZIEGLER (2010) Bezug genommen, da das gesamte Design dieser Studien dem der vorliegenden am ähnlichsten ist (z. B. in der Wahl der Attribute). Tabelle 14 fasst die Parameterschätzungen dieser beiden Studien sowie die für das experimentelle Design verwendeten Werte zusammen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Parameterschätzungen aus diversen Studien.

Autoren	ZIEGLER (2010)	ACHTNICHT (2009)	vorliegendes Design
Haushalte	598	598	714
Gebiet	D	D	Wien/Umgebung
Art	CAPI	CAPI	CAWI
	quasi-labeled	quasi-labeled	labeled
Entscheidungs-situationen	6	6	9
Alternativen	Benzin, Diesel, Hybrid, LPG/CNG, E85, Wasserstoff, Elektro	Benzin, Diesel, Hybrid, LPG/CNG, E85, Wasserstoff, Elektro	CV, CNG, E85, HEV, PHEV, EV
Attribute	Preis (P), Leistung (L), Treibstoffkosten (TK), CO ₂ , Tankstellen (TS)	Preis (P), Leistung (L), Treibstoffkosten (TK), CO ₂ , Tankstellen (TS)	Preis (P), Leistung (L), Treibstoffkosten (TK), Wartungskosten (WK), Reichweite (RW), Tankstellen (TS), Zusatzleistung (Z)
Individualisierung	P, L	P, L	P, L, TK, WK

⁴ Als Effizienzmaß wurde der sogenannte *D-Fehler* herangezogen.

Autoren	ZIEGLER (2010)	ACHTNICKT (2009)	vorliegendes Design
Einheiten	P: % L: % TK: €/100 km CO ₂ : g/km	P: € L: € TK: €/100 km CO ₂ : g/km	P: € L: € TK: €/km WK: €/km
			RW: km
	TS: % des bestehenden Netzes	TS: % des bestehenden Netzes	TS: % des bestehenden Netzes oder qualitativ Z: qualitativ
sozio-ökonomische Variablen	Alter, Ausbildung, Geschlecht, Region, Umweltfreundlichkeit (Indikator), Mobilitätsverhalten	Alter, Ausbildung, Geschlecht (inklusive Interaktionen mit CO ₂)	Alter, Ausbildung, Geschlecht, Region, Umweltbewusstsein (Faktor Analyse), Mobilitätsverhalten
Parameter-schätzungen bzw. Priors	P: -5,92 bis -10,69 L: 4 bis 7,38 TK: -4,85 bis -8,21 CO ₂ : -2,55 bis -4,70 TS: 0,79 bis 1,52	P: -0,000062 L: 0,009 TK: -2,569 CO ₂ : -5,463 TS: -4,388	P ¹⁾ : -0,00001 L ¹⁾ : 0,001 TK ¹⁾ : -1 WK ¹⁾ : -1 RW ¹⁾ : 0,001 TS ¹⁾ : 0,001

¹⁾ Bei diesen Werten handelt es sich um die Priors (*a-priori* erwartete Parameterschätzungen).

CAPI.....computer assisted personal interview

CAWI.....computer assisted web interview

Insgesamt wurden 144 unterschiedliche Entscheidungssituationen kreiert, wobei die Zuordnung der Entscheidungssituationen zu den einzelnen Personen durch Zufallsziehung generiert wurde.

3.3 Diskrete Entscheidungsmodelle

In diesem Unterkapitel werden die ökonometrischen Modelle beschrieben, die einen systematischen Rahmen zur Untersuchung des individuellen Entscheidungsprozesses bieten sollen und später als Grundlage für die in Kapitel 4 dargestellten Simulationen dienen. Im Allgemeinen gehören diese Modelle zur Klasse der Zufallsnutzenmodelle (*random utility models*). Das Entscheidungsproblem wird daher in Form eines Nutzenkalküls dargestellt, wenngleich dieser Ansatz auch andere Interpretationen zulässt (vgl. TRAIN 2009).

Eine Entscheidungssituation, wie sie in Kapitel 3.2 beschrieben wurde, ist charakterisiert durch ein Individuum n , welches sich für eine von $j = 1, \dots, J$ Alternativen entscheidet. Jede der möglichen Entscheidungen $j = 1, \dots, J$ generiert ein bestimmtes Ausmaß an Nutzen U_{nj} . Demnach wird Individuum n Alternative i nur dann wählen wenn $U_{ni} > U_{nj}$ für alle zur Wahl stehenden Alternativen $j = 1, \dots, J$ (welche nicht gleich i sind).

Da der Nutzenwert allerdings nur dem Individuum selbst bekannt ist, kann er nicht direkt bestimmt werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass nur ein Teil des Nutzenwertes systematisch, d. h. anhand von beobachteten Variablen, untersucht werden kann. Die Variablen, die für die Darstellung des systematischen Teils des Nutzens in Frage kommen, können entweder alternativ- oder individuum-spezifisch sein. Die alternativ-spezifischen Variablen umfassen z. B. die eben besprochenen Attribute, wie etwa Kaufpreis oder Leistung. Sie variieren von einer Alternative zur anderen, aber nicht von einem Individuum zum nächsten. Umgekehrt umfassen individuum-spezifische Variablen im Wesentlichen sozio-ökonomische Informationen wie z. B. Alter, Geschlecht und Ausbildung. Sie variieren zwar von einem Individuum zum nächsten, bleiben aber konstant über die Alternativen.

Bestimmung des Nutzenwertes

Der gesamte Nutzenwert setzt sich aus einem systematischen Teil $V_{nj} = V(x_{nj}, z_n)$ und einem stochastischen Teil ε_{nj} zusammen. Hierbei ist zu beachten, dass der systematische Teil sowohl durch alternativ-spezifische x_{nj} als auch durch individuum-spezifische z_n Variablen dargestellt wird.

$$U_{nj} = V(x_{nj}, z_n) + \varepsilon_{nj} \quad (1)$$

Nur den systematischen Teil bei der Analyse in Betracht zu nehmen würde der Annahme gleichkommen, dass die untersuchten Entscheidungsprozesse deterministischer Natur wären. Eine Reihe von Gründen spricht allerdings dafür, dass dies nicht der Fall ist. So ist z. B. davon auszugehen, dass nicht alle entscheidungsrelevanten Variablen beobachtet wurden bzw. dass diese zumindest teilweise gar nicht beobachtbar sind. Letzteres gilt natürlich insbesondere für jede Art der persönlichen Vorliebe, die nicht von beobachtbaren Variablen bestimmt ist. Des Weiteren kann es sein, dass z. B. Messfehler in den Variablen auftreten oder dass (einige) Individuen keinem systematischen Entscheidungsmuster folgen. All diese Unsicherheiten in der Nutzenabbildung werden von dem stochastischen Teil des Nutzens ε_{nj} abgebildet (i. e. *nicht beobachtete Heterogenität*), sodass die untersuchten Entscheidungsprozesse eben nicht mehr rein deterministisch bestimmt sind.

Der Entscheidungsprozess wird also wie folgt dargestellt. In jeder Entscheidungssituation stehen J Alternativen, welche sich gegenseitig ausschließen, zur Wahl. Jedes Individuum n kann sich also jeweils für genau eine der $j = 1, \dots, J$ Alternativen entscheiden. Dies wird durch die Indikatorvariable d_{ni} dargestellt.

$$d_{ni} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } U_{ni} > U_{nj}, \forall j = 1, \dots, J \text{ für die } i \neq j \text{ gilt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (2)$$

Darstellung des Entscheidungsprozesses

Demnach wird sich Individuum n nur dann für Alternative i entscheiden wenn $U_{ni} > U_{nj}$ für alle zur Wahl stehenden Alternativen $j = 1, \dots, J$. In diesem Fall nimmt die Indikatorvariable d_{ni} den Wert 1 an; gibt es allerdings eine Alternative, die einen höheren Nutzenwert generiert, dann ist die Indikatorvariable d_{ni} gleich 0.

Diese Formulierung erlaubt es, die Auswahlwahrscheinlichkeiten folgendermaßen darzustellen:

$$P_{ni} = prob(U_{ni} > U_{nj}, \forall j = 1, \dots, J \text{ für die } i \neq j \text{ gilt}) \quad (3)$$

Zieht man nun Gleichung (1) in Betracht so wird klar, dass die Auswahlwahrscheinlichkeiten sowohl von den Differenzen in den systematischen Teilen des Nutzenwertes als auch von den Differenzen in den unbeobachteten, stochastischen Teilen des Nutzenwertes bestimmt werden.

Während zur Modellierung des systematischen Teils in den meisten Fällen ähnliche funktionale Formen angenommen werden (z. B. linear, quadratisch oder durch Box-Cox Transformation), gibt es mehrere unterschiedliche Ansätze zur Modellierung des stochastischen Teils. In diesem Zusammenhang gilt es festzuhalten, dass jede Annahme bezüglich der Verteilung des stochastischen Fehlerterms ε_{nj} mit entsprechenden Annahmen bezüglich der nicht beobachteten Aspekte des Entscheidungsprozesses verbunden ist.

multinomiales Logit-Entscheidungsmodell Das einfachste diskrete Entscheidungsmodell ist das multinomiale Logit-Modell (MNL). Dieses Modell geht von der Annahme aus, dass jeder der Fehlerterme einer Extremwertverteilung folgt. Berücksichtigt man diese Annahme, so können die Auswahlwahrscheinlichkeiten aus Gleichung (3) in geschlossener Form dargestellt werden, was eine wesentliche Vereinfachung des Schätzverfahrens zur Folge hat. Dieser Vorteil ist allerdings mit entsprechenden Vereinfachungen bei der Modellierung der nicht beobachteten Heterogenität verbunden.

So impliziert dieses Modell – gegeben die Spezifikation des systematischen Nutzenwertes – eine proportionale Substitution zwischen den Alternativen. Dies bedeutet wiederum, dass es strenggenommen nur dann eine zutreffende Darstellung des Entscheidungsprozesses liefert, wenn die Wahl zwischen zwei beliebigen Alternativen unabhängig von dritten Alternativen ist (*Unabhängigkeit irrelevanter Alternativen*). Um dieser Einschränkung Genüge zu tun sollte es also im Allgemeinen eher dann verwendet werden, wenn der Datensatz eine umfangreiche Modellierung des systematischen Nutzenwertes erlaubt.

andere diskrete Entscheidungsmodelle Andere diskrete Entscheidungsmodelle, die für die Modellierung des Fahrzeugkaufs in Frage kommen würden, sind das genistete multinomiale Logit-Modell (NL) sowie das gemischte multinomiale Logit-Modell (MMNL). Beide Modellansätze unterscheiden sich vom MNL im Wesentlichen durch ihre Abbildung der nicht beobachteten Heterogenität, d. h. in der Spezifikation der stochastischen Fehlerterme.

Für die Zielsetzung im Rahmen des gegenwärtigen Projektes ist insbesondere das *gemischte multinomiale Logit-Modell* von Interesse. Dieser Ansatz versucht die Schwächen des MNL bei der Abbildung der nicht beobachteten Heterogenität auszugleichen, ohne allerdings die Vorteile in Bezug auf die Berechnungskomplexität zu verlieren. Um dies zu erreichen wird der stochastische Fehlerterm in mehrere Komponenten aufgeteilt, wobei die zusätzlichen Komponenten anderen Verteilungen (als der Extremwertverteilung) folgen können. Dieser Modellansatz ermöglicht es also, jegliche Annahmen über die nicht beobachtete Heterogenität zu berücksichtigen und die entsprechenden Spezifikationen statistischen Tests zu unterwerfen. Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass die Auswahlwahrscheinlichkeiten in (3) nicht mehr in geschlossener Form verfügbar sind und somit durch Simulationsmethoden approximiert werden müssen (eine detaillierte Beschreibung des MMNL kann in TRAIN (2009) nachgeschlagen werden).

Um nun die Effekte der alternativ-spezifischen sowie individuum-spezifischen Variablen auf die Fahrzeugkaufentscheidung zu bestimmen, wird eines der vorgestellten Modelle gewählt und eine funktionale Form für den systematischen Teil $V_{nj} = V(x_{nj}, z_n)$ angenommen. Der entsprechenden Parametervektor θ enthält alle in der funktionalen Form definierten Parameter und kann nun auf Basis der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt werden.

Um diese Methode anzuwenden muss zunächst die Likelihood-Funktion definiert werden. Diese ist charakterisiert durch die Wahrscheinlichkeit, dass jede Person im Sample genau jene Alternative wählt, die tatsächlich gewählt wurde. Sie kann also wie folgt dargestellt werden:

$$L(\boldsymbol{\theta}) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^J (P_{ni})^{d_{ni}} \quad (4)$$

Da die Indikatorvariable d_{ni} nur bei der gewählten Alternative gleich 1 ist (und ansonsten gleich 0) reduziert sich das Produkt über die Alternativen $i = 1, \dots, J$ zu der Auswahlwahrscheinlichkeit der tatsächlich gewählten Alternative. Das Logarithmieren der Funktion in (4) führt zur Log-Likelihood-Funktion, welche schließlich die Zielfunktion des Maximierungsverfahrens ist. Die Parameterschätzungen sind somit durch jene Parameterwerte gegeben, welche den Wert der Log-Likelihood-Funktion maximieren. Die für dieses Projekt verwendeten Modellspezifikationen werden nun im folgenden Kapitel 3.4 vorgestellt und im Detail diskutiert.

3.4 Modellspezifikation und Resultate

Nachdem sowohl das experimentelle Design als auch der Modellierungsansatz im Detail dargestellt wurden, werden nun in diesem Kapitel die Modellspezifikationen und Resultate, welche auf Basis des in Kapitel 2.1 vorgestellten Querschnitts-Datensatzes (*cross-section*) erzielt werden konnten, beschrieben.⁵ Insgesamt werden vier Modelle dargestellt, welche sich sowohl in den verwendeten Variablen als auch in ihrer funktionalen Form sowie bezüglich der Modellierung der unbeobachteten Heterogenität unterscheiden.

Beim ersten Modell handelt es sich um ein einfaches multinomiales Logit-Modell, in dem ausschließlich alternativ-spezifische Variablen verwendet wurden. Außerdem ist die funktionale Form so gewählt, dass nur generische Parameter geschätzt werden. Dies bedeutet, dass der Effekt eines bestimmten Attributes auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten über alle Alternativen gleich sein muss. Der in Kapitel 3.3 erläuterte systematische Nutzenwert kann für die sechs Alternativen (CV, CNG, E85, HEV, PHEV, EV) also jeweils wie folgt dargestellt werden.

$$V_{CV} = ASK_{CV} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{CV} + \beta_{Leistung} * Leistung_{CV} + \beta_{Treibstoff} * Treibstoff_{CV} + \beta_{Wartung} * Wartung_{CV}$$

$$V_{E85} = ASK_{E85} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{E85} + \beta_{Leistung} * Leistung_{E85} + \beta_{Treibstoff} * Treibstoff_{E85} + \beta_{Wartung} * Wartung_{E85} + \beta_{Tankstellen} * Tankstellen_{E85}$$

$$V_{CNG} = ASK_{CNG} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{CNG} + \beta_{Leistung} * Leistung_{CNG} + \beta_{Treibstoff} * Treibstoff_{CNG} + \beta_{Wartung} * Wartung_{CNG} + \beta_{Reichweite} * Reichweite_{CNG} + \beta_{Tankstellen} * Tankstellen_{CNG}$$

⁵ Grundsätzlich könnte auch die durch die wiederholten Befragungen vorhandene Panelkomponente genauer untersucht werden, davon ist allerdings im Rahmen dieser Studie abgesehen worden, da dies bei den Simulationen nicht berücksichtigt hätte werden können.

$$\begin{aligned}
 V_{HEV} &= ASK_{HEV} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{HEV} + \beta_{Leistung} * Leistung_{HEV} \\
 &\quad + \beta_{Treibstoff} * Treibstoff_{HEV} + \beta_{Wartung} * Wartung_{HEV} \\
 V_{PHEV} &= ASK_{PHEV} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{PHEV} + \beta_{Leistung} * Leistung_{PHEV} \\
 &\quad + \beta_{Treibstoff} * Treibstoff_{PHEV} + \beta_{Wartung} * Wartung_{PHEV} \\
 V_{EV} &= ASK_{EV} + \beta_{Kaufpreis} * Kaufpreis_{EV} + \beta_{Leistung} * Leistung_{EV} + \beta_{Treibstoff} \\
 &\quad * Treibstoff_{EV} + \beta_{Wartung} * Wartung_{EV} + \beta_{Reichweite} \\
 &\quad * Reichweite_{CNG} + \beta_{Tankstellen.EV.GERING} * Tankstellen_{EV.GERING} \\
 &\quad + \beta_{Tankstellen.EV.MITTEL} * Tankstellen_{EV.MITTEL} \\
 &\quad + \beta_{Tankstellen.EV.HOCH} * Tankstellen_{EV.HOCH} + \beta_{ZL.Carsharing} \\
 &\quad * ZL.Carsharing + \beta_{ZL.Parkplatz} * ZL.Parkplatz + \beta_{ZL.ParkRide} \\
 &\quad * ZL.ParkRide
 \end{aligned}$$

Diese Darstellung entspricht einer linear funktionalen Form, wobei anzumerken ist, dass bei Indikatorvariablen (*dummy variables*) jeweils eine konstant gehalten werden muss. Dies betrifft hier die alternativ-spezifischen Konstanten (ASK), die Tankstellenverfügbarkeit des Elektrofahrzeugs sowie die Zusatzleistungen. Die Schätzergebnisse (und somit der Parametervektor θ) sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Schätzergebnisse des ersten Modells.

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
<i>Referenz</i>				
ASK_CV				
ASK_E85	-2,68	0,35	-7,63	0,00
ASK_CNG	-4,31	0,40	-10,73	0,00
ASK_HEV	-0,52	0,04	-13,16	0,00
ASK_PHEV	-0,87	0,04	-20,63	0,00
ASK_EV	-3,00	0,22	-13,94	0,00
Kaufpreis	-0,93	0,08	-12,16	0,00
Leistung	2,63	0,24	10,88	0,00
Treibstoffkosten	-0,77	0,04	-17,20	0,00
Wartungskosten	-0,80	0,10	-7,81	0,00
Reichweite	0,27	0,04	6,75	0,00
<i>Referenz</i>				
Tankstellenverfügbarkeit_EV_GERING				
Tankstellenverfügbarkeit_EV_MITTEL	0,36	0,15	2,35	0,02
Tankstellenverfügbarkeit_EV_HOCH	0,63	0,14	4,54	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_E85_CNG	1,36	0,38	3,55	0,00
<i>Referenz</i>				
ZL_NEINE				
ZL_Carsharing	-0,01	0,16	-0,07	0,95
ZL_Parkplatz	0,15	0,15	0,99	0,32
ZL_Park & Ride	0,36	0,19	1,87	0,06

Beachte: Es sind nur robuste Standardfehler, t-Tests und p-Werte angegeben.

Interpretation der Ergebnisse – Modell 1	Zur Interpretation der Ergebnisse muss zunächst angemerkt werden, dass die Variablen speziell für die Schätzung nochmal skaliert wurden, um die Konvergenz des Maximierungsprozesses zu erleichtern. Demnach sind die Fahrzeugpreise (in Euro) durch 10.000, die Treibstoff- und Wartungskosten (pro Jahr) durch 1.000 sowie die Reichweite (in km), die Tankstellenverfügbarkeit bei E85
---	---

und CNG (in Prozent) und die Leistung (in PS) jeweils durch 100 dividiert worden. Im Allgemeinen ist es bei diskreten Entscheidungsmodellen allerdings ohnehin so, dass quantitative Interpretationen der Parameterschätzungen am besten durch Simulationen vorgenommen werden (siehe Kapitel 4).

Die qualitative Interpretation der geschätzten Modellparameter zeigt, dass die wichtigsten Parameterschätzungen alle hochsignifikant sind und die zu erwartenden Vorzeichen aufweisen. So haben Kaufpreis (-0,93) und variable Kosten (Treibstoff -0,77 und Wartung -0,80) jeweils negative Effekte auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten, wobei Leistung (2,63), Reichweite (0,27) und Tankstellenverfügbarkeit positive Effekte haben. Bezüglich der Tankstellenverfügbarkeit bei den Elektrofahrzeugen kann festgestellt werden, dass eine Erhöhung der Ladestellendichte von ‚gering‘ auf ‚mittel‘ einen geringfügig höheren quantitativen Effekt haben würde als eine Erhöhung von ‚mittel‘ auf ‚hoch‘. Des Weiteren zeigt sich, dass die angebotenen Zusatzeleistungen wenig bis gar nicht signifikant sind und somit generell keine dementsprechenden Effekte auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten zu erwarten wären. Einzig das Park & Ride-Angebot scheint einen gewissen Effekt zu haben. Aus den alternativ-spezifischen Konstanten (ASK) lässt sich wiederum schließen, dass – nach Berücksichtigung der verwendeten Variablen – die alternativen Fahrzeuge allesamt geringere Auswahlwahrscheinlichkeiten aufweisen als das konventionelle Fahrzeug (die Referenzalternative). Am stärksten ist dieser Effekt für CNG, E85 und Elektrofahrzeug.

Das zweite Modell ist ebenfalls ein multinomiales Logit-Modell mit ausschließlich alternativ-spezifischen Variablen, allerdings wurde die funktionale Form durch die Verwendung alternativ-spezifischer Parameter leicht angepasst. Im Unterschied zu dem Modell mit generischen Parametern kann der Effekt eines bestimmten Attributs nun von Alternative zu Alternative variieren. Dies spiegelt sich in den oben dargestellten Nutzenfunktionen, indem nun für jedes der Fahrzeuge eigene Parameter geschätzt werden.

Tabelle 16: Schätzergebnisse des zweiten Modells.

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
ASK_CV	Referenz			
ASK_E85	-1,98	0,47	-4,24	0,00
ASK_CNG	-0,44	1,05	-0,41	0,68
ASK_HEV	0,89	0,19	4,70	0,00
ASK_PHEV	-0,09	0,20	-0,45	0,65
ASK_EV	-0,13	0,39	-0,33	0,74
Kaufpreis_CV	-1,18	0,13	-9,17	0,00
Kaufpreis_E85	-1,07	0,11	-9,96	0,00
Kaufpreis_CNG	-1,09	0,13	-8,55	0,00
Kaufpreis_HEV	-1,05	0,10	-10,74	0,00
Kaufpreis_PHEV	-1,02	0,10	-10,09	0,00
Kaufpreis_EV	-1,14	0,13	-8,94	0,00
Leistung_CV	4,18	0,49	8,50	0,00
Leistung_E85	2,88	0,33	8,77	0,00
Leistung_CNG	1,90	0,36	5,31	0,00
Leistung_HEV	2,49	0,29	8,69	0,00

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
Leistung_PHEV	2,85	0,29	9,90	0,00
Leistung_EV	1,40	0,46	3,05	0,00
Treibstoffkosten_CV	-0,74	0,08	-9,45	0,00
Treibstoffkosten_E85	-0,89	0,12	-7,40	0,00
Treibstoffkosten_CNG	-0,72	0,17	-4,12	0,00
Treibstoffkosten_HEV	-0,97	0,10	-10,07	0,00
Treibstoffkosten_PHEV	-0,83	0,09	-9,05	0,00
Treibstoffkosten_EV	-1,22	0,37	-3,33	0,00
Wartungskosten_CV	-1,00	0,15	-6,85	0,00
Wartungskosten_E85	-0,87	0,19	-4,46	0,00
Wartungskosten_CNG	-1,03	0,25	-4,16	0,00
Wartungskosten_HEV	-0,77	0,15	-4,99	0,00
Wartungskosten_PHEV	-0,68	0,14	-4,70	0,00
Wartungskosten_EV	-1,05	0,34	-3,10	0,00
Reichweite_CNG	0,17	0,08	2,18	0,03
Reichweite_EV	0,24	0,05	4,83	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_EV_GERING			Referenz	
Tankstellenverfügbarkeit_EV_MITTEL	0,32	0,16	2,07	0,04
Tankstellenverfügbarkeit_EV_HOCH	0,62	0,14	4,44	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_E85	1,70	0,46	3,71	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_CNG	-0,38	0,93	-0,40	0,69
ZL_KEINE			Referenz	
ZL_Carsharing	-0,04	0,16	-0,27	0,79
ZL_Parkplatz	0,19	0,16	1,20	0,23
ZL_Park+Ride	0,33	0,19	1,70	0,09

**Interpretation
der Ergebnisse –
Modell 2**

Diese Spezifikation des Modells führt zunächst dazu, dass die Anzahl der geschätzten Parameter (von 16) auf 38 ansteigt und sich der endgültige Log-Likelihood-Wert etwas erhöht (auf -8.760,386). Um sicherzugehen, dass dieser Anstieg eine statistisch signifikante Verbesserung gegenüber dem ersten Modell darstellt, wird ein Likelihood-Ratio-Test durchgeführt, welcher dies auch tatsächlich bestätigt.

Bei Betrachtung der geschätzten Parameterwerte kann festgestellt werden, dass der Kaufpreis auf alle Alternativen einen signifikant negativen Effekt ausübt, die Größenordnung des Effektes ist allerdings nicht allzu verschieden (ca. -1,1). Ähnliches gilt auch für die Wartungskosten, wobei hier etwas größere Abweichungen bestehen. In Bezug auf den Effekt von Leistung kann dies nicht festgestellt werden. So hat z. B. die Leistung des Fahrzeugs einen wesentlich stärkeren Effekt auf den Kauf von konventionellen Fahrzeugen (4,18), als auf den Kauf von alternativ-betriebenen Fahrzeugen (zwischen 1,40 und 2,85). Treibstoffkosten hingegen scheinen einen recht ähnlichen Effekt auf CV, E85, CNG, HEV und PHEV zu haben, wohingegen potenzielle KäuferInnen wesentlich stärkere negative Reaktionen zeigen, wenn es sich um Elektrofahrzeuge handelt. Die Effekte von Tankstellenverfügbarkeit und Reichweite bleiben in der

gleichen Größenordnung, wobei die Reichweite für den Kauf von Elektrofahrzeugen wesentlich relevanter ist und der Effekt der Tankstellenverfügbarkeit auf die Auswahlwahrscheinlichkeit CNG nicht statistisch signifikant ist.

Im dritten vorgestellten Modell werden – zusätzlich zu den alternativ-spezifischen Parametern – auch sozio-ökonomische Variablen eingeführt. Einige stark insignifikante Variablen wurden hingegen herausgenommen, insgesamt kommt das Modell jetzt auf 69 geschätzte Parameter und einen endgültigen Log-Likelihood-Wert von $-8.458,638$ (was wiederum einer signifikanten Verbesserung gegenüber dem zweiten Modell entspricht). Aufgrund der großen Anzahl an Variablen wird nun davon abgesehen, die Nutzenfunktionen speziell abzubilden, die entsprechende Information kann allerdings zur Gänze der Schätztafel entnommen werden. Es gilt hier also zu beachten, dass für jene Variablengruppen, für die eine Referenz angegeben ist, die geschätzten Parameter immer in Relation zur Referenzvariable interpretiert werden sollen.

Tabelle 17: Schätzergebnisse des dritten Modells.

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
ASK_CV		<i>Referenz</i>		
ASK_E85	-1,25	0,49	-2,53	0,01
ASK_CNG	-1,35	0,63	-2,16	0,03
ASK_HEV	0,93	0,30	3,14	0,00
ASK_PHEV	0,09	0,31	0,27	0,78
ASK_EV	0,13	0,44	0,30	0,77
Kaufpreis_CV	-1,04	0,13	-7,87	0,00
Kaufpreis_E85	-1,10	0,11	-10,16	0,00
Kaufpreis_CNG	-1,10	0,13	-8,63	0,00
Kaufpreis_HEV	-1,09	0,10	-10,99	0,00
Kaufpreis_PHEV	-1,06	0,10	-10,21	0,00
Kaufpreis_EV	-1,15	0,13	-8,98	0,00
Leistung_CV	3,59	0,51	7,11	0,00
Leistung_E85	2,82	0,33	8,51	0,00
Leistung_CNG	1,95	0,36	5,44	0,00
Leistung_HEV	2,42	0,29	8,44	0,00
Leistung_PHEV	2,90	0,29	10,00	0,00
Leistung_EV	1,38	0,46	2,98	0,00
Treibstoffkosten_CV	-0,77	0,08	-9,47	0,00
Treibstoffkosten_E85	-0,88	0,12	-7,35	0,00
Treibstoffkosten_CNG	-0,72	0,17	-4,23	0,00
Treibstoffkosten_HEV	-0,98	0,10	-10,10	0,00
Treibstoffkosten_PHEV	-0,86	0,09	-9,33	0,00
Treibstoffkosten_EV	-1,28	0,35	-3,62	0,00
Wartungskosten_CV	-0,92	0,15	-6,11	0,00
Wartungskosten_E85	-0,99	0,19	-5,08	0,00
Wartungskosten_CNG	-1,16	0,24	-4,77	0,00
Wartungskosten_HEV	-0,87	0,16	-5,55	0,00

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
Wartungskosten_PHEV	-0,76	0,15	-5,22	0,00
Wartungskosten_EV	-1,12	0,33	-3,42	0,00
Reichweite_CNG	0,30	0,06	4,92	0,00
Reichweite_EV	0,25	0,05	5,03	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_EV_GERING			Referenz	
Tankstellenverfügbarkeit_EV_MITTEL	0,35	0,15	2,27	0,02
Tankstellenverfügbarkeit_EV_HOCH	0,66	0,13	5,15	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_CNG_E85	1,43	0,43	3,36	0,00
ZL_KEINE			Referenz	
ZL_Parkplatz	0,22	0,14	1,58	0,11
ZL_Park+Ride	0,35	0,17	2,03	0,04
Alter.CV			Referenz	
Alter.E85	-0,03	0,00	-7,92	0,00
Alter.CNG	-0,04	0,00	-9,09	0,00
Alter.HEV	-0,02	0,00	-6,30	0,00
Alter.PHEV	-0,02	0,00	-8,33	0,00
Alter.EV	-0,03	0,00	-6,82	0,00
Geschlecht.M.CV			Referenz	
Geschlecht.M.ALT	0,27	0,06	4,46	0,00
Ausbildung.Pflicht			Referenz	
Ausbildung.AHS	0,48	0,20	2,33	0,02
Ausbildung.BHS	0,62	0,20	3,04	0,00
Ausbildung.BMS	0,22	0,22	1,00	0,32
Ausbildung.FH	0,61	0,22	2,73	0,01
Ausbildung.KO	0,27	0,22	1,23	0,22
Ausbildung.LE	0,37	0,21	1,81	0,07
Ausbildung.UNI	0,73	0,20	3,64	0,00
Einkommen.CV			Referenz	
Einkommen.E85	0,14	0,04	3,83	0,00
Einkommen.CNG	0,11	0,05	2,22	0,03
Einkommen.HEV	0,16	0,03	5,44	0,00
Einkommen.PHEV	0,17	0,03	5,41	0,00
Einkommen.EV	0,17	0,05	3,65	0,00
Anzahl.Nutzer.CV			Referenz	
Anzahl.Nutzer.ALT	-0,17	0,03	-4,95	0,00
Tägliche.Nutzung.CV			Referenz	
Tägliche.Nutzung.ALT	0,15	0,07	2,27	0,02
Kinder.CV			Referenz	
Kinder.ALT	0,11	0,04	2,83	0,00
Region.Großstadt.CV			Referenz	
Region.Dorf.am.Land.ALT	0,34	0,15	2,26	0,02
Region.Dorf.Stadtrand.ALT	-0,07	0,09	-0,79	0,43

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
Region_Großstadtrand_ALT	-0,13	0,07	-1,80	0,07
Region_Industrielle_Kleinstadt_ALT	-0,23	0,22	-1,07	0,28
Region_ländliche_Kleinstadt_ALT	0,07	0,13	0,52	0,60
Region_mittlere_Stadt_Rand_ALT	0,29	0,15	1,90	0,06
Region_mittlere_Stadt_ALT	-0,44	0,16	-2,71	0,01
Umweltbewusstsein_CV	<i>Referenz</i>			
Umweltbewusstsein_E85	0,02	0,00	4,63	0,00
Umweltbewusstsein_CNG	0,04	0,01	5,86	0,00
Umweltbewusstsein_HEV	0,03	0,00	8,87	0,00
Umweltbewusstsein_PHEV	0,06	0,00	12,34	0,00
Umweltbewusstsein_EV	0,07	0,01	9,13	0,00

Die Interpretation der sozio-ökonomischen Variablen lässt die folgenden Schlüsse zu. Ein weiteres Lebensjahr hat einen durchwegs negativen Effekt auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten der alternativ betriebenen Fahrzeuge (-0,02 bis -0,04). Männlichen Geschlechts zu sein, Kinder zu haben oder das Fahrzeug täglich zu nutzen hat jeweils einen positiven Effekt auf die Wahrscheinlichkeit ein alternativ-betriebenes Fahrzeug (ALT) zu kaufen, wenngleich bei diesem Effekt nicht zwischen den Alternativen E85, CNG, HEV, PHEV und EV unterschieden wird. Im Gegensatz dazu sind Haushalte mit einer geringeren Anzahl an Fahrzeugnutzerinnen und -nutzern eher geneigt, sich für ein konventionell betriebenes Fahrzeug zu entscheiden. Sowohl Einkommen als auch Ausbildung haben, wie erwartet, positive Effekte auf die Wahrscheinlichkeit, alternativ betriebene Fahrzeuge zu kaufen. Auch der (in Kapitel 2.2 beschriebene) Umweltbewusstseinsindex hat zwar geringere aber stark signifikant positive Effekte in Richtung der alternativ betriebenen Fahrzeuge. Die regionalen Variablen sind zwar nicht alle signifikant, wurden aber dennoch alle im Modell belassen, da sie ein gewisses Muster erkennen lassen. So sind es insbesondere die am Rande einer Stadt befindlichen Haushalte, die sich gegen alternativ betriebene Fahrzeuge entscheiden, Haushalte am Land und in der Großstadt hingegen entscheiden sich eher dafür (Tabelle 17).

Interpretation der Ergebnisse – Modell 3

Beim vierten Modell handelt es sich um ein gemischtes multinomiales Logit-Modell. Dabei werden ebenfalls alternativ-spezifische und individuum-spezifische Variablen in Betracht gezogen, allerdings wird nun die Zahl der geschätzten Parameter zugunsten einer genaueren Modellierung der unbeobachteten Heterogenität reduziert. Insgesamt werden 58 Parameter geschätzt und es wird ein Log-Likelihood-Wert von -8.451,258 erreicht. Dies stellt allerdings nach einem erneuten Log-Likelihood-Test keine statistisch signifikante Verbesserung gegenüber Modell 3 mehr dar. Auf Basis des angepassten ρ^2 (*adjusted rho squared*) kann allerdings eine leichte Verbesserung festgestellt werden⁶ (von 0,259 auf 0,261) (siehe Tabelle 18).

⁶ Die Maßzahl ρ^2 stellt die relative Verbesserung im Log-Likelihood-Wert gegenüber einem Modell mit ausschließlich alternativ-spezifischen Konstanten dar, wobei das angepasste ρ^2 auch die Anzahl der im Modell enthaltenen Variablen in Betracht zieht. Dieser Wert hat demnach nicht dieselbe Interpretation wie R^2 im linearen Regressionsmodell.

Tabelle 18: Vergleich der vier Modelle.

	Schätzung 1 generisch	Schätzung 2 alt.-spezifisch	Schätzung 3 alt.-spezifisch & sozio-ökon.	Schätzung 4 gemischtes MNL
Model	MNL	MNL	MNL	MIXED MNL
geschätzte Parameter	16	38	69	58
Beobachtungen	6.426	6.426	6.426	6.426
Individuen	6.426	6.426	6.426	6.426
Zufallsziehungen				2.000
init log-likelihood	-11.513,85	-11.513,846	-11.513,846	-11.513,846
cte log-likelihood	-10.109,57	-10.109,573	-10.109,573	-10.109,573
final log-likelihood	-8.875,40	-8.760,386	-8.458,638	-8.451,258
likelihood ratio test	5.276,90	5.506,921	6.110,416	6.125,178
rho-square	0,229	0,239	0,265	0,266
adjusted rho-square	0,228	0,236	0,259	0,261
final gradient norm	9,39 E ⁻⁰³	1,21 E ⁻⁰¹	4,72 E ⁻⁰²	1,80 E ⁻⁰²
Iterationen	7	7	26	29
Laufzeit	00h:03	00h:10	00h:51	01h 46:36

In dieser Spezifikation des gemischten multinomialen Logit-Modells werden einige der im Modell enthaltenen Parameter als zufallsverteilt angenommen (*random parameters*). Dies bedeutet, dass nicht mehr ein einzelner Wert für den entsprechenden Parameter geschätzt wird, sondern dass dieser stattdessen einer bestimmten Zufallsverteilung folgt, sodass nun die Eigenschaften der zugrundeliegenden Verteilung geschätzt werden müssen. Dementsprechend wurden in Modell 4 insgesamt drei normalverteilte Parameter inkludiert, deren Mittelwerte und Standardabweichungen nun in der Schätztabelle aufscheinen.

Tabelle 19: Schätzergebnisse des vierten Modells.

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
ASK_CV	Referenz			
ASK_E85	-1,00	0,52	-1,94	0,05
ASK_CNG	-0,95	0,65	-1,45	0,15
ASK_HEV	1,10	0,31	3,56	0,00
ASK_PHEV	0,39	0,32	1,22	0,22
ASK_EV	0,24	0,45	0,52	0,60
Kaufpreis	-1,20	0,10	-12,35	0,00
Leistung_CV	3,77	0,36	10,58	0,00
Leistung_E85	2,63	0,33	8,05	0,00
Leistung_CNG	1,65	0,36	4,65	0,00
Leistung_HEV	2,38	0,30	7,92	0,00
Leistung_PHEV	3,00	0,30	9,96	0,00
Leistung_EV	0,84	0,45	1,86	0,06
Treibstoffkosten_CV_MITTELWERT	-1,17	0,12	-9,42	0,00

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
Treibstoffkosten_CV_STD.ABW	0,47	0,24	-1,96	0,05
Treibstoffkosten_ALT_MITTELWERT	-1,40	0,13	-10,57	0,00
Treibstoffkosten_ALT_STD.ABW	1,18	0,18	-6,73	0,00
Wartungskosten_MITTELWERT	-1,09	0,14	-7,67	0,00
Wartungskosten_STD.ABW	2,24	0,74	3,02	0,00
Reichweite_CNG	0,28	0,06	4,42	0,00
Reichweite_EV	0,25	0,05	4,89	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_EV_GERING			Referenz	
Tankstellenverfügbarkeit_EV_MITTEL	0,38	0,15	2,50	0,01
Tankstellenverfügbarkeit_EV_HOCH	0,69	0,13	5,17	0,00
Tankstellenverfügbarkeit_CNG_E85	1,50	0,45	3,32	0,00
ZL_KEINE			Referenz	
ZL_Parkplatz	0,24	0,14	1,79	0,07
ZL_Park+Ride	0,37	0,17	2,14	0,03
Alter_CV			Referenz	
Alter_E85	-0,03	0,00	-8,02	0,00
Alter_CNG	-0,05	0,00	-9,29	0,00
Alter_HEV	-0,02	0,00	-6,30	0,00
Alter_PHEV	-0,03	0,00	-8,51	0,00
Alter_EV	-0,03	0,00	-6,88	0,00
Geschlecht_M_CV			Referenz	
Geschlecht_M_ALT	0,31	0,07	4,30	0,00
Ausbildung_Pflicht			Referenz	
Ausbildung_AHS	0,60	0,24	2,48	0,01
Ausbildung_BHS	0,77	0,24	3,16	0,00
Ausbildung_BMS	0,29	0,26	1,08	0,28
Ausbildung_FH	0,75	0,27	2,83	0,00
Ausbildung_KO	0,38	0,26	1,42	0,16
Ausbildung_LE	0,47	0,25	1,89	0,06
Ausbildung_UNI	0,94	0,24	3,89	0,00
Einkommen_CV			Referenz	
Einkommen_E85	0,15	0,04	3,74	0,00
Einkommen_CNG	0,13	0,05	2,40	0,02
Einkommen_HEV	0,18	0,03	5,21	0,00
Einkommen_PHEV	0,20	0,04	5,48	0,00
Einkommen_EV	0,17	0,05	3,42	0,00
Anzahl_Nutzer_CV			Referenz	
Anzahl_Nutzer_ALT	-0,20	0,04	-4,61	0,00
Tägliche_Nutzung_CV			Referenz	
Tägliche_Nutzung_ALT	0,21	0,08	2,64	0,01

Parameter	Schätzung	Std. Fehler	t-Test	p-Wert
Kinder_CV	<i>Referenz</i>			
Kinder_ALT	0,11	0,05	2,23	0,03
Region_Großstadt_CV	<i>Referenz</i>			
Region_Dorf_am_Land_ALT	0,56	0,20	2,82	0,00
Region_Dorf_Stadtrand_ALT	-0,09	0,12	-0,74	0,46
Region_Großstadtrand_ALT	-0,16	0,09	-1,91	0,06
Region_Industrielle_Kleinstadt_ALT	-0,30	0,27	-1,13	0,26
Region_ländliche_Kleinstadt_ALT	0,05	0,16	0,31	0,76
Region_mittlere_Stadt_Rand_ALT	0,43	0,19	2,26	0,02
Region_mittlere_Stadt_ALT	-0,53	0,20	-2,64	0,01
Umweltbewusstsein_CV	<i>Referenz</i>			
Umweltbewusstsein_E85	0,03	0,01	5,36	0,00
Umweltbewusstsein_CNG	0,05	0,01	6,58	0,00
Umweltbewusstsein_HEV	0,04	0,00	9,16	0,00
Umweltbewusstsein_PHEV	0,07	0,01	12,19	0,00
Umweltbewusstsein_EV	0,07	0,01	9,56	0,00

Interpretation der Ergebnisse – Modell 4

Die normalverteilten Parameter umfassen Wartungskosten sowie Treibstoffkosten für konventionell und alternativ betriebene Fahrzeuge.⁷ Die geschätzten Mittelwerte und Standardabweichungen sind durchgehend signifikant, wodurch sich die folgenden Interpretationen ergeben. Der Mittelwert der Verteilung der Wartungskosten-Parameter liegt nun leicht über den meisten in Modell 3 geschätzten Wartungskosten-Parametern (bei -1,09), wohingegen die entsprechende Standardabweichung relativ groß ist (2,24). Dies deutet darauf hin, dass der Effekt der Wartungskosten auf die Auswahlwahrscheinlichkeit im Mittel zwar den Werten aus Modell 3 gleicht, es aber durchaus einige Individuen gibt, für die die Wartungskosten wesentlich größere bzw. kleinere Effekte haben – insgesamt deutet dies also auf eine recht große nicht beobachtete Heterogenität der Präferenzen hin. In Bezug auf die Treibstoffkosten ist es interessant festzustellen, dass der Effekt auf die Kaufwahrscheinlichkeit konventioneller Fahrzeuge zwar etwas größer ist als in Modell 3 (-1,17), andererseits aber nur geringe Heterogenität in den Präferenzen zu bestehen scheint (Standardabweichung 0,47). Bezuglich der alternativ betriebenen Fahrzeuge lässt sich feststellen, dass der Mittelwert des Treibstoffkosten-Parameters weit über den Werten in Modell 3 liegt und zusätzlich auch eine recht große Heterogenität zu bestehen scheint (Standardabweichung 1,18).

Die verbesserte Abbildung der nicht beobachteten Heterogenität hat auch zur Folge, dass einige der anderen Parameterwerte sich von jenen aus Modell 3 unterscheiden. So ist insbesondere der geschätzte Parameter für den Effekt der Leistung auf die Auswahlwahrscheinlichkeit des Elektrofahrzeugs in Modell 4 wesentlich niedriger als davor (obwohl die Signifikanz weiterhin erhalten bleibt). Auch der, in Modell 4 als generisch definierte, Effekt des Kaufpreises auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten ist um Einiges höher als in Modell drei.

⁷ Generell wurde auch anderen Parametern eine Zufallsverteilung unterstellt, nur führte dies zu großem Rechenaufwand ohne jedoch wesentliche Verbesserungen in den Ergebnissen mit sich zu bringen.

Um eine direkte quantitative Interpretation der hier diskutierten Effekte zu erlangen wird im nächsten Kapitel eine Reihe an Simulationen dargestellt, welche sich auf Modell drei beziehen werden. Eine weitere Möglichkeit, die Schätzergebnisse direkt zu interpretieren, ergibt sich aus der Berechnung der *Zahlungsbereitschaft* (*willingness-to-pay*). Diese wird in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Berechnete Zahlungsbereitschaft.

	Zahlungsbereitschaft (in €)			
	M1	M2	M3	M4
TS_EV_MITTEL ¹⁾	-3.852	-2.816	-3.017	-3.158
TS_EV_HOCH ¹⁾	-6.792	-5.412	-5.730	-5.708
REICHWEITE_EV ²⁾	-20,5	-15,3	-15,8	-15,1

¹⁾ Ausbau der Ladestationen auf die entsprechende Dichte

²⁾ Anstieg der Reichweite um 1 km

Dieser Kalkulation zufolge wäre ein Haushalt im vorliegenden Sample bereit, ca. 3.000 € für einen Ausbau des Netzwerks an Ladestationen für Elektrofahrzeuge von „geringer“ auf „mittlere“ Dichte zu bezahlen. Dies würde einen beträchtlichen Ausbau der derzeitigen Dichte bedeuten, da eine mittlere Ladestationendichte – wie im Fragebogen angegeben – „Auflademöglichkeiten an Schlüsselstellen (Arbeitsplatz, P+R-Anlagen, Einkaufszentren, Parkgaragen) und wie bisher bei privaten Garagen und Abstellplätzen“ bedeuten würde. Die hohe Ladestationendichte ist charakterisiert durch „Auflademöglichkeiten an flächen-deckend verfügbaren öffentlichen Ladestationen, an Schlüsselstellen (Arbeitsplatz, P+R-Anlagen, Einkaufszentren, Parkgaragen) und wie bisher bei privaten Garagen und Abstellplätzen“. Für einen Ausbau des Netzwerkes auf „hohe“ Dichte wäre ein Haushalt demnach bereit, bis zu 5.700 € zu bezahlen. Im Vergleich mit ACHTNICHT (2008) liegen diese Werte jedenfalls genau im Mittelfeld. Für die Zahlungsbereitschaft eines Haushaltes für einen zusätzlichen Kilometer Reichweite bei Elektrofahrzeugen gibt es zwar keinen direkten Vergleich, diese Werte liegen allerdings, basierend auf den Modellen 2 bis 4, bei ungefähr 15 € pro Kilometer.

3.5 Energie- und Emissionsberechnungen

Ziel des Projektes war es, einerseits den Marktanteil für alternativ betriebene Fahrzeuge in unterschiedlichen Reformszenarien zu berechnen, andererseits aber auch die Umwelteffekte dieser Reformmaßnahmen zu beurteilen. Dabei wurden zwei Betrachtungsebenen gewählt: Zum einen wurden die direkten Effekte (Emissionen und Energieverbräuche) – also jene, die durch den Gebrauch der Fahrzeuge entstehen – berechnet, zum anderen die gesamten Emissionen (von der Produktion bis zur Betriebsphase).

Die direkten Effekte können direkt durch den/die Verursacher/in gesteuert werden. Zum einen durch die gewählte Antriebsform des Fahrzeugs und zum anderen durch das Fahrverhalten (die Anzahl der gefahrenen Kilometer).

Sollen nun die nationalen Emissionen oder der nationale Energieverbrauch anhand von marktbasierter Instrumenten gesenkt werden, so müssen bestimmte

Zielvorgaben zur Emissionsreduktion (wie im Rahmen des Kyoto-Protokolls) erfüllt werden. Zu beachten hierbei ist aber, dass im Rahmen des Emissionshandelssystems nur die nationalen, direkten Emissionen in diese Regelung fallen. Aufgrund dieser Betrachtungsebene kann es zu Emissionsverlagerungen in andere Länder kommen, beispielsweise in Länder die das Kyoto-Protokoll nicht ratifiziert haben. Insgesamt kommt es dadurch nur national zu Emissionsminderungen aber nicht global.

Berücksichtigung der Gesamtemissionen für nachhaltige Gestaltung des Verkehrs

Bei der Gestaltung von effektiven Emissions- und Energieminderungsmaßnahmen soll die Möglichkeit der Verlagerung der Emissionen möglichst vermieden werden. Daher werden in dieser Studie alle Maßnahmen auch hinsichtlich des gesamten Emissions- und Energieverbrauchs entlang des Lebensweges der Fahrzeuge betrachtet. Die Bewertung der Gesamtemissionen erfolgt auf Basis von Lebenszyklusberechnungen für die untersuchten Fahrzeuge auf Flottenebene. Die Lebenszyklusberechnungen wurden in dem Projekt „Zukunft Auto“ (UMWELTBUNDESAMT 2012) durchgeführt. Somit wird gewährleistet, dass die untersuchten Maßnahmen möglichst umfassend bewertet werden und der Pkw-Verkehr nachhaltiger gestaltet werden kann.

Energie- und Emissionsberechnungen

Um regionale Unterschiede der Reformen sichtbar zu machen, werden die Effekte nach Regionen ausgewertet. Dazu sind mehrere Arbeitsschritte notwendig. Prinzipiell werden die geschätzten Samplemarktanteile aus dem Entscheidungsexperiment dazu verwendet, die Neuzulassungen des Fahrzeugbestandes zu substituieren. Um auf annähernd repräsentative Werte für Österreich, Niederösterreich, Wien und Burgenland zu kommen, wird das Sample gewichtet. Diese Gewichtung erfolgt durch eine Auswertung der Samplemarktanteile nach Region und Segment in Verbindung mit den regionalen Neuzulassungen nach Fahrzeugsegment. Für eine österreichweite Gewichtung wird zusätzlich der Urbanisierungsgrad nach Postleitzahl (EU-KOMMISSION & STATISTIK AUSTRIA 2012) dem Sample zugeordnet und neben der Bevölkerungszahl (Statistik Austria) als Gewichtungsfaktor herangezogen.

In einem zweiten Schritt dienen die gewichteten Marktanteile zur Bilanzierung der direkten und indirekten Emissionen mit dem TEE-Modell (siehe Kapitel 3.5.1). Dieses Modell liefert die segmentspezifischen Fahrzeugbestände und Neuzulassungen sowie die direkten und gesamten Emissions- und Energieeinsparungen bei Substitution der fossilen Fahrzeuge in den Neuzulassungen durch die alternativ betriebenen. Es werden CO₂- (Kohlenstoffdioxid), NO_x- (Stickoxid), PM- (Feinstaub)-Emissionen und Energieverbrauchseinsparungen der einzelnen Maßnahmen und der zwei Szenarien berechnet.

Die Samplemarktanteile wurden zuerst für mehrere Einzelmaßnahmen (siehe Kapitel 4.3) und anschließend für zwei Szenarien (siehe Kapitel 4.4) berechnet. Bei der Umweltbewertung der beiden Szenarien „Defensive Entwicklung Elektromobilität (DEE)“ und „Offensive Entwicklung Elektromobilität“ (OEE) für Österreich werden die Marktanteile nach der oben beschriebenen Methode für die Jahre 2013, 2015 und 2020 berechnet und gewichtet. Bei den segmentspezifischen Entwicklungen der Marktanteile wird angenommen, dass die Ersthalte-dauer vier Jahre beträgt. Für die Jahre zwischen den berechneten Marktanteilen werden die segmentspezifischen Marktanteile segmentspezifisch interpoliert. Für die Berechnungen bildet das ausgewiesene Potential somit das technologische Potential der Maßnahmen ab.

Die Darstellung der Auswirkungen eines höheren Anteils an Elektrofahrzeugen auf die Lärmmissionen erfolgt in Kapitel 4.5.5.

3.5.1 Das Transport Energie- und Emissionsberechnungsmodell (TEEM)

Die Energie- und Emissionsberechnungen erfolgten mit dem Transport Energie- und Emissionsberechnungsmodell (TEEM) des Umweltbundesamt. Das Modell wurde im Zuge des Projektes mit dem Ziel entwickelt, Emissionen und Energieverbrauch der österreichischen Flotte antriebs- und segmentspezifisch für Pkw zu bilanzieren. Das TEEM baut auf Ergebnissen des GLOBEMI Modells der TU-Graz auf (HAUSBERGER & SCHWINGSHACKL 2010), welche im Rahmen der österreichische Luftschatstoffinventur (OLI) jährlich veröffentlicht werden. Im Rahmen der OLI werden die nationalen Emissionen nach internationalen Richtlinien erhoben und gemäß internationalen Formaten bewertet. Die Methodik, die das Umweltbundesamt bei der OLI anwendet, entspricht den Richtlinien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) für nationale Treibhausgasinventuren sowie dem Handbuch für Emissionsinventuren nach CORINAIR der Europäischen Umweltagentur⁸.

antriebs- und segmentspezifische Bilanzierung

Vertiefend verfügt das TEEM über eine Aufschlüsselung der Fahrzeugbestände nach sieben Fahrzeugsegmenten und nach neun Antriebskonzepten. Diese Bilanzierungstiefe hat die Vorteile, dass somit eine segment- und fahrzeugalternativen-spezifische Betrachtung ermöglicht wird und eine höhere Genauigkeit hinsichtlich der Emissions- und Energiebilanzierungen auf Flottenebene zulässt als eine Betrachtung bspw. nach Hubraum.

Inputdaten des TEEM

Für die Emissions- und Energiebilanzierungen mit dem TEEM werden folgende Inputdaten benötigt:

Inputdaten zum Fahrzeugbestand und Fahrzeugdaten:

Fahrzeugdaten

- segmentspezifische Neuzulassung von Statistik Austria (jährliche Aktualisierung),
- segmentspezifische Laufleistung in Fahrzeugkilometern (Fzkm) von Eurotax (jährliche Aktualisierung),
- Gesamtfahrleistung in km, aus der österreichischen Luftschatstoffinventur OLI (jährliche Aktualisierung)⁹,
- Kfz-Bestand in Österreich aus der österreichischen Luftschatstoffinventur OLI (jährliche Aktualisierung)¹⁰,
- Marktanteile nach Fahrzeugsegmenten und Antriebsart. Diese werden im Zuge des vorliegenden Projektes anhand des diskreten Entscheidungsexperiments und einer anschließender Schätzung eines Kaufnachfragemodells für Neuwagenkäufe ermittelt (siehe Kapitel 3).

⁸ Siehe: www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/gl/invs1.html für die IPCC-Richtlinien und www.eea.europa.eu/publications/EMEP-CORINAIR3/page002.html für die Richtlinien nach CORINAIR.

⁹ Die zugrunde liegenden Berechnungen werden mit dem Modell GLOBEMI der TU-Graz durchgeführt, eine detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in HAUSBERGER (1997) und in HAUSBERGER & SCHWINGSHACKL (2010).

- Emissions- und Energieberechnungen** Inputdaten für die Emissions- und Energieberechnungen:
- Die direkten Emissionen stammen aus eigenen Berechnungen mit dem Handbuch der Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1) sowie einer segmentspezifischen Adaptierung/Kalibrierung der Werte. Das heißt, die segmentspezifischen Emissionsfaktoren stellen eine möglichst große Annäherung an die realen Emissionsfaktoren der Neuwagenflotte unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Technik dar.
 - Die vorgelagerten Emissionen werden anhand der Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) mit dem Bilanzierungsmodell GEMIS 4.6 berechnet. Die zugrundeliegenden Lebenszyklusberechnungen wurden unter anderem in dem Projekt „Zukunft Auto“, welches in Kooperation mit dem BMVIT und A3PS entstanden ist, durchgeführt und dienen als Inputdaten für das EEA-Modell (UMWELTBUNDESAMT 2012).

Ergebnisse des TEE-Modells

Mit dem Modell werden folgende Emissionen und Energieverbräuche für Pkw bilanziert:

- direkte Emissionen der Fahrzeuge und der Flotte (CO_2 , NO_x und PM),
- Energieverbrauch (kWh/Jahr,)
- vorgelagerte Emissionen nach dem Well-to-Tank Ansatz (von der Herstellung bis zum Tank, entlang der gesamten Wertschöpfungskette).

Die Ergebnisse liegen jährlich für Österreich vor, für das Projekt wurden aber noch weitere Module zur Regionalisierung für die Regionen Burgenland, Niederösterreich und Wien vorgenommen.

3.5.2 Methodik der Energie- und Emissionsbilanzberechnungen

Berechnung der direkten Emissionen

Für die Erfassung der Emissionen aus dem Betrieb des Kraftfahrzeuges – der direkten Emissionen – bietet das Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in Österreich eine fundierte Grundlage. Das Handbuch ist ein computergestütztes Tool zur Ermittlung der Emissionen von Straßenverkehrsfahrzeugen.¹⁰ Es wird in Kooperation mit Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden entwickelt und stellt das genaueste Verkehrsemissionsmodell in Europa dar. Die Entwicklung des Handbuchs wird in Kooperation von BMVIT, BMLFUW und Umweltbundesamt erstellt, das Umweltbundesamt ist die zuständige Stelle für die nationale Koordination der Arbeiten.

- Darstellung in Form von Emissionsfaktoren** Grundlage für die Modellentwicklung stellt die Messung von Emissionen an Fahrzeugen am Rollenprüfstand bzw. Motorprüfstand dar. Die ermittelten Emissionen werden in Emissionsfaktoren für reale Fahrsituationen umgelegt, um eine realitätsnahe Abbildung des Schadstoffausstoßes zu erhalten.¹¹ Das Handbuch liefert die Emissionsfaktoren für ca. 50 unterschiedliche Verkehrssituationen. Darüber hinaus können Durchschnittswerte für innerorts, außerorts und Auto-

¹⁰ www.hbefa.net

¹¹ Für eine detaillierte Beschreibung der Methodik siehe INFRAS (2004).

bahn sowie ein globaler Durchschnittswert berechnet werden. Über die Eingabemaske können die Fahrzeugkategorie, die zu berechnenden Schadstoffe bzw. der Kraftstoffverbrauch, die Verkehrssituation und das Bezugsjahr ausgewählt werden. Das Handbuch enthält Daten über die österreichische Flottenzusammensetzung sowie spezifische Fahrleistungen nach Fahrzeugart und Abgasklasse.

Die Ergebnisoptionen des Handbuchs im Detail (nach INFRAS 2004)

Das Handbuch stellt den Benutzerinnen und Benutzern Emissionsfaktoren pro km oder Verkehrsvorgang in Abhängigkeit von den folgenden Parametern zur Verfügung:

- nach Emissionsart(en): „warme“ Emissionsfaktoren, Kaltstartzuschläge, Verdampfungsemissionen (nach Motorabstellen und/oder infolge Tankatmung);
- nach Fahrzeugkategorie(n): Personenkraftwagen (Pkw), Leichtes Nutzfahrzeug (LNF), Schwere Nutzfahrzeuge (SNF als Sammelkategorie von Lkw-Solo, Lastzügen und Sattelzügen), Reisebusse, Linienbusse (= Busse des öffentlichen Verkehrs), Motorräder/Mofas;
- nach Bezugsjahren aus der Zeitreihe 1980–2020 und damit verknüpft eine oder mehrere typische Verkehrszusammensetzungen (= Mix von Fahrzeugschichten), die von Jahr zu Jahr variieren;
- nach Komponenten (Schadstoffe CO, HC, NO_x, Partikel, CH₄, NMHC, Benzol, Toluol, Xylol, Kraftstoffverbrauch [Benzin/Diesel], CO₂, NH₃ und N₂O);
- nach „Verkehrssituationen“ (z. B. „Autobahn ohne Tempolimit“, „Autobahn mit Tempolimit 120“, „innerorts Hauptverkehrsstraße vorfahrtsberechtigt“, „Durchschnitt innerorts“ usw.);
- nach Längsneigung(en) der Fahrbahn (0, +/−2 %, +/−4 %, +/−6 %)
- nach Einflussfaktoren für die Bestimmung von Kaltstartzuschlägen (Umgebungstemperatur, Fahrlängenverteilung, Standzeitenverteilung, Fahrmodell-Mix usw.);
- nach Einflussfaktoren für die Bestimmung von Verdampfungsemissionen nach Motorabstellen (Fahrlängenverteilung, Standzeitenverteilung) und infolge Tankatmung (Einfluss der Umgebungstemperatur).

Die Ergebnisse können in unterschiedlichem Detaillierungsgrad abgefragt werden:

- als „gewichtete Emissionsfaktoren“: darin sind die verschiedenen Fahrzeugschichten (s. u.) entsprechend ihren Fahrleistungsanteilen gewichtet;
- „je Fahrzeug-Konzept“: Diese Option gibt zusätzlich die Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugkonzepte an (z. B. bei Pkw: konventionelle Pkw, GKat-Pkw-Euro-1/-2/-3/-4, Diesel-Pkw-Euro-1/-2/-3/-4; bei schweren Motorwagen: Euro-1/-2/-3 usw.) sowie das Gewicht, mit dem diese Konzepte in den „gewichteten Emissionsfaktoren“ vertreten sind;
- „je Kraftstoff-Konzept“: Diese Option liefert zusätzlich die Emissionsfaktoren der Kraftstoffkonzepte (Benzin- bzw. Diesel-Fahrzeuge) je Fahrzeugkategorie sowie das Gewicht, mit dem diese Konzepte in den „gewichteten Emissionsfaktoren“ vertreten sind;
- „je Fahrzeugschicht“: Diese Option gibt zusätzlich die Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugschichten an (z. B. Pkw mit Hubraum < 1,4 l Euro-2 usw.) sowie das Gewicht, mit dem diese Schichten in den „gewichteten Emissionsfaktoren“ vertreten sind.

Detaillierungsgrad der Ergebnisse

Berechnung der vorgelagerten Emissionen der Antriebskonzepte

Berechnung der Lebenszyklusanalysen mit GEMIS

Das Umweltbundesamt bietet seit dem Jahr 1997 Lebenszyklusanalysen mit dem Softwaretool GEMIS¹²-Österreich an. GEMIS-Österreich wird vom Umweltbundesamt gewartet, die Datenbasis wird jährlich aktualisiert. Das Ökoinstitut e. V. und die Gesamthochschule Kassel (GhK) hat die GEMIS Basisversion in den Jahren 1987–1989 entworfen und kontinuierlich weiterentwickelt. In GEMIS werden folgende Informationen angeboten:

- Bereitstellung von Energieträgern: fossile Energieträger (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas), regenerative Energien und Uran sowie nachwachsende Rohstoffe (schnellwachsende Hölzer, Chinagras, Raps, Zuckerhirse) und Wasserstoff (jeweils mit Brennstoffdaten und vorgelagerten Prozessen);
- Bereitstellung von Wärme und Strom (Heizungen, Warmwasser, Kraftwerke vieler Größen und Brennstoffe, Heizkraftwerke, BHKW¹³, ...);
- Bereitstellung von Stoffen: vor allem Grundstoffe, Baumaterialien inklusive deren vorgelagerte Prozesse (bei Importen auch im Ausland);
- Transportprozesse: Personenkraftwagen (für Benzin, Diesel, Strom, Biokraftstoffe), öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Bahn) und Flugzeuge sowie Gütertransport (Lastkraftwagen, Bahn, Schiffe und Pipelines).

GEMIS berechnet für alle Prozesse und Szenarien sogenannte Lebenszyklen, d. h. es berücksichtigt von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle wesentlichen Schritte und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein. Die Datenbasis enthält für alle diese Prozesse

- Kenndaten zu Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer,
- direkte Luftschatdstoffemissionen (SO_2 , NO_x , Halogene, Staub, CO, NMVOC, H_2S , NH_3),
- Treibhausgasemissionen (CO_2 , CH_4 , N_2O sowie SF_6 und FKW),
- feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum),
- flüssige Reststoffe (AOX, BSB5, CSB, N, P, anorganische Salze),
- Flächenbedarf.

Mit GEMIS können die Ergebnisse von Umwelt- und Kostenanalysen auch bewertet werden: durch die Aggregation von Ressourcen zum kummuleirten Energieaufwand (KEA) von klimarelevanten Schadstoffen zu sog. CO_2 -Äquivalenten, von Luftschatdstoffen zu SO_2 -Äquivalenten (Saurer Regen) und Ozon-Vorläfer-Äquivalenten (Sommersmog).

Eine beispielhafte Liste zu den verwendeten Emissionsfaktoren findet sich im Anhang „Emissionsfaktoren“.

¹² Globales-Emissions-Modell-Integrierter-Systeme

¹³ Blockheizkraftwerk

4 SIMULATIONEN ZUM FAHRZEUGMARKT

Die Ergebnisse in Kapitel 3.4 haben darauf abgezielt zu erklären, inwieweit absolute Veränderungen in der Nutzenfunktion (z. B. Kaufpreis, Einkommen etc.) die Kaufwahrscheinlichkeiten ändern. Die Fahrzeugattribute (Kaufpreis, Reichweite etc.) ändern sich aber auch aufgrund politischer oder wirtschaftlicher Rahmenbedingungen – in diesem Fall wirken die Änderungen auf mehrere Fahrzeugattribute verschiedener Fahrzeugantriebe gleichzeitig. Ziel dieses Kapitels ist es einerseits eine quantitative Interpretation der in Kapitel 3.4 beschriebenen Schätzergebnisse zu liefern und andererseits den Einfluss geänderter Rahmenbedingungen auf die Kaufentscheidung zu simulieren sowie hinsichtlich Emissionen und Energieverbrauch zu bewerten.

Nach einer kurzen Einführung in das methodische Vorgehen wird in Kapitel 4.2 das Referenzszenario beschrieben. Während in Kapitel 4.3 die betrachteten Maßnahmen erläutert werden, werden in Kapitel 4.5 die Ergebnisse der Simulationen – die Marktanteile und Energie- und Emissionspotenziale – präsentiert.

4.1 Simulation der Maßnahmen

Die ökonometrischen Nachfragemodelle (siehe Kapitel 3.4) beschreiben das individuelle Verhalten der Befragten in Bezug auf die Situation Neuwagenkauf. Jedes der beschriebenen ökonometrischen Modelle kann nun prinzipiell für die Simulation diverser Reformszenarien verwendet werden. In diesem Kapitel wird das Modell drei aus Kapitel 3.4 für die Maßnahmensimulationen verwendet, da Modell vier keine statistisch signifikante Verbesserung gegenüber Modell drei aufgewiesen hat.

Um die Marktanteile für die Reformszenarien berechnen zu können wird in einem ersten Schritt ein Referenzszenario definiert. In diesem werden die Attribute für alle Fahrzeuge festgelegt (siehe Kapitel 4.2). Für diesen Schritt werden die in Kapitel 2.2.1 recherchierten Fahrzeugattribute herangezogen.

Um die Marktanteile für die Stichprobe im Referenzszenario zu erheben werden zunächst die Auswahlwahrscheinlichkeiten pro Person und Alternative berechnet, wobei die individuenspezifischen Merkmale konstant bleiben. Anschließend werden die individuellen Auswahlwahrscheinlichkeiten für jede Fahrzeugalternative über alle Personen summiert und es wird der Durchschnitt gebildet. Die sich daraus ergebende mittlere Wahlwahrscheinlichkeit kann als Marktanteil der Stichprobe im Referenzszenario interpretiert werden.

Anhand der individuenspezifischen Merkmale kann die Stichprobe gewichtet werden, sodass sie den Betrachtungsraum (Wien, Niederösterreich, Burgenland oder Österreich) repräsentiert. Dieser Schritt erfolgt bei der Bewertung des Energie- und Emissionspotenzials in Kapitel 4.5.3. Als Gewichtungsfaktoren für die betrachteten Regionen werden die Verteilung der Neuzulassungen nach Fahrzeugsegment, der Urbanisierungsgrad und die Bevölkerungszahl herangezogen.

Sollen nun die Marktanteile für unterschiedliche Reformen berechnet werden, so werden die Attribute der Fahrzeuge dementsprechend verändert und in neuen Szenarien definiert. Die Berechnung der Marktanteile und die Gewichtung erfolgt wie für das Referenzszenario.

**Definition des
Referenzszenarios**

**individuelle
Auswahl-
wahrscheinlichkeiten**

In diesem Kapitel werden neben Einzelmaßnahmen – wie die Einführung eines CO₂-basierten Bonus-Malus-Systems mit unterschiedlichen CO₂-Grenzwerten, Treibstoffpreisveränderungen, Veränderungen der Reichweite und eine Veränderung des Anteils an umweltbewussten Personen im Sample – auch zwei Szenarien untersucht, die Bündel an Maßnahmen betrachten und eine Entwicklung bis 2020 darstellen. Die Einzelmaßnahmen (siehe Kapitel 4.3) zielen darauf ab, den Effekt im Implementierungsjahr abzubilden, daher wird nur der einjährige Effekt untersucht.

4.2 Das Referenzszenario

Das Referenzszenario beschreibt einen hypothetischen Fahrzeugmarkt im Jahr 2013. Die Recherchen zum Fahrzeugmarkt aus Kapitel 2.2.1 dienen als Ausgangslage für die Verhältnisse der Attribute. Der abgebildete Fahrzeugmarkt stellt einen vereinfachten, optimalen Fahrzeugmarkt dar, da angenommen wird, dass alle Antriebsarten in jedem der untersuchten Segmente verfügbar sind. Diese Betrachtungsweise hat den Vorteil, dass die Wirkung einzelner Maßnahmen/Reformen auf alle Fahrzeuge untersucht werden kann. Nachfolgend werden die wesentlichen Rahmenbedingungen des Referenzszenarios beschrieben.

4.2.1 Attribute im Referenzszenario

Clusterung auf vier Segmente	Die ursprünglich sieben Segmente wurden für die Simulationen auf vier Segmente zusammengefasst. Die Zusammenfassung erfolgt aufgrund der Anteile der Neuzulassungen 2009 sowie der Kaufpreiskategorien.
-------------------------------------	---

Tabelle 21: Zusammengefasste Segmente für die Simulation.

Segment	Segmente für Simulation
Kleinstwagen	Kleinstwagen Segment 1
Kleinwagen	Klein-/Mittelklasse Segment 2
Mittelklasse	
Obere Mittelklasse	Oberklasse und Obere Mittelklasse Segment 3
Oberklasse	
Großraumlimousine/Family Van Geländewagen	andere Segment 4

Attribute der konventionellen Fahrzeuge über alle Segmente im Referenzszenario

Die Niveaus der Attribute der konventionellen Fahrzeuge unterscheiden sich kaum von jenen aus dem Jahr 2012. Die Preise variieren je nach Segment zwischen rd. 10.000 und 41.000 €, die Leistung zwischen 67 und 138 PS. Tankstellen sind flächendeckend verfügbar, die Reichweiten werden in allen Kategorien > 500 km angenommen. Die Wartungskosten pro gefahrenem Kilometer werden nach EPRI (2004) über alle Segmente mit 6 Cent pro Kilometer angenommen.¹⁴ Die Treibstoffkosten werden in Abhängigkeit von den gefahrenen Kilometern pro Jahr und Segment sowie vom spezifischen Verbrauch berechnet. Im Basisjahr 2013 werden die Treibstoffkosten der Segmente Kleinst-, Klein- und Mittelklasse mit 6 bzw. 7 Cent pro Kilometer (etwa 1,4 €/Liter), in den größeren Segmenten (Ober-, Obere Mittelklasse und andere) mit 9 Cent pro Kilometer angenommen.

Tabelle 22: Attribute des konventionellen Fahrzeugs im Referenzszenario.

konventionelles Fahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	10.490	19.145	40.606	30.451
Leistung [PS]	67	88	170	123
Treibstoffkosten [€/km]	0,060	0,070	0,097	0,090
Wartungskosten [€/km]	0,06	0,06	0,06	0,06
Reichweite [km]	> 500	> 500	> 500	> 500
Tankstellenverfügbarkeit [%]	100	100	100	100

Attribute der Elektrofahrzeuge über alle Segmente im Referenzszenario

Die Preise der Elektrofahrzeuge sind im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen hoch, sie liegen je nach Segment zwischen rd. 27.000 und 48.000 €. Die Leistung sowie die Reichweiten sind gering, die Wartungskosten werden nach EPRI (2004) mit 3 Cent pro km angenommen und sind somit um 40 % günstiger als beim konventionellen Fahrzeug.

Die Ladestationen sind nur gering verfügbar, im öffentlichen Raum selten. Der Strompreis wird nach den Hintergrunddaten (aus UMWELTBUNDESAMT 2011) mit 0,23 €/kWh angenommen, das entspricht etwa 3 Cent pro km, unter Berücksichtigung des spezifischen Verbrauchs. Es gibt keine Zusatzangebote beim Kauf eines Elektrofahrzeuges in Form von Ankaufsförderungen, einer Gratis-Nutzung von Park & Ride-Stellplätzen oder Ähnlichem.

¹⁴ Bei der Berechnung der Wartungskosten wurde die spezifische Laufleistung je Segment berücksichtigt.

Tabelle 23: Attribute des Elektrofahrzeugs im Referenzszenario.

Elektrofahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	26.640	30.000	48.000	42.000
Leistung [PS]	64	109	120	110
Treibstoffkosten [€/km]	0,03	0,03	0,03	0,03
Wartungskosten [€/km]	0,03	0,03	0,03	0,03
Reichweite [km]	144	160	160	160
Tankstellenverfügbarkeit	gering	gering	gering	gering
Anreize	keine	keine	keine	keine

Attribute der CNG- und E85-Fahrzeuge im Referenzszenario

Die Attribute der mit alternativen Kraftstoffen (CNG und E85) betriebenen Fahrzeuge werden zusammengefasst in diesem Szenario beschrieben, da sie sich nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Einzig bei der Reichweite hat das E85 Fahrzeug gegenüber dem CNG Fahrzeug einen Vorteil. Der Kaufpreis dieser Fahrzeuge ist im Kleinstwagensegment um 14 % höher als bei den fossil betriebenen Fahrzeugen. Die Reichweite wird bei den E85-Fahrzeugen äquivalent zu den konventionell betriebenen Fahrzeugen angenommen, bei den Bio- oder Erdgasfahrzeugen nur mit 240 km. Die Treibstoffkosten werden segmentspezifisch zwischen 6,7 und 8,7 Cent angenommen. Nach den historischen Treibstoffpreisenentwicklungen sind die CNG- und E85-Treibstoffpreise an die fossilen Kraftstoffpreise gekoppelt (www.carmen-ev.de)¹⁵, sie liegen im Durchschnitt etwa um 50 Cent pro Liter unter den fossilen Kraftstoffpreisen. Das Tankstellennetz ist zu etwa 80 % ausgebaut.

Tabelle 24: Attribute der E-85 und CNG-Fahrzeuge im Referenzszenario.

E85-Fahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	12.000	25.000	42.000	32.000
Leistung [PS]	52	73	157	150
Treibstoffkosten [€/km]	0,067	0,067	0,077	0,087
Wartungskosten [€/km]	0,060	0,060	0,060	0,060
Reichweite [km]	500	500	500	500
Tankstellenverfügbarkeit	80 %	80 %	80 %	80 %
Anreize	keine	keine	keine	keine

CNG-Fahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	13.932	28.000	44.000	35.000
Leistung [PS]	52	73	160	110
Treibstoffkosten [€/km]	0,067	0,067	0,077	0,087
Wartungskosten [€/km]	0,060	0,060	0,060	0,060
Reichweite [km]	240	240	240	240
Tankstellenverfügbarkeit	80 %	80 %	80 %	80 %
Anreize	keine	keine	keine	keine

¹⁵ Diese Eigenschaft wird bei den nachfolgenden Szenarien als Nebenbedingung berücksichtigt.

Attribute der HEV- und PHEV-Fahrzeuge im Referenzszenario

Die Preise für das Jahr 2013 der Hybridelektro- und der Plugin-Hybridelektro Fahrzeuge werden je nach Fahrzeugklasse zwischen rd. 24.000 und 49.000 € angenommen. Die Treibstoffkosten setzen sich aus den Stromkosten (0,23 €/kWh) und den Preisen für fossile Energieträger (1,4 € pro Liter) zusammen und werden wie bei den anderen Technologien in Abhängigkeit vom Segment und den gefahrenen Kilometern pro Jahr ausgewiesen. Die Wartungskosten werden nach EPRI (2004) mit 5 Cent pro Kilometer angenommen.

Tabelle 25: Attribute der HEV- und PHEV-Fahrzeuge im Referenzszenario.

Hybrid-Fahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	24.301	29.701	45.000	37.000
Leistung [PS]	60	136	162	200
Treibstoffkosten [€/km]	0,053	0,053	0,060	0,068
Wartungskosten [€/km]	0,050	0,050	0,050	0,050
Reichweite [km]	500	500	500	500
Tankstellenverfügbarkeit	100 %	100 %	100 %	100 %
Anreize	keine	keine	keine	keine

PHEV-Fahrzeug	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
Preis [€]	27.000	33.000	49.000	44.000
Leistung [PS]	60	119	178	110
Treibstoffkosten [€/km]	0,053	0,053	0,060	0,068
Wartungskosten [€/km]	0,050	0,050	0,050	0,050
Reichweite [km]	500	500	500	500
Tankstellenverfügbarkeit	100 %	100 %	100 %	100 %
Anreize	keine	keine	keine	keine

4.3 Untersuchte Einzelmaßnahmen

Mit dem Nachfragermodell (siehe Kapitel 3.4) lassen sich Veränderungen am Fahrzeugmarkt bewerten. Für jede Variable der zugrundeliegenden Nutzenfunktion des Modells können die Ausprägungen – ausgehend vom Referenzszenario – entsprechend der analysierten Maßnahmen verändert werden. In dem folgenden Abschnitt werden alle untersuchten Maßnahmen beschrieben und ihre Auswirkungen auf die Variablen der Nutzenfunktion dokumentiert.

Tabelle 26 gibt einen Überblick über die untersuchten Einzelmaßnahmen:

- NoVA1 – NoVA3: Einführung eines CO₂-basierten Bonus-Malus-Systems mit unterschiedlichen CO₂-Grenzwerten
- FC-1 – FC-3: Treibstoffpreisveränderungen
- FCE-1 – FCE-2: Strompreisveränderungen
- MC-1 – MC-2: Wartungskostenveränderungen
- RA-1 – RA-3: Veränderungen der Reichweite
- ENV-1 – ENV-2: Veränderung des Anteils an umweltbewussten Personen im Sample

Tabelle 26: Überblick über die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Akronym	Kurzbeschreibung
NoVA1	Bonus-Malus: GW 120 g/km
NoVA2	Bonus-Malus: GW 100 g/km
NoVA3	Bonus-Malus: GW 50 g/km
FC-1	fossiler Preis: 1,5 €/Liter
FC-2	fossiler Preis: 1,9 €/Liter
FC-3	fossiler Preis: 4 €/Liter
FCE-1	Strompreis: 28,6 c/kWh
FCE-2	Strompreis: 21,5 c/kWh
MC-1	alle Wartungskosten (MC) pro Antrieb in gleicher Höhe
MC-2	EV, HEV, PHEV haben die günstigsten MC
RA-1	EV: Reichweite 500 km,
RA-2	EV: RW: 500 km, SSA: hoch
RA-3	EV: 100 km, SSA: niedrig
ENV-1	15 % mehr Umweltbewusste
ENV-2	50 % mehr Umweltbewusste

SSA.....Tankstellenverfügbarkeit
GW.....Grenzwert
EVElektrofahrzeug

4.3.1 Einführung eines CO₂-basierten Bonus-Malus-Systems mit unterschiedlichen Grenzwerten (NoVA1, NoVA2, NoVA3)

Regelung für die NoVA

Derzeit gilt folgende Regelung für die Normverbrauchsabgabe (NoVA), die bei erstmaliger Zulassung von Personenkraftwagen (Pkw) zu entrichten ist: Als Bemessungsgrundlage werden der Anschaffungspreis, das Entgelt oder der allgemeine Wert sowie der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch (MVEG-Zyklus) herangezogen. Allerdings beträgt der zu entrichtende Betrag höchstens 16 % (BMF 2012).

In Österreich wurde durch das Ökologisierungsgesetz ab 01.07.2008 ein Bonus-Malus-System nach dem Abgasverhalten bei Neuwagen eingeführt. Fahrzeuge mit niedrigem Schadstoffausstoß oder/und schadstoffarmen Antriebsmotoren werden mit einem Bonus gefördert; ein hoher Schadstoffausstoß bei Fahrzeugen wird hingegen mit einem zusätzlichen Malus auf die NoVA belegt.

Tabelle 27: Aktuelle CO₂-Bonus-Malus-Regelungen (BMF 2012).

CO ₂ -Ausstoß	Gültigkeitszeitraum 01.03.2011 bis 31.12.2012	Gültigkeitszeitraum ab 01.01.2013
geringer als 120 g/km	Bonus höchstens € 300,-	Bonus höchstens € 300,-
mehr als 160 g/km	Malus von € 25,- für jedes übersteigende g/km	Malus von € 25,- für jedes übersteigende g/km
mehr als 180 g/km	Malus von € 50,- für jedes übersteigende g/km	Malus von € 50,- für jedes übersteigende g/km
mehr als 220 g/km	Malus von € 75,- für jedes übersteigende g/km	Malus von € 75,- für jedes übersteigende g/km

Kraftfahrzeuge, deren NO_x-Stickoxid-Emissionen und partikelförmige Emissionen (PM) bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, werden steuerlich mit einem Bonus von maximal 200 € begünstigt. Der Bonus für Fahrzeuge mit umweltfreundlichem Antriebsmotor (Hybridantrieb, E85, Erdgas, Biogas, Wasserstoff) beträgt bis zum 31.08.2012 maximal 500 €. Der Malus für partikelförmige Emissionen, die größer als 0,005 g/km sind, beträgt 300 €.

Eine Reformierung der NoVA wirkt daher in erster Linie auf den Kaufpreis. Die Reduktion könnte zwar unter Umständen von den AutoverkäuferInnen/-verkäufern nicht sofort weitergegeben werden, in einem kompetitiven Umfeld und bei zusätzlicher Werbung durch die reformierenden politischen EntscheidungsträgerInnen ist aber davon auszugehen, dass zumindest ein Teil bei den KonsumentInnen ankommt. Reduktionen des Kaufpreises sind prinzipiell relevant – deren Wirkungen auf die Marktanteile werden hier untersucht und Emissionsminderungen berechnet. Außerdem existieren in vielen Ländern Kaufpreisprämien (Tabelle 28 zeigt einen Überblick).

Tabelle 28: Kaufpreisprämien für EV im Europavergleich.

Land	Kaufpreisprämie	Höhe der Kaufpreisprämie
Deutschland	nein	0,00 €
Frankreich	ja	5.000,00 €
		2.000,00 €
Italien	nein	0,00 €
Großbritannien	ja	5.700,00 €
Niederlande	nein	0,00 €
Belgien	nein	0,00 €
Österreich	ja	in einigen Bundesländern, max. Höhe der steuerlichen Begünstigung: 800 €
Spanien	ja	6.000,00 €
Portugal	ja	5.000,00 €
Griechenland	nein	0,00 €
Dänemark	nein	0,00 €
Schweden	ja	Höhe noch unklar
Norwegen	nein	0,00 €
Schweiz	nein	0,00 €
Luxemburg	ja	3.000,00 €
Tschechien	nein	0,00 €
Irland	nein	0,00 €
Rumänien	ja	5.000,00 €
Zypern	ja	700,00 €

Quelle: RANDELHOFF (2011)

keine Gewähr auf Vollständigkeit und Aktualität

4.3.1.1 Untersuchte NoVA-Reformen

Bei den untersuchten NoVA-Reformen erfolgt die Staffelung der Bonus-Malus-Zahlungen nach den Emissionsklassen. Bei der ersten Reform liegt der Grenzwert bei 120 g/Fzkm, bei der zweiten bei 100 g/Fzkm.

NoVA1-Reform

Die Fahrzeugpreise werden so variiert, dass die Bonus-Malus-Zahlungen wie in Abbildung 5 gezeigt erfolgen, der Grenzwert liegt bei 120 g/Fzkm.

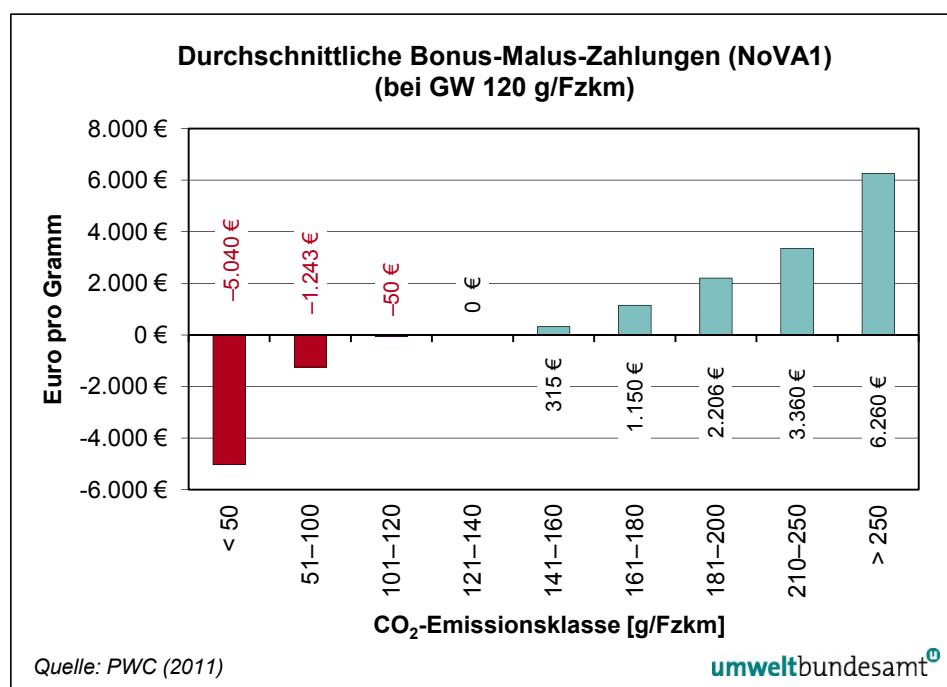


Abbildung 5: Durchschnittliche Bonus-Malus-Zahlungen, NoVA1-Reform.

In diesem Szenario kommt es somit zu Preisvergünstigungen von bis zu 19 % bei den rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen, bei den E85-Fahrzeugen sogar bis zu 42 % (siehe Tabelle 29). Absolut beträgt die Vergünstigung etwa 5.000 € und liegt somit etwa in der Höhe von jenen Kaufpreisprämien, mit denen aktuell in Europa fünf Länder Elektrofahrzeuge subventionieren.

Tabelle 29: Veränderung der Kaufpreise aufgrund der Bonus-Malus-Regelung mit Grenzwert bei 120 g/km.

NoVA1-Reform						
Segment	CV	EV	HEV	PHEV	CNG	E85 ¹⁾
1	-0,5 %	-18,9 %	-5,1 %	-4,6 %	-0,4 %	-42,0 %
2	0,0 %	-16,8 %	-4,2 %	-3,8 %	-0,2 %	-20,2 %
3	0,8 %	-10,5 %	8,8 %	-2,5 %	0,7 %	-12,0 %
4	3,8 %	-12,0 %	-3,4 %	-0,1 %	0,0 %	-15,8 %

¹⁾ Im Rahmen dieses Vorschlags wurde für die Regelung angenommen, dass Ethanol CO₂-neutral bilanziert wurde.

NoVA2-Reform

Die Auswirkungen der NoVA2-Reform auf die Fahrzeugpreise sind in Abbildung 6 dargestellt. Die konventionellen Fahrzeuge erhalten somit in keinem Segment Bonus-Zahlungen, bei den alternativ betriebenen Fahrzeugen kommt es hingegen in allen Segmenten zu Bonus-Zahlungen, bei den E85-Fahrzeugen sogar um bis zu 30 %. Absolut kommt es bei den gewählten Referenzfahrzeugen zu Malus-Zahlungen von maximal 3.600 € und zu Bonuszahlungen von maximal 1.150 € (Tabelle 30).

Tabelle 30: Veränderung der Kaufpreise aufgrund der Bonus-Malus-Regelung mit Grenzwert bei 100 g/km.

NOVA2-Reform						
Segment	CV	EV	HEV	PHEV	CNG	E85 ¹⁾
1	0,0 %	-13,5 %	-2,2 %	-2,0 %	0,0 %	-30,0 %
2	0,0 %	-12,0 %	-1,8 %	-1,6 %	0,0 %	-2,1 %
3	0,8 %	-7,5 %	0,0 %	-7,3 %	-0,7 %	0,0 %
4	3,8 %	-8,6 %	-1,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

¹⁾ Im Rahmen dieses Vorschlags wurde für die Regelung angenommen, dass Ethanol CO₂-neutral bilanziert wurde.

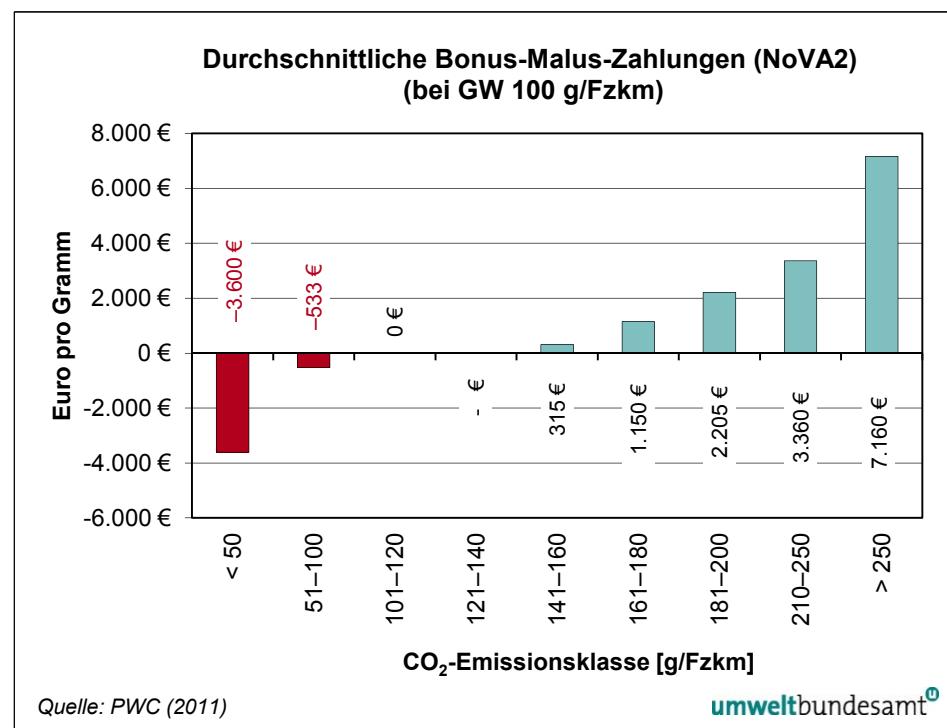


Abbildung 6: Durchschnittliche Bonus-Malus-Zahlungen, NoVA2-Reform.

NoVA3-Reform

Werden die Preise der Referenzfahrzeuge nach der NoVA3-Reform verändert (siehe Abbildung 7), bedeutet dies, dass für alternativ betriebene Fahrzeuge keine Bonuszahlungen erfolgen, und für konventionell betriebene Fahrzeuge im Segment vier Maluszahlungen aufgrund der Grenzwertregelung von bis zu 7 % (2.015 €) anfallen. Aber auch bei den CNG-Fahrzeugen fallen Maluszahlungen an – im Segment 3 etwa 900 €.

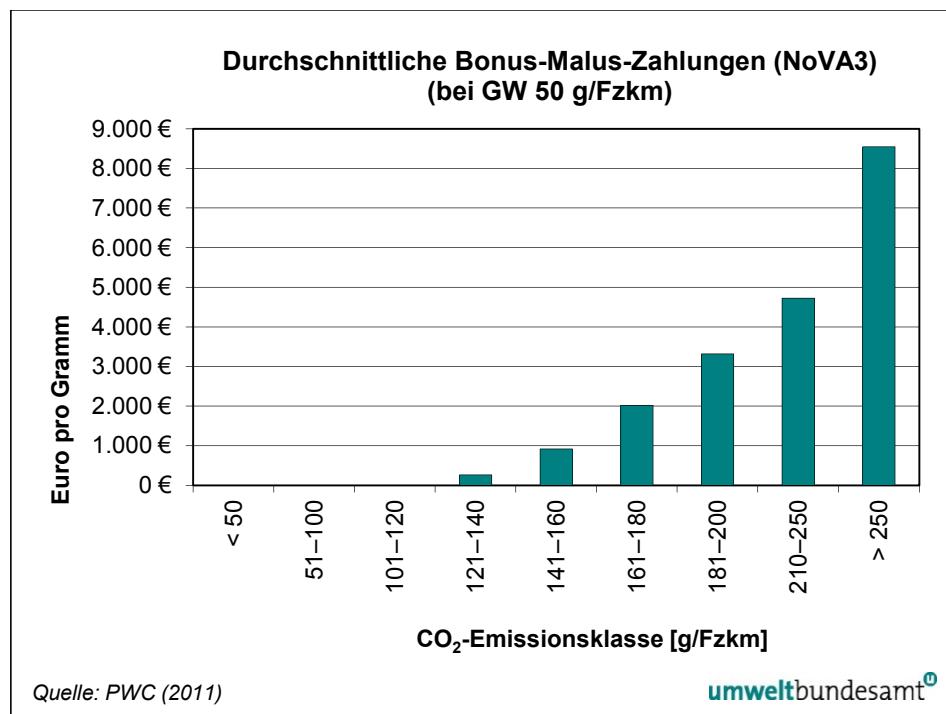


Abbildung 7: CO₂ Bonus-Malus-Regelung bei der NoVA3-Reform.

Tabelle 31: Preisänderungen aufgrund der NoVA3-Reform
(in Prozent zum Referenzszenario).

NOVA3-Reform						
Segment	CV	EV	HEV	PHEV	CNG	E85 ¹⁾
1	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2	1,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
3	2,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	2,1 %	0,0 %
4	6,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,8 %	0,0 %

¹⁾ Im Rahmen dieses Vorschlags wurde für die Regelung angenommen, dass Ethanol CO₂-neutral bilanziert wurde.

4.3.2 Weitere Einzelmaßnahmen

4.3.2.1 Änderung der variablen Kosten

In diesen Szenarien werden, ausgehend vom Referenzszenario, die Treibstoffpreise und die Wartungskosten variiert, um den Einfluss von variablen Kosten auf die Kaufentscheidung zu zeigen. Folgende Varianten werden simuliert:

Reformen FC-1, FC-2 und FC-3

Die Preise fossiler Treibstoffe werden gering erhöht (von 1,3 €/Liter auf 1,5 €/Liter) (FC-1), mäßig erhöht (1,9 €/Liter) (FC-2) und stark erhöht (4 €/Liter) (FC-3).¹⁶

**erhöhte
Treibstoffpreise**

Eine Erhöhung der fossilen Treibstoffpreise bewirkt aufgrund der technischen Gegebenheiten sowie der Marktbeziehungen auch eine Erhöhung der Treibstoffkosten für die HEV-, PHEV-, E85- und CNG-Fahrzeuge. In dieser Reform bleiben somit einzig die Treibstoffkosten für das Elektrofahrzeug unverändert. Bei diesen Reformen wird davon ausgegangen, dass die segmentspezifischen Fahrleistungen sowie der spezifische Verbrauch nach Segment sich nicht verändern. Somit spiegeln die Ergebnisse den puren Effekt einer Treibstoffpreiserhöhung aufgrund der Präferenzen der befragten Personen wider.

Reformen FCE-1 und FCE-2

Die Elektrizitätspreise werden einmal stark erhöht – von 19,4 c/kWh auf 28,6 c/kWh (nach Hintergrunddaten MonitoringMechanism, UMWELTBUNDESAMT 2011) (FCE-1) – und einmal mittelmäßig erhöht – von 19,4 c/kWh auf 21,50 c/kWh (FCE-2).

**erhöhte
Elektrizitätspreise**

Bei der Erhöhung der Elektrizitätspreise werden die Treibstoffkosten aufgrund der technischen Bedingungen auch bei den HEV- und PHEV-Fahrzeugen leicht erhöht (6–24 %).

Reformen MC-1 und MC-2

Im Referenzszenario mit realen Attributwerten haben die Elektrofahrzeuge die günstigsten Wartungskosten (3 Cent pro km) im Vergleich zu den anderen Alternativen. In der ersten Simulation werden alle Wartungskosten gleich gesetzt (6 Cent/km), sodass keine Fahrzeugalternative einen Vorteil hat (MC-1). Bei der zweiten Reform werden die Wartungskosten der HEV- und PHEV-Fahrzeuge auch auf 3 Cent pro km gesenkt – somit sind die Wartungskosten aller elektrifizierten Fahrzeuge deutlich günstiger als jene mit fossilem Treibstoff (MC-2).

Wartungskosten

¹⁶ Die Werte und Rahmenbedingungen für die Reformen basieren auf einem Workshop am Umweltbundesamt, einer Literaturstudie sowie aus den Hintergrunddaten des Reports „Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien, Grundlage für die Klimastrategie 2020 und den Monitoring Mechanism 2011 (UMWELTBUNDESAMT et al. 2011).

4.3.2.2 Änderung der Reichweite und der Ladeinfrastruktur

Reform RA-1, RA-2 und RA-3

Reichweite In diesen Simulationsszenarien wird in einer ersten Simulation nur die Reichweite der EV-Fahrzeuge von 144 auf 500 km erhöht (RA-1). Somit ist das CNG-Fahrzeug jenes mit der geringsten Reichweite.

Tankstellenverfügbarkeit Bei der zweiten Simulation (RA-2) wird zusätzlich die Tankstellenverfügbarkeit von gering auf hoch erhöht. Hoch bedeutet hier, dass Ladestationen flächendeckend (an Schlüsselstellen wie Arbeitsplatz, P+R-Anlagen, Einkaufszentren, Parkgaragen) und wie bisher bei privaten Garagen und Abstellplätzen verfügbar sind. Dieses Szenario stellt damit eine Obergrenze der Möglichkeiten dar – die höchste technische Reichweite und das höchste Tankstellennetz.

Die dritte Simulation stellt eine untere Grenze dar, die Reichweite der EVs ist niedrig (100 km) und die Tankstellenverfügbarkeit gering (private Garagen und Abstellplätze) (RA-3).

4.3.2.3 Veränderung des Anteils der umweltbewussten Menschen im Sample

Umweltbewusstseinsindex In diesen Szenarien wird simuliert, welchen Effekt eine Änderung des Anteils an umweltbewussten Menschen im Sample bedeuten würde. Der Fragebogen wurde so gestaltet, dass ein Umweltbewusstseinsindex (basierend auf der in Kapitel 2.4 beschriebenen Faktorenanalyse) gebildet werden konnte. Somit können die Individuen im Sample nach ihrem Umweltbewusstsein unterschieden werden. Dadurch kann auch simuliert werden, welchen Effekt bewusstseinsbildende Maßnahmen (wie z. B. dass Mobilität nicht mehr als Fahrzeugbesitz, sondern mehr als Dienstleistung verstanden wird, oder dass ein Elektrofahrzeug für kurze Alltagswege sehr gut geeignet ist) auf die Marktanteile alternativ betriebener Fahrzeuge haben könnten. Es werden zwei Szenarien simuliert: Ein Anstieg der umweltbewussten Personen um 15 % (ENV-1) und ein Anstieg um 50 % (ENV-2).

4.4 Bündel an Maßnahmen in zwei Szenarien

Abschließend werden mehrere Maßnahmen zusammen in zwei Szenarien untersucht. Diese Szenarien sollen zwei mögliche Entwicklungen von Elektromobilitätspfaden für Pkw bis zum Jahr 2020 widerspiegeln. Die betrachteten Szenarien stellen keine Prognosen dar, sondern dienen dem Zweck mögliche Entwicklungen abzubilden. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4.5.4 präsentiert.

Szenario 1: Defensive Entwicklung der Elektromobilität (DEE) bis 2020 (Minimal-Szenario)

In diesem Szenario wird unterstellt, dass die Entwicklung der Elektromobilität sowie anderer alternativer Antriebe nicht gefördert oder unterstützt wird. Die Attribute der Fahrzeuge werden dahingehend verändert, dass sie defensive politische Rahmenbedingungen sowie gedämpfte zukünftige technologische Entwicklungen bis zum Jahr 2020 widerspiegeln.

Es kommt zu keiner NoVA-Reform. Gleichzeitig entwickeln sich die konventionellen Fahrzeuge wie in der Vergangenheit weiter (z. B. Trend zu verbrauchsärmeren Autos setzt sich fort, gleichzeitig steigt die Motorleistung). Somit bleiben die Reichweiten der Elektrofahrzeuge auf dem Niveau des Referenzszenarios. Die Preise der Elektrofahrzeuge bleiben hoch, da keine Skaleneffekte bei der Produktion genutzt werden können. Die Plug-In- und die Hybridfahrzeuge verbessern sich nicht. Die Entwicklung der mit alternativem Kraftstoff betriebenen Fahrzeuge verläuft ohne Verbesserungen.

Die Elektrizitätspreise steigen p. a im Durchschnitt um etwa 1,1 % pro Jahr, es kommt zu keiner Vergünstigung der Preise, da nicht in die Produktion von alternativen Energien investiert wird (Diw 2011). Die fossilen Treibstoffpreise entwickeln sich moderat, sie steigen nach UMWELTBUNDESAMT 2011 um etwa 13 % auf ca. 1,6 €/Liter. Die Leistung der Motoren entwickelt sich wie in der Vergangenheit und steigt um etwa 13 % (DEE 2015 und 2020)

Szenario 2: Offensive Entwicklung der Elektromobilität (OEE) bis 2020 (Maximal-Szenario)

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass sich die politischen und technischen Rahmenbedingungen so ändern, dass die elektrisch und alternativ betriebenen Fahrzeuge kaum Nachteile gegenüber den konventionellen Fahrzeugen aufweisen. In einem ersten Schritt (OEE2015) werden die konventionellen Fahrzeuge nach ihrem Normverbrauch besteuert (NoVA1-Reform). Die Tankstellen für Elektrofahrzeuge werden flächendeckend ausgebaut und es gibt zusätzliche Kaufanreize (z. B. werden P&R-Parkplätze beim Kauf des Fahrzeugs dazu angeboten). Die Preise der Elektrofahrzeuge sinken sehr stark, sei es durch Kaufanreize oder durch geänderte Marktbedingungen. Es wird davon ausgegangen, dass 2020 alternativ betriebene Fahrzeuge in allen Fahrzeugklassen verfügbar sein werden und keine Preisunterschiede nach Antriebsart existieren. Des Weiteren wird angenommen, dass bewusstseinsbildende Maßnahmen umgesetzt wurden, sodass sich im Jahr 2020 um 15 % mehr umweltbewusste Menschen im Sample befinden (OEE2020).

Der Energieverbrauch und die Emissionseinsparungen zu diesen Szenarien werden in Kapitel 4.5.4 dargestellt. Zu beachten ist, dass die Wirkung der Bündel an Maßnahmen auf die österreichische Flotte berechnet wird. So können die Bestandsentwicklungen der Szenarien abgebildet werden. Bei dem Entscheidungsexperiment wurde die Situation „Neuwagenkauf“ abgefragt und somit erfolgen die Hochrechnungen von der Nachfrageseite her. Da nicht angenommen werden kann, dass eine/ein potenzieller KäuferIn jedes Jahr ein neues Fahrzeug kauft, wurde für die Szenarienbetrachtung eine Ersthaltedauer von 4 Jahren berücksichtigt (Eurotax-Schwacke, 2012). Die segmentspezifischen Entwicklungen der Marktanteile wurden für drei Jahre (2013, 2015 und 2020) mit dem Nachfragemodell (Modell 3) aus Kapitel 3.4 berechnet und für die anderen Jahre linear interpoliert.

4.5 Ergebnisse der Simulationen auf Marktanteile und Umwelteffekte

In diesem Kapitel werden zum einen der Einfluss der Maßnahmen auf die Marktanteile sowie zum anderen die Umwelteffekte dargestellt.

4.5.1 Marktanteile der Einzelmaßnahmen und der Szenarien

Wird der Fahrzeugmarkt 2013 (= Referenzszenario) – wie in Kapitel 4.2 beschrieben – simuliert und werden die Marktanteile geschätzt, so ergeben sich für das Sample die folgenden Marktanteile für das Jahr 2013. Zu beachten hierbei ist nun, dass die Ergebnisse des Referenzszenarios (siehe Tabelle 32) als Referenzgröße für die nachfolgende Maßnahmenbewertung dienen. Neben den PHEV erscheinen von allen alternativen Fahrzeugen die HEV am attraktivsten. Die CNG und EV haben den geringsten Marktanteil.

Tabelle 32: Marktanteile des Referenzszenarios nach Fahrzeugalternativen.

Akronym	Fahrzeugalternativen					
	CV	E85	CNG	HEV	PHEV	EV
BASE 2013	41 %	5 %	1 %	36 %	14 %	2 %

CV.....konventionelles Fahrzeug

E85.....E85-Fahrzeug

CNGBiogas- (Erdgas-) Fahrzeug

HEV.....Hybrid.Fahrzeug

PHEV.....Plug-in-Hybrid-Fahrzeug

EVElektrofahrzeug

4.5.1.1 Effekte der einzelnen Maßnahmen auf die Sample-Marktanteile

In Tabelle 33 werden die Effekte der Maßnahmen auf die Marktanteile des Samples abgebildet. Die Darstellung erfolgt in Prozentpunkten, d. h. die relative Änderung zum Referenzszenario (siehe Tabelle 32) wird dargestellt.

Tabelle 33: Potenzielle Veränderung des Sample-Marktanteils nach einzelnen Maßnahmen [nicht additiv].

Akronym	Fahrzeugalternativen					
	CV	E85	CNG	HEV	PHEV	EV
NoVA1	-3,8 %	3,2 %	-0,1 %	-1,5 %	0,8 %	1,4 %
NoVA2	-2,8 %	0,1 %	-0,1 %	0,0 %	1,8 %	1,0 %
NoVA3	-1,4 %	0,1 %	0,0 %	0,9 %	0,3 %	0,0 %
FC-1	0,3 %	0,2 %	0,1 %	-1,0 %	-0,1 %	0,5 %
FC-2	-1,2 %	-0,2 %	0,0 %	-0,2 %	0,5 %	1,1 %
FC-3	-5,8 %	-1,3 %	0,0 %	-5,0 %	0,2 %	11,9 %
FCE-1	2,5 %	0,4 %	0,1 %	-2,0 %	-0,7 %	-0,2 %

Akronym	Fahrzeugalternativen					
	CV	E85	CNG	HEV	PHEV	EV
FCE-2	1,3 %	0,1 %	0,0 %	-1,2 %	-0,4 %	0,1 %
MC-1	2,4 %	0,4 %	0,1 %	-1,6 %	-0,5 %	-0,7 %
MC-2	-4,0 %	-0,6 %	-0,1 %	3,8 %	1,2 %	-0,3 %
RA-1	-1,1 %	-0,1 %	-0,1 %	-1,2 %	-0,5 %	3,0 %
RA-2	-2,8 %	-0,4 %	-0,1 %	-2,8 %	-1,2 %	7,3 %
RA-3	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	-0,3 %
ENV-1	-12,1 %	-0,4 %	0,3 %	3,0 %	7,5 %	1,8 %
ENV-2	-31,3 %	-2,4 %	0,3 %	-1,6 %	26,4 %	8,5 %

CV..... konventionelles Fahrzeug

E85..... E85-Fahrzeug

CNG..... Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug

HEV..... Hybrid-Fahrzeug

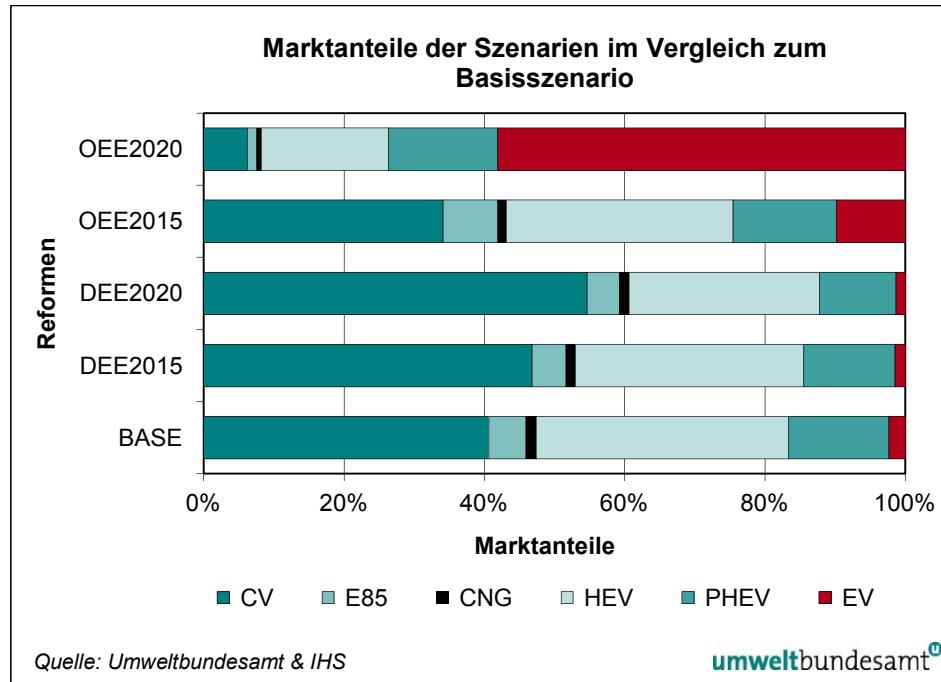
PHEV..... Plug-in-Hybrid-Fahrzeug

EV..... Elektrofahrzeug

Aus Tabelle 33 ist ersichtlich, dass neben den Treibstoffpreiserhöhungen (FC) vor allem die Erhöhung des Anteils an umweltbewussten Menschen (ENV) und eine Reichweitenerhöhung (RA) mit gleichzeitigem Ausbau der Ladestelleninfrastruktur den größten Effekt auf die Marktanteile der EV haben.

4.5.1.2 Effekte der beiden Szenarien auf die Sample-Marktanteile

Bei den zwei Szenarien für mögliche Entwicklungen zeigt sich deutlich, dass ohne weitere Maßnahmen – selbst bei entsprechendem Angebot an Fahrzeugen – der Anteil an Elektrofahrzeugen nicht ansteigt (siehe Abbildung 8). Den größten Effekt haben hier die bewusstseinsbildenden Maßnahmen sowie die Erhöhung der Reichweite und der Ausbau des Tankstellennetzes für EV. Es zeichnet sich aus den betrachteten Szenarien ab, dass die CNG und E85-Fahrzeuge in keinen der betrachteten Szenarien eine wirkliche Alternative für die Befragten darstellen. Vielmehr können die HEV als wirkliche Substitute für die fossilen Fahrzeuge betrachtet werden und die PHEV-Fahrzeuge stellen – neben den EV – vor allem für umweltbewusste Menschen eine Alternative dar.



CV konventionelles Fahrzeug
 E85 E85-Fahrzeug
 CNG Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug
 HEV Hybrid-Fahrzeug
 PHEV Plug-in-Hybrid-Fahrzeug
 EV Elektrofahrzeug

Abbildung 8: Marktanteile der Szenarien.

4.5.2 Wirkungen der Reformen nach Urbanisierungsgrad

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Effekte ausgewählter Reformen nach Urbanisierungsgrad ausgewertet. Die Zuteilung erfolgt gemäß der Definition der Europäischen Union¹⁷ in drei Urbanisierungsgrade:

- URB1 – dicht besiedelte Gebiete (Städte)
- URB2 – mittlere Dichte (Vororte)
- URB3 – dünn besiedelt (ländliche Gebiete)

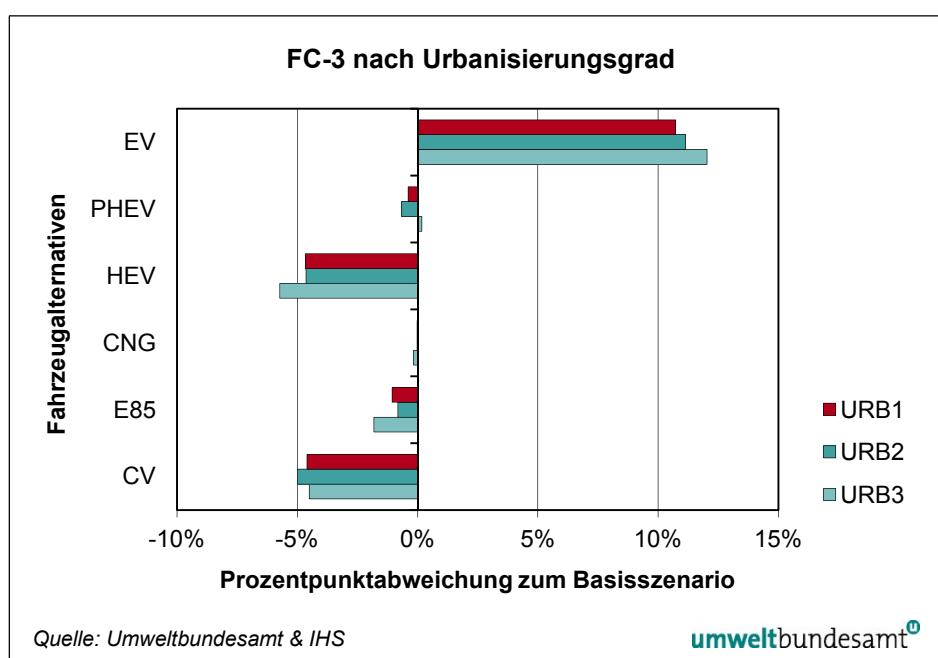
¹⁷ http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_DEGURBA

Aufgrund der Gestaltung des erhobenen Datensatzes kann den Postleitzahlen im Sample der Urbanisierungsgrad nach Europäischer Kommission und Statistik Austria¹⁸ zugeordnet werden. Somit können die Auswirkungen der folgenden Maßnahmen nach Urbanisierungsgrad ausgewertet werden.

1. Treibstoffpreiserhöhungen, um zu untersuchen ob die Kaufwahrscheinlichkeiten nach Region unterschiedlich sind (FC-3),
2. Reichweiten-Erhöhungen und Ausbau der Ladeinfrastruktur (RA-1 und RA-2),
3. bewusstseinsbildende Maßnahmen (ENV-1, ENV-2).

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Reformen, ausgewertet nach Urbanisierungsgrad, beschrieben. Die Darstellung bezieht sich auf die Prozentpunktabweichungen zum Referenzszenario und spiegelt wider, um wieviel Prozentpunkte sich die Marktanteile nach der Reform verändern.

Urbanisierungsgrad



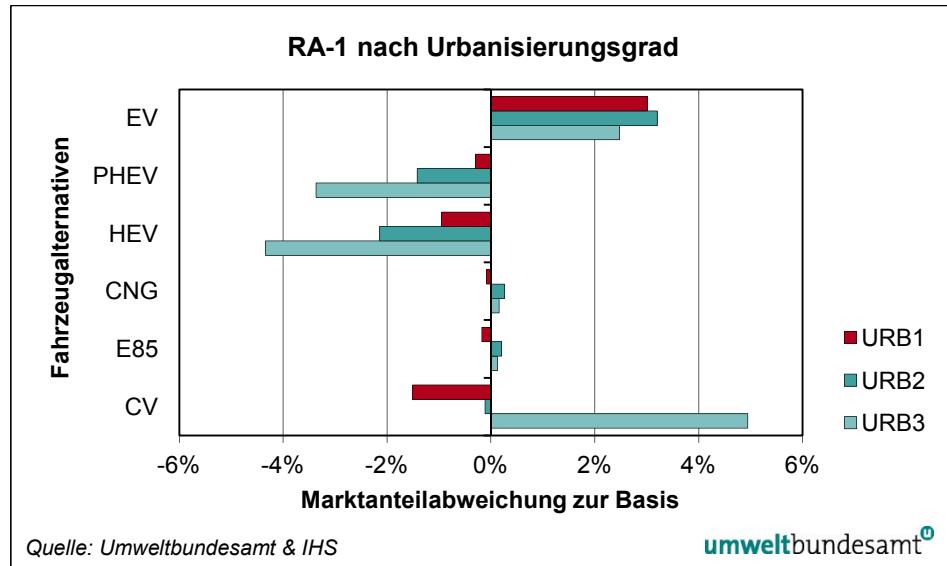
CV..... konventionelles Fahrzeug E85 E85-Fahrzeug
 CNG..... Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug HEV Hybrid.Fahrzeug
 PHEV..... Plug-in-Hybrid-Fahrzeug EV..... Elektrofahrzeug

Abbildung 9: Veränderung der Marktanteile durch Treibstoffpreisänderungen (FC-3) nach Urbanisierungsgrad.

Bei der Abbildung der Effekte einer Treibstoffpreisänderung auf die Marktanteile (siehe Abbildung 9) ist ersichtlich, dass der Effekt in ländlichen Gebieten am größten ist.

Treibstoff- preisänderung

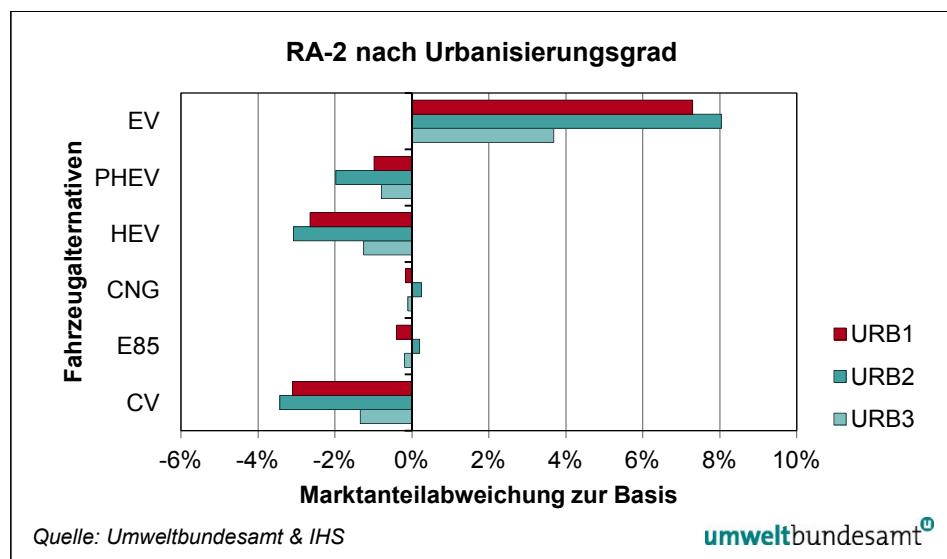
¹⁸ Statistik Austria hat die Codes den österreichischen Postleitzahlen zugeordnet (STATISTIK AUSTRIA, 2012 http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/stadt_land/index.html).



CV konventionelles Fahrzeug E85 E85-Fahrzeug
 CNG Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug HEV Hybrid-Fahrzeug
 PHEV Plug-in-Hybrid-Fahrzeug EV Elektrofahrzeug

Abbildung 10: Veränderung der Marktanteile durch Reichweitenänderung (RA-1) nach Urbanisierungsgrad.

- Reichweiten und Ladestellen** Reichweitenerhöhungen der EV auf 500 km wie in der Reform RA-1 hat einen höheren Effekt in Städten und Vororten mit mittlerer Dichte (URB1 und URB2). Ein zusätzlicher Ausbau der Ladestelleninfrastruktur (RA-2) hat das höchste Potenzial in Vororten mit mittlerer Dichte (URB2) (siehe Abbildung 11).

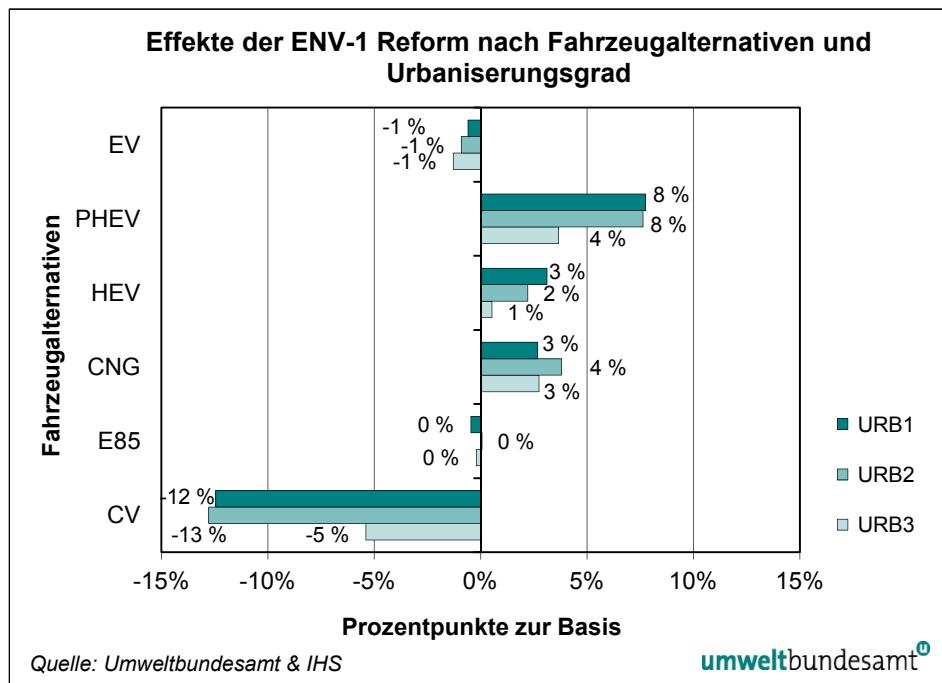


CV konventionelles Fahrzeug E85 E85-Fahrzeug
 CNG Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug HEV Hybrid-Fahrzeug
 PHEV Plug-in-Hybrid-Fahrzeug EV Elektrofahrzeug

Abbildung 11: Veränderung der Marktanteile durch Reichweitenänderung (RA-2) nach Urbanisierungsgrad.

Bewusstseinsbildende Maßnahmen, die den Anteil der umweltbewussten Menschen erhöhen, haben je nach Fahrzeugkategorie eine unterschiedliche Wirkung auf den Marktanteil. Während eine 15 %ige Erhöhung der umweltbewussten Menschen vor allem den Anteil der PHEV in Städten und Vororten mit mittlerer Dichte erhöhen (URB1 und URB2; siehe Abbildung 12), führt ein Zuwachs an umweltbewussten Menschen auf 50 % (siehe Abbildung 13) zu einer Erhöhung der PHEV und der EV, wobei diese Maßnahmen ebenfalls vor allem in Städten und mittel besiedelten Vororten wirken.

Umweltbewusstsein



CV..... konventionelles Fahrzeug

E85..... E85-Fahrzeug

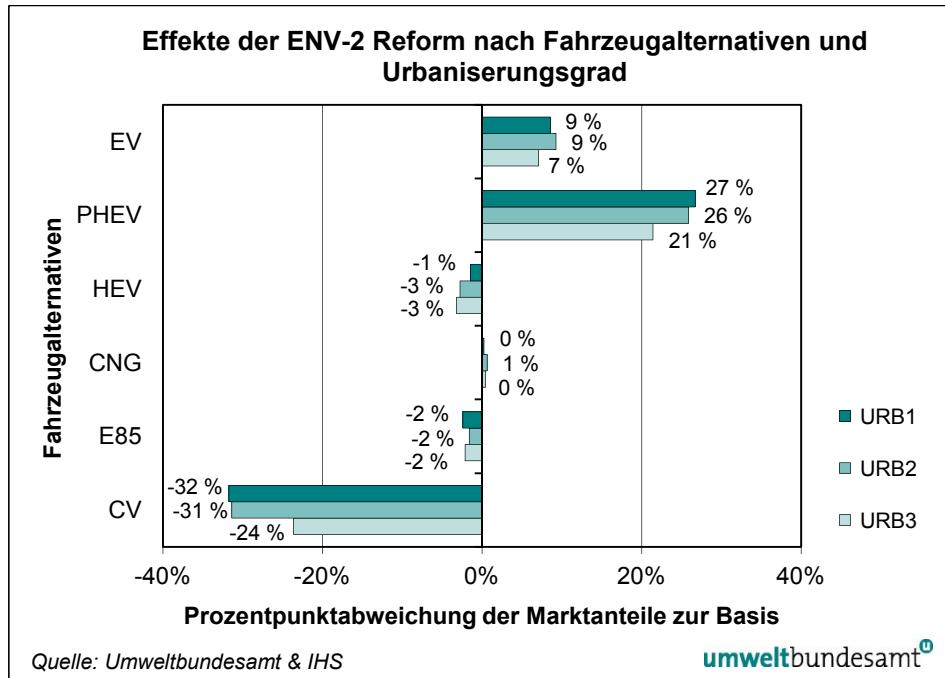
CNG..... Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug

HEV..... Hybrid.Fahrzeug

PHEV..... Plug-in-Hybrid-Fahrzeug

EV..... Elektrofahrzeug

Abbildung 12: Marktanteilpotenziale aufgrund einer Erhöhung der umweltbewussten Menschen im Sample um 15 % nach Fahrzeugalternativen und Urbanisierungsgrad.



CV konventionelles Fahrzeug
 E85 E85-Fahrzeug
 CNG Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug
 HEV Hybrid-Fahrzeug
 PHEV Plug-in-Hybrid-Fahrzeug
 EV Elektrofahrzeug

Abbildung 13: Veränderung der Marktanteile bei Erhöhung des Anteils an umweltbewussten Menschen um 50 %.

4.5.3 Emissions- und Energiepotenzial der Reformen

In diesem Kapitel erfolgt eine Umweltbewertung der Maßnahmen. Zum einen werden die Reformen hinsichtlich der direkten Emissionen und des direkten Energieverbrauchs bewertet (siehe Kapitel 4.5.3.1). Daraus lassen sich jene Maßnahmen identifizieren, die dazu beitragen, die direkten Emissionen und den direkten Energieverbrauch des Verkehrssektors in Österreich zu senken. Die Betrachtung der direkten Emissionen und des direkten Energieverbrauchs ist ausreichend, sollen diese nur in der Gebrauchsphase des Verkehrssektors reduziert werden. Dieser Betrachtungsansatz ist für die Emissionsreduktionen im Rahmen des Kyoto-Protokolls relevant. Werden die Emissionen aber nur nach der Systematik des Kyoto-Protokolls bewertet, kann es zu Verlagerungen der Emissionen in andere Länder kommen, da nur die Emissionen innerhalb der nationalen Grenzen von Relevanz sind.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung lautet das Ziel daher, die globalen Emissionen und den globalen Energieverbrauch zu minimieren, des Weiteren sollen Verlagerungen der Emissionen in andere Länder berücksichtigt werden. Demzufolge ist eine Fokussierung auf die direkten Emissionen und Energieverbräuche nicht ausreichend. Daher werden in den folgenden Kapiteln die untersuchten Reformen auch hinsichtlich ihrer gesamten Emissionen und Energieverbräuche entlang des Lebensweges der Fahrzeuge bewertet. Dazu wird die Methode der Ökobilanz angewendet (siehe Kapitel 3.5).

Basis der Umweltbewertung sind die Marktanteile der Stichprobe des untersuchten Fahrzeugmarktes 2013 (= Referenzszenario). Um Aussagen über die Wirkung der Reformen auf die Emissions- und Energieniveaus auf Österreich und die Bundesländer Wien, Niederösterreich und Burgenland treffen zu können, müssen die Marktanteile der Stichprobe gewichtet werden. Als Gewichte werden die Bevölkerungszahl, der Urbanisierungsgrad und die Neuzulassungen nach Fahrzeugsegment herangezogen. Die Aufteilung nach den unterschiedlichen Regionen ist für eine umfassende Bewertung der Reformen sinnvoll, da sich die Fahrzeugbestände und Neuzulassungen pro Region unterscheiden und die Reformen unterschiedlich wirken können. Die gewichteten Marktanteile fließen in die regionalen Bilanzierungsmodelle des EEA-Modells (siehe Kapitel 3.5) ein. Als Ergebnis liegt der jährliche Fahrzeugbestand nach Fahrzeugsegmenten und Alternativen sowie die CO₂-, NO_x-, PM- und Energieeinsparungen nach den Regionen vor.

4.5.3.1 Direkte Emissions- und Energieeffekte der Maßnahmen

In Tabelle 34 sind die Energie- und Emissionseinsparungen für das Referenzszenario für die Flotten der Regionen Österreich, Wien, Niederösterreich und Burgenland dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass das Referenzszenario einen hypothetischen Fahrzeugmarkt abbildet, der in Kapitel 4.2.1 beschrieben ist. Die Potenzialabschätzung hinsichtlich des Emissions- und Energieverbrauchs im Referenzszenario erfolgt durch Substitution der fossilen Fahrzeuge durch alternativ betriebene Fahrzeuge bei den Neuzulassungen in der jeweiligen Flotte.¹⁹ Tabelle 34 bildet somit ein hypothetisches Potenzial für den Fahrzeugmarkt 2013 ab, wobei die Einsparungen gegenüber der Flottenzusammensetzung 2011 gerechnet wurden. Das ausgewiesene Potential bildet somit das technologische Potential der Maßnahmen ab.

Tabelle 34: Direkte Emissions- und Energieeinsparungen im Referenzszenario für die vier Flotten Österreich, Wien, Niederösterreich, Burgenland [absolut], 2013.

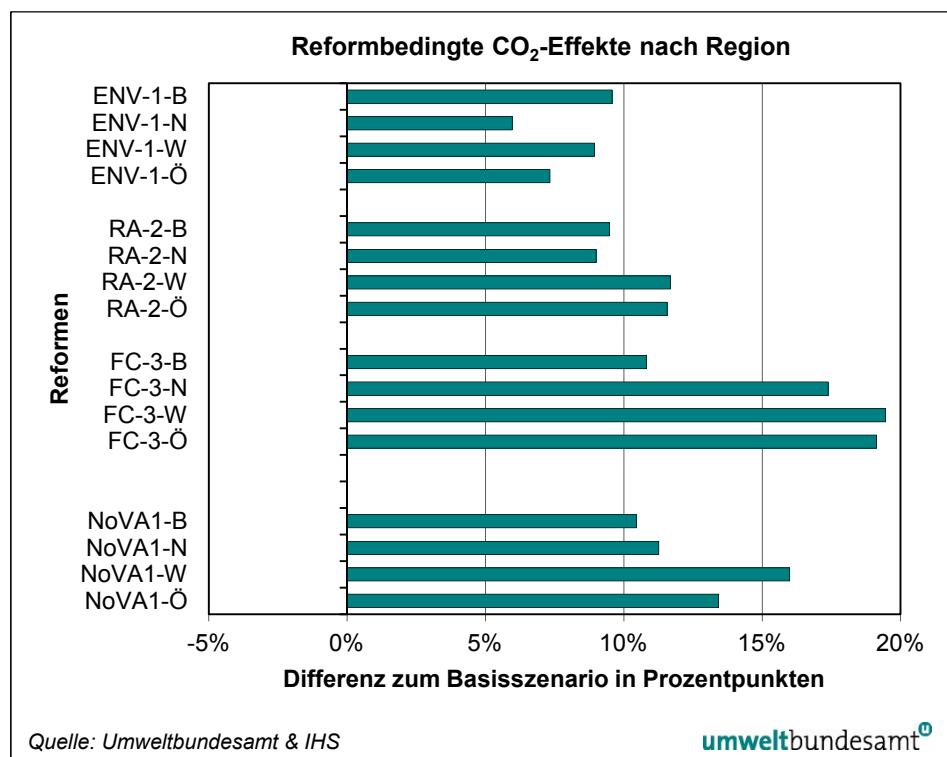
	CO ₂ [t/Jahr]	Energie [GWh/Jahr]	NO _x [T/Jahr]	PM [t/Jahr]
Österreich	185.968	332	1.198	1,5
Wien	45.675	71	357	0,31
Niederösterreich	46.545	75	341	0,34
Burgenland	12.412	7,8	109	0,06

Methode der Ökobilanz

Gewichtung der Marktanteile

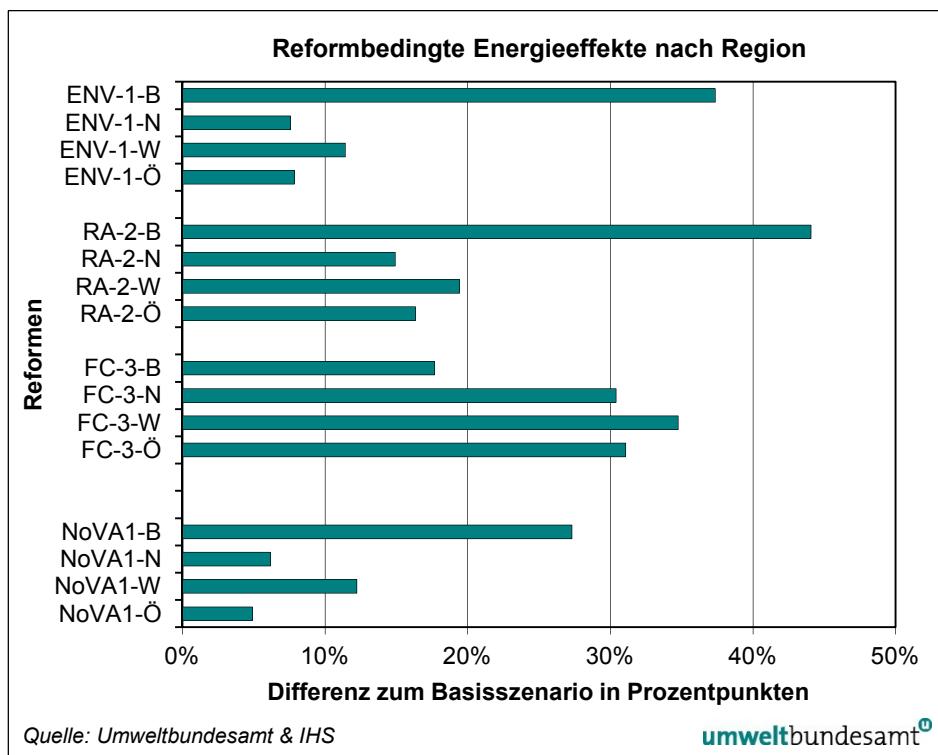
¹⁹ Referenzbezug für das Referenzszenario ist die regionale Flottenentwicklung, basierend auf den Neuzulassungen für das Jahr 2011.

Soll der Effekt der einzelnen Maßnahmen untersuchen werden, so wird am besten die relative Veränderungen der Reformen zum Fahrzeugmarkt 2013 (= Referenzszenario) betrachtet. Diese sind für die CO₂-Emissionen in Abbildung 14 dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass bewusstseinsbildende Maßnahmen, die den Anteil der Umweltbewussten um 15 % erhöhen (ENV-1), die größte Wirkung im Burgenland haben. Dies scheint realistisch, da im Burgenland die größte Autodichte herrscht. Das Potenzial dieser Maßnahme bei den direkten CO₂-Emissionen beträgt etwa 10 Prozentpunkte gegenüber dem Fahrzeugmarkt 2013 (= Referenzszenario). Durch einen Anstieg der Treibstoffpreise (FC-3) können die meisten CO₂-Emissionen in Wien eingespart werden (etwa 19 Prozentpunkte). Aber auch die Einführung eines CO₂-basierten Bonus-Malus-Systems (NoVA1) verringert die CO₂-Emissionen in Wien um etwa 16 Prozentpunkte.



Ö Österreich
 W Wien
 B Burgenland
 N Niederösterreich

Abbildung 14: Reformbedingte CO₂-Effekte nach Regionen, in Prozentpunkten zum Referenzszenario.



Ö.....Österreich

W.....Wien

B.....Burgenland

N.....Niederösterreich

Abbildung 15: Reformbedingte direkte Energieeffekte nach Regionen, in Prozentpunkten zum Referenzszenario.

Vergleicht man die Reformen hinsichtlich ihres direkten Energieeinsparungspotenzials, so wird ersichtlich, dass die Reformen ENV-1, RA-2 und NoVA1 ebenfalls vor allem im Burgenland zu hohen Einsparungen beim direkten Energieverbrauch führen können (siehe Abbildung 15). So kann eine Reichweiterhöhung der EV (RA-2) mit gleichzeitigem Ausbau der Tankstelleninfrastruktur nach den Simulationen den direkten Energieverbrauch um 44 Prozentpunkte gegenüber dem Basiswert verringern. Die positiven und negativen Potenziale der einzelnen Reformen in absoluten Zahlen werden in Tabelle 35 zusammengefasst.

Tabelle 35: Reformbedingte direkte Emissions- und Energieeinsparungen im Vergleich zum Referenzszenario [absolut].

	CO ₂ [t/Jahr]	Energie [GWh/Jahr]	NO _x [T/Jahr]	PM [t/Jahr]
Österreich				
NoVA1	24.979	16	48	0,2
FC-3	35.570	103	88	0,6
RA-2	21.497	54	14	0,3
ENV-1	13.636	26	141	0,1
Wien				
NoVA1	7.303	9	21	0,1
FC-3	8.887	25	-17	0,2
RA-2	5.335	14	9	0,1
ENV-1	4.084	8	44	0,0
Niederösterreich				
NoVA1	5.244	4,6	10,3	0,04
FC-3	8.088	22,7	15,6	0,12
RA-2	4.189	11,1	2,0	0,06
ENV-1	2.777	5,7	33	0,01
Burgenland				
NoVA1	1.297	2,1	0,2	0,01
FC-3	1.344	4,7	3,2	0,02
RA-2	1.177	3,4	-2,9	0,02
ENV-1	1.189	2,9	6,8	0,01

4.5.3.2 Gesamtheitliche Betrachtung der Energie- und Emissionseinsparungen (LCA-Betrachtung)

Die Betrachtung der Umwelteffekte nach den gesamten Emissionen und Energieverbräuchen liefert aufgrund der höheren Emissionsfaktoren geringere Effekte für das Einsparungspotenzial als die Betrachtung nach den direkten Emissionen.

Anstieg der PM-Emissionen

Während es bei allen betrachteten Indikatoren zu Einsparungen durch die Reformen kommt, so nicht bei den PM-Emissionen. Hier kommt es zu einem Anstieg der PM-Emissionen durch die Erhöhung des Anteils elektrifizierter Fahrzeuge in der Flotte (Tabelle 36). Durch den Stromverbrauch kommt es zu höheren PM-Emissionen. Die durchgeführten Bilanzierungen beruhen auf Berechnungen unter Verwendung des österreichischen Stromparks. Dieser besteht zu 67 % aus erneuerbaren Energieträgern, wovon etwa 0,04 % aus Photovoltaik stammt (E-CONTROL 2010). Unter Berücksichtigung der Ökobilanzen von Photovoltaikanlagen wird ersichtlich, dass für die Herstellung der derzeit handelsüblichen mono- und polykristallinen Solarzellen Silicium als Halbleitermaterial verwendet wird. Silicium wird aus Quarzsand gewonnen, wobei beim Abbau von Quarz erhebliche PM-Emissionen entstehen (GEMIS 4.7). Diese werden letztendlich bei der Betrachtung der gesamten Emissionen sichtbar. Laut aktuellem Forschungstand kann die Verwendung von Dünnschichtsolarzellen eine Lösung des Problems darstellen. Diese verringern – zumindest theoretisch und in Pilot-

versuchen – den Material- und Energieeinsatz bei der Herstellung von Photovoltaikmodulen. Außerdem ergaben Pilotuntersuchungen eine Erhöhung des Wirkungsgrades (FVEE 2010).

Tabelle 36: Gesamte Energie- und Emissionseinsparungen nach Region im Referenzszenario [absolut].

	CO ₂ [t/Jahr]	Energie [GWh/Jahr]	NO _x [T/Jahr]	PM [t/Jahr]
Österreich	121.786	582	1.077	-60

In Tabelle 37 sind die absoluten Zahlen für Österreich angegeben.

Tabelle 37: Reformbedingte gesamte Emissions- und Energieeinsparungen im Vergleich zum Referenzszenario [absolut].²⁰

	CO ₂ [t/Jahr]	Energie [GWh/Jahr]	NO _x [t/Jahr]	PM [t/Jahr]
Österreich				
NoVA1	25.284	110	44	7
FC-2	514	2	-10	6
FC-3	58.823	247	154	38
RA-2	37.540	161	57	27
ENV-1	9.622	3	140	-4

Tabelle 38: Bestände der alternativ betriebenen Fahrzeuge für die österreichische Flotte [im Jahr 2013].

Bestände der alternativen Fahrzeugen für die österreichische Flotte im Jahr 2013					
	EV	PHEV	HEV	CNG	Gesamt
NoVA1	33.818	69.981	86.072	28.838	30.340 249.048
FC-2	27.082	67.259	89.470	27.807	24.871 236.489
FC-3	47.301	71.934	81.944	28.268	22.708 252.156
RA-2	40.177	57.517	97.448	27.841	23.560 246.544
ENV-1	28.773	74.804	108.147	34.121	24.557 270.402

4.5.4 Effekte der Szenarien DEE und OEE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der beiden Szenarien „Defensive Entwicklung der Elektromobilität (DEE)“ und „Offensive Entwicklung der Elektromobilität (OEE)“ für die österreichische Flotte beschrieben. Der Betrachtungszeitraum ist 2010–2020. Die Annahmen zu den Szenarien sind in Kapitel 4.4 dargestellt.

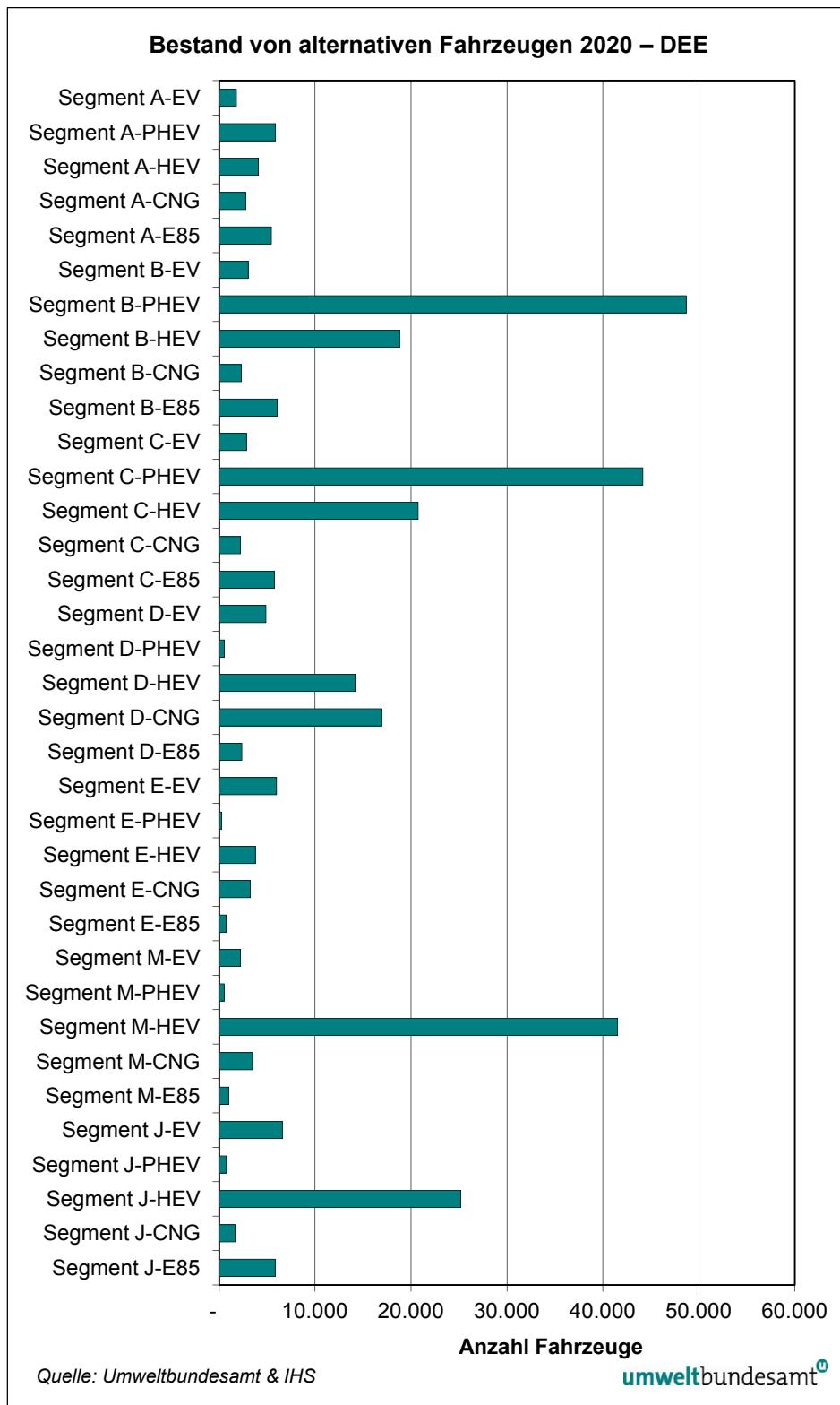
²⁰ Aufgrund der höheren Emissionsfaktoren bei der Betrachtung der gesamten Emissionen und Energieverbräuche ist das Einsparungsniveau höher als bei der direkten Betrachtung. In Summe sind die Emissionen und Energieverbräuche aber niedriger als bei Betrachtung der direkten Emissions- und Energieverbräuche.

Gemäß den Annahmen zum Szenario DEE (Minimalszenario) kommt es im Jahr 2020 zu einem Bestand an alternativen Fahrzeugen von etwa 310.000 Fahrzeugen. Die Aufteilung dieses Bestandes nach Segmenten ist in Abbildung 16 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass in diesem Szenario im Jahr 2020 vor allem im Segment Kleinwagen (B) und Mittelklasse (C) die meisten PHEV-Fahrzeuge nachgefragt werden. Im Segment Großraumlimousine (M) und andere (SUV etc.) (J) dominieren vor allem die HEV-Fahrzeuge. Diese Fahrzeugalternativen gelten demnach für diese Segmente als vorrangige Technologieoptionen. Unter diesem Szenario sind die EVs mit etwa 5.000 Stück noch eher für KäuferInnen des Segments Oberklasse (E) am attraktivsten.

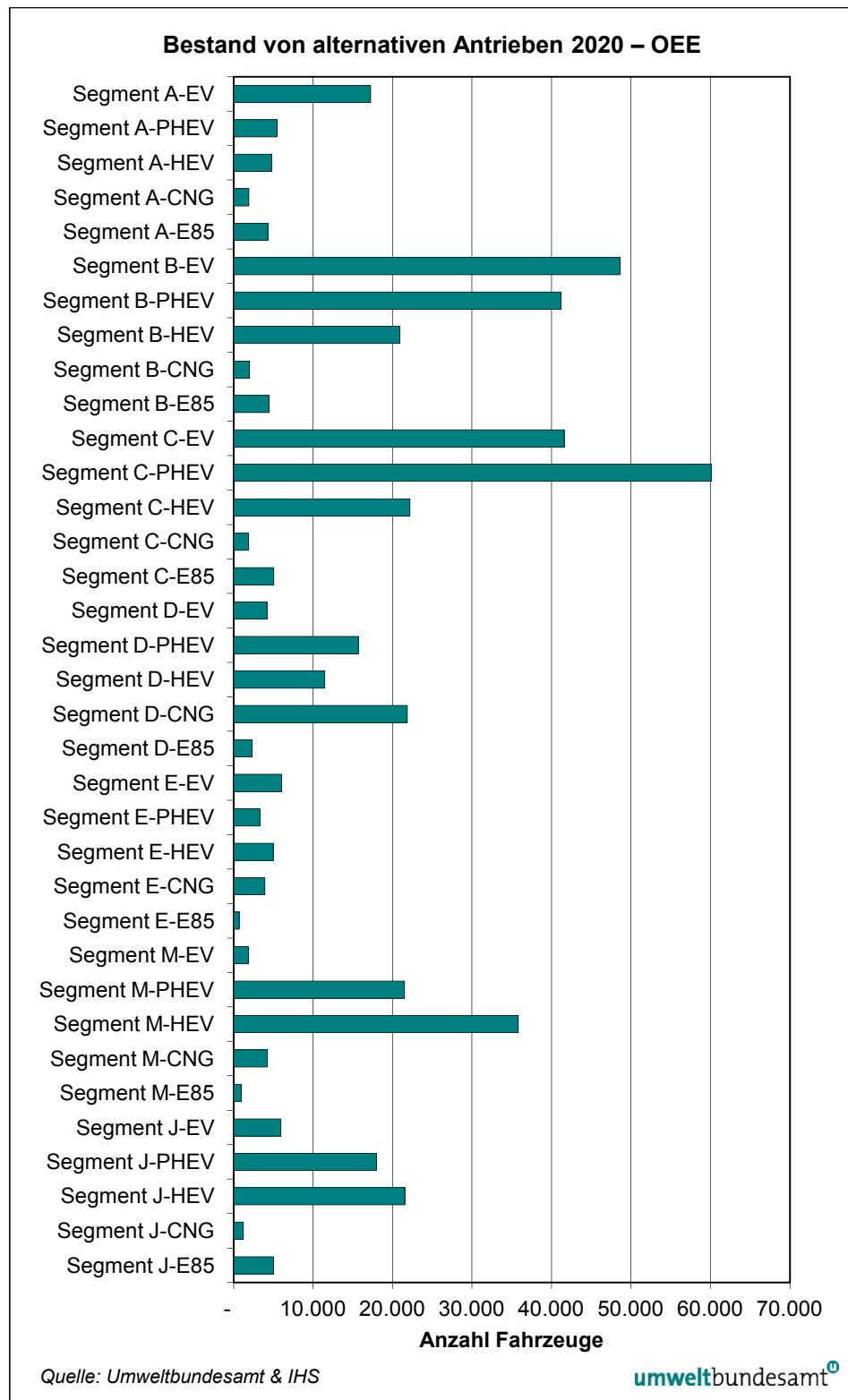
Wird das DEE- mit dem OEE-Szenario verglichen, so kommt es beim OEE (Maximalszenario) zu einem Bestand an alternativen Fahrzeugen von etwas weniger als 470.000 Fahrzeugen. Somit erwirken die verschiedenen Maßnahmen im OEE einen Anstieg der alternativen Fahrzeuge um etwa 51 % gegenüber dem DEE.

In dem Maximalszenario sind die Anteile der EV deutlich höher als im DEE-Szenario. Aus Abbildung 17 ist ersichtlich, dass EV vor allem für die Segmente Kleinstwagen (A), Kleinwagen (B) und Mittelklasse (C) wirkliche Alternativen darstellen, hier finden sich die höchsten Bestände. Am attraktivsten ist das EV für das Segment B (Kleinwagen), hier beträgt der Bestand etwa 48.000 Fahrzeuge im Jahr 2020. Bei den größeren Segmenten überwiegt das HEV als Option gegenüber den fossilen Fahrzeugen.



CV..... konventionelles Fahrzeug E85 E85-Fahrzeug
 CNG..... Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug HEV Hybrid-Fahrzeug
 PHEV..... Plug-in-Hybrid-Fahrzeug EV..... Elektrofahrzeug

Abbildung 16: Bestand an alternativen Fahrzeugen nach Segment im Jahr 2020 nach dem DEE-Szenario.



CV konventionelles Fahrzeug E85..... E85-Fahrzeug
 CNG Biogas- (Erdgas-) Fahrzeug HEV..... Hybrid-Fahrzeug
 PHEV Plug-in-Hybrid-Fahrzeug EV Elektrofahrzeug
Abbildung 17: Bestand der alternativen Fahrzeuge im Jahr 2020 (OEE-Szenario).

In Tabelle 39 sind die Bestandsentwicklungen beider Szenarien abgebildet.

Tabelle 39: Bestandsentwicklung alternativer Fahrzeuge in beiden Szenarien (DEE=Minimalszenario) und OEE (Maximalszenario).

Jahr	DEE	OEE
2012	46.046	46.046
2013	85.665	92.156
2014	123.690	137.773
2015	160.205	182.955
2016	195.290	237.577
2017	227.657	293.145
2018	258.745	351.624
2019	288.623	412.963
2020	310.383	467.473

Die Energieverbräuche und Emissionseinsparungen der beiden Szenarien sind in Tabelle 40 dargestellt.

Tabelle 40: Kumulierte direkte und Gesamteinsparungen der beiden Szenarien DEE (Minimalszenario) und OEE (Maximalszenario) (2010–2020).

kumulierte direkte Einsparungen				
Österreich	CO ₂ [t/Jahr]	Energie [GWh/Jahr]	NO _x [t/Jahr]	PM [t/Jahr]
DEE	1.467.753	2.248	9.452	11,5
OEE	2.266.880	4.074	12.202	21,5
kumulierte Gesamteinsparungen				
DEE	946.945	4.595	8.425	-445
OEE	1.866.123	8.513	11.614	-140

Auf 10 Jahre gerechnet bringt das OEE-Szenario hinsichtlich der direkten kumulierten CO₂-Einsparungen ein jährliches Einsparungspotenzial von 227.000 t CO₂. Vergleicht man dies mit den jährlichen direkten CO₂-Emissionen aus dem Jahr 2010, so entspricht dies etwa 2 %.

Wird das Einsparungspotenzial der direkten NO_x-Emissionen pro Jahr betrachtet so ergibt sich ein jährliches Einsparungspotenzial im OEE-Szenario von etwa 1.200 t pro Jahr, dies entspricht etwa 4 % der NO_x-Emissionen aus dem Jahr 2010.

Beim direkten Energieverbrauch kommt es beim OEE-Szenario zu Einsparungen von etwa 1 % und bei den direkten PM-Emissionen von 0,2 % im Bezug zum Ausstoß im Jahr 2010.

CO₂-Einsparungspotenzial

NO_x-Einsparungspotenzial

4.5.5 Auswirkungen des Einsatzes von EV auf die Lärmsituation

Die Geräuschemissionen aus dem Straßenverkehr setzen sich im Wesentlichen aus dem Antriebs- und dem Abrollgeräusch zusammen, bei hohen Geschwindigkeiten können auch Strömungsgeräusche auftreten.

Die Antriebsgeräusche werden durch Motor, Getriebe sowie Ansaug- und Auspuffvorrichtungen verursacht und hängen in erster Linie vom Betriebszustand des Motors ab, nicht aber direkt von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Demgegenüber sind die Abrollgeräusche direkt von der Geschwindigkeit abhängig. Für das Abrollgeräusch spielen auch das Fahrzeuggewicht, der Fahrbahnbelag und die Eigenschaften des Reifens eine Rolle.

**vorwiegend
Abrollgeräusche** Elektro-Fahrzeuge weisen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschinen ein deutlich geringeres Antriebsgeräusch auf, die Gesamtemission des E-Fahrzeugs wird daher maßgeblich vom Rollgeräusch geprägt. Durch das Berücksichtigen lediglich des Rollgeräuschanteils für Elektro-Fahrzeuge können also Aussagen über die zu erwartenden Änderungen der Lärmsituation abgeleitet werden. Die nachfolgenden Darstellungen beziehen sich immer auf Pkw.

In vielen Berechnungsvorschriften für Straßenverkehrslärm (z. B. der in Österreich anzuwendenden Richtlinie RVS 04.02.11) wird von der Gesamtemission des Fahrzeugs ausgegangen. Eine Unterscheidung zwischen Antriebs- und Rollgeräusch wird aber beispielsweise im Schweizer Berechnungsmodell SonRoad getroffen.

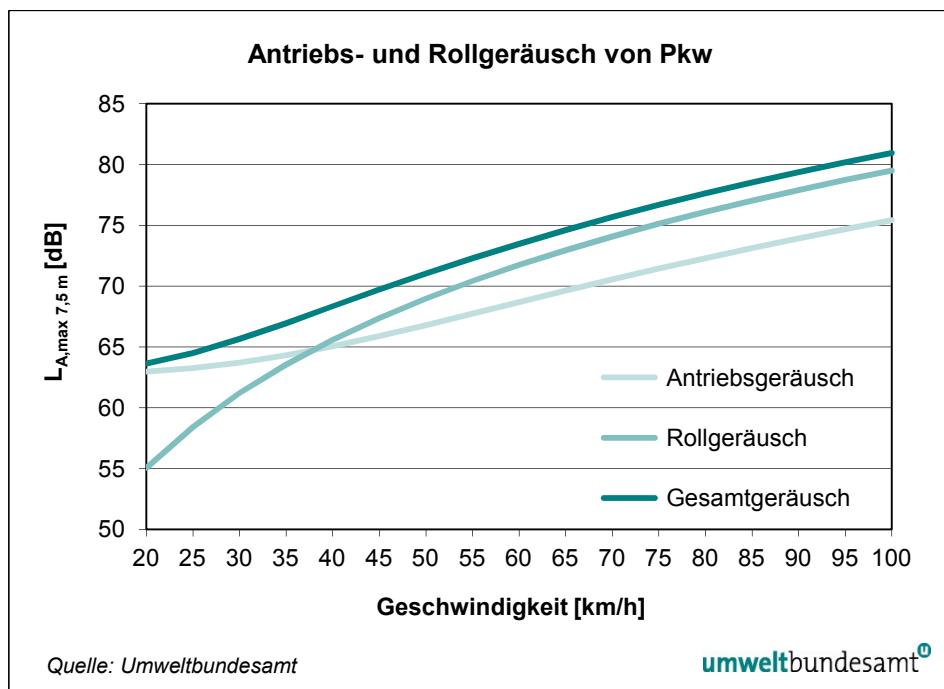


Abbildung 18: Antriebs- und Rollgeräusche von Pkw.

Auch die gemeinsame europäische Rechenvorschrift CNOSSOS (Common NOise ASSEssment MethOdS in EU) bildet im aktuellen Entwurf einen vergleichbaren Zusammenhang zwischen Antriebs- und Rollgeräusch ab. Da diese Rechenvorschrift noch nicht öffentlich zur Verfügung steht wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Die dargestellten SonRoad-Daten beziehen sich auf ein durchschnittliches Fahrzeug. Man beachte, dass im Vergleich zum maximalen Vorbeifahrtpegel beim Mittelungspegel die Geschwindigkeitsabhängigkeit geringer ist als für den maximalen Vorbeifahrtpegel. Da das jedoch sowohl für das Roll- wie auch für das Antriebsgeräusch gilt sind die nachfolgenden Ausführungen gleichermaßen zu treffend.

- Aus Abbildung 18 ist ersichtlich, dass Antriebs- und Abrollgeräusch von Pkw in einem Geschwindigkeitsbereich von 35-40 km/h in etwa gleich hoch sind. Wenn für EV nur das Rollgeräusch maßgebend ist, so weisen sie in diesem Bereich einen Gesamtgeräuschpegel auf, der um ca. 3 dB niedriger ist als der Wert von Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschinen. (Die energetische Addition von zwei gleich großen Teilschalldruckpegeln ergibt einen Wert, der um 3 dB höher als die beiden Teilschalldruckpegel ist.)
- Bei Geschwindigkeiten unter dem Bereich von 35–40 km/h überwiegt bei konventionellen Fahrzeugen das Antriebsgeräusch. Es ist davon auszugehen, dass E-Fahrzeuge daher gerade in diesem Geschwindigkeitsbereich einen deutlichen Vorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen besitzen.
- Bei höheren Geschwindigkeiten wiederum überwiegt das Rollgeräusch. Für dieses sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen EV und konventionellen Fahrzeugen zu erwarten, EV haben daher in diesem Geschwindigkeitsbereich nur noch einen kleineren Vorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen.

Die obigen Aussagen stützen sich auf die im Berechnungsmodell SonRoad getroffene Quellenaufteilung, durchgeführte Messungen an EV weisen jedoch in die gleiche Richtung. Nachfolgend sind beispielhaft die Ergebnisse entsprechender Messungen dargestellt:

Das Vorbeifahrgeräusch von 20 EV und 20 konventionellen Fahrzeugen wurde im Rahmen des Fahrversuchs mit Elektrofahrzeugen „VLOTTE“ in Vorarlberg für die Geschwindigkeiten 30 km/h und 50 km/h sowie Stop-and-Go-Verkehr untersucht. Es ist zu berücksichtigen, dass die konventionellen Fahrzeuge zum Teil deutlich größer waren als die EV. Die festgestellten Pegeldifferenzen für den energieäquivalenten Dauerschallpegel lagen bei (WACHTER 2009):

- 3 bis 4 dB für 30 km/h
- 2 bis 3 dB für 50 km/h
- 7 bis 8 dB für Stop-and-Go-Verkehr.

Die TAS (Sachverständigenbüro für Technische Akustik SV-GmbH) führte im Jahr 2009 Vergleichsmessungen von einem EV und mehreren konventionellen Fahrzeugen im Geschwindigkeitsbereich von 30–60 km/h und für einen simulierten Ampelstopp (als Kombination aus Abfahrt und Stand im Leerlauf) durch. Folgende Unterschiede des Einzelereignispegels (Vorbeifahrt) bzw. des Dauerschallpegels (Ampelstopp) zwischen EV und konventionellem Fahrzeug wurden ermittelt (DOPPLER 2008):

- 2 bis 3 dB für den Geschwindigkeitsbereich 30 bis 50 km/h
- 14 bis 15 dB für den Ampelstopp (30 Sekunden Leerlauf, 10 Sekunden Anfahrt).

**Lärmreduktion
mindestens um
2–3 dB möglich**

Es erscheint gut abgesichert, dass für den innerstädtischen Verkehr jedenfalls eine Lärmminderung um mindestens 2–3 dB lukriert werden kann. Insbesondere in Bereichen mit Stop-and-Go-Verkehr bzw. an Kreuzungen ist aber eine deutlich höhere Pegelabnahme zu erwarten. Das in den Darstellungen beschriebene Ausmaß der Pegelabnahme kann aber nur bei vollständigem Ersatz aller Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmaschinen durch EV ausgeschöpft werden. Setzt sich die Flotte sowohl aus konventionell betriebenen Fahrzeugen als auch aus E-Fahrzeugen zusammen, so ist die Pegelabnahme geringer. Die Abnahme hängt unmittelbar – aber nicht linear – vom Anteil der E-Fahrzeuge ab.

Der Einfluss des EV-Anteils an der Gesamtflotte auf die erzielte Pegelminde rung soll anhand einer angenommenen fahrzeugbezogenen Pegelminderung um 8 dB (Stop-&-Go-Verkehr) veranschaulicht werden.

Für den durch 100 % Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmaschinen verursachten Immissionspegel wird im Beispiel ein Wert von 62 dB angesetzt (Messbericht „VLOTTE“, Messwert in 15 m von der Mittellachse für die Vorbeifahrt von 20 Fahrzeugen, k. A. der Fahrzeugfrequenz); für 100 % EV ergibt sich damit ein Wert von 54 dB. Die Höhe dieser beiden Werte ist nur beispielhaft – die Immissionspegel sind letztendlich auch stark von der Verkehrsstärke, dem Abstand des Immissionsortes von der Straßenachse usw. abhängig. Der Immissionswert liegt für eine aus EV und konventionellen Fahrzeugen zusammengesetzte Flotte zwischen diesen Werten, ist aber aufgrund der logarithmischen Pegeladdition nicht linear vom Anteil abhängig. Zusätzlich wird im realen Straßenverkehr auch eine Überlagerung mit Lärmemissionen aus dem Schwerverkehr vorliegen, die das Immissionsseitige Reduktionspotential stark verringern kann.

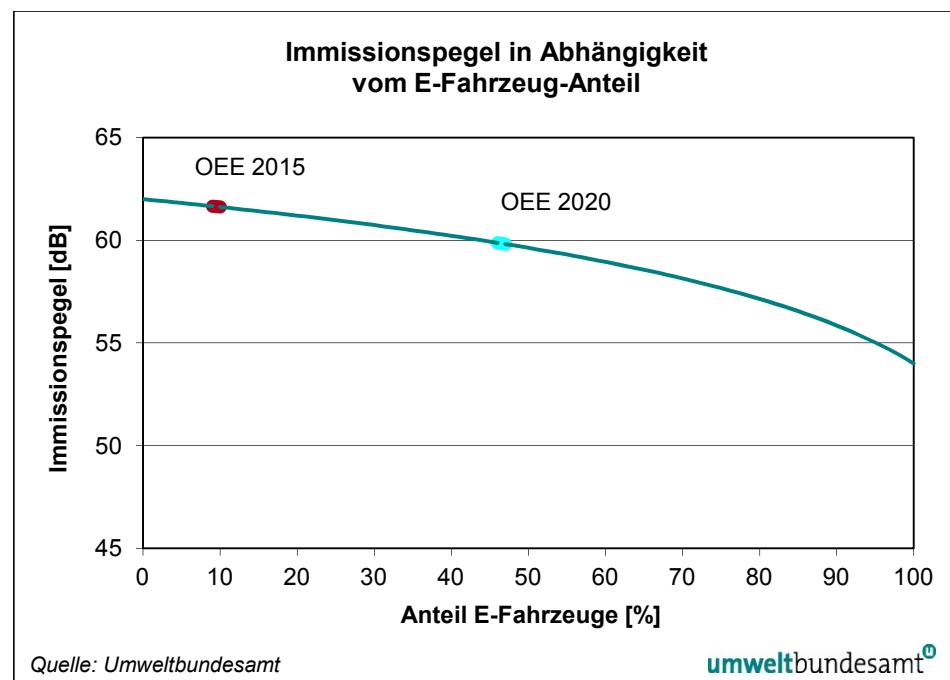


Abbildung 19: Immissionspegel in Abhängigkeit vom EV-Anteil.

Von den insgesamt möglichen 8 dB Reduktion in diesem Beispiel können mit einem EV-Anteil von

- 10 % an der gesamten Pkw-Flotte 0,4 dB,
- 25 % an der gesamten Pkw-Flotte 1,0 dB,
- 50 % an der gesamten Pkw-Flotte 2,4 dB

lukriert werden.

Für das Szenario Offensive Entwicklung Elektromobilität (OEE2020) (siehe Kapitel 4.4) würde dies, nach den Berechnungen, eine db Reduktion von 2,9 für das Jahr 2020 bedeuten.

Eine fahrzeugbezogene Pegelminderung um 8 dB erscheint bei Stop-and-Go-Verkehr realistisch, für die Konstantfahrt bei innerstädtisch üblichen Geschwindigkeiten kann aus oben angeführten Berichten aber nur eine fahrzeugbezogene Pegelminderung in der Größenordnung von 3 dB erwartet werden. In diesem Fall wird eine Abnahme des Immissionspegels um 1 dB erst bei einem Flottenanteil von 40 % erreicht.

Zum Vergleich: Eine Verringerung der Immission um 1 dB entspricht einer Abnahme der Verkehrsstärke um 20 %.

Eine Änderung eines sonst gleichbleibenden Geräusches um 1 dB ist im direkten Vergleich gerade, um 3 dB deutlich wahrnehmbar (siehe dazu z. B. KALIVODA 1998). Eine Änderung des Immissionspegels wird in der Praxis auch in vielen Verfahren als Irrelevanzgrenze herangezogen. Vergleichbar niedrige Anteile an E-Fahrzeugen in der Flotte werden demnach noch keinen maßgebenden Einfluss auf die wahrgenommene Lärmsituation darstellen.

Es darf aber nicht übersehen werden, dass auch schon Änderungen im kaum wahrnehmbaren Bereich bereits rein statistisch eine Abnahme der Betroffenheit durch Lärm bewirken. Die Dosis-Wirkungs-Relationen für Straßenverkehrslärm weisen bei einer Immissionsreduktion um 1 dB im Bereich des Grenzwertes für Straßenverkehrslärm ($L_{den} = 60\text{dB}$) bereits eine Abnahme des Anteils der belästigten Personen von 25,7 % auf 23,9 % aus!

Der Vollständigkeit halber ist noch auf den aktuellen Richtlinienvorschlag der Europäischen Kommission hinzuweisen (KOM(2011) 856), mit welchem zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit Anforderungen in Bezug auf das Mindestgeräusch von Elektrofahrzeugen festgelegt werden sollen. Die durch E-Fahrzeuge erreichbare Lärmreduktion wird letztendlich von diesen „Acoustic Vehicle Alerting Systems“ (AVAS) sowie der Entscheidung, ob sie verpflichtend oder freiwillig eingesetzt werden können, abhängen.

Lärmreduktion von 8 dB bei Stop-and-Go-Verkehr

5 LITERATURVERZEICHNIS

- ACHTNICKT, M. (2009): German Car Buyers' Willingness to Pay to Reduce CO₂ Emissions. ZEW Discussion Paper No. 09-058.
- ACHTNICKT, M.; BÜHLER, G. & HERMELING, C. (2008): Impact of Service Station Networks on Purchase Decision of alternative-fuel Vehicles. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH. Discussion Paper. No. 008–088.
- AHN, J.; JEONG, G. & KIM, Y. (2008): A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicle: A multiple discrete-continuous choice approach. Energy Economics. 2091–2104.
- BLIEMER, M. C.J.; JOHN, M. R. & HESS, S. (2008): Approximation of bayesian efficiency in experimental choice designs. Journal of Choice Modelling, 1(1), pp. 98-127.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie & BMWFJ – Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2012): Elektromobilität in und aus Österreich. Der gemeinsame Weg!
- BROWNSTONE, D.; BUNCH, D.S & TRAIN, K. (2000): Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles. Transportation Research part B. Vol. 34: 315–338.
- CHOICEMETRICS (2012): NGene Documentation. URL:
<http://choice-metrics.com/documentation.html>.
- DAT (2009): DAT-Report 2009. Autohaus. Automobil-Treuhand GmbH.
- DIW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2011): Strompreise: Künftig nur noch geringe Erhöhung durch erneuerbare Energien. DIW. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Wochenbericht Nr. 6/2011.
- DOPPLER, A. (2008): Erhebungen an Personenkraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor bzw. Elektroantrieb TAS Sachverständigenbüro für Technische Akustik, Linz.
- E-CONTROL (2010): Jahresbericht 2010. Energie-Control. Wien.
- Ek – Europäische Kommission & STATISTIK AUSTRIA (2012): Zuordnung Grad der Europäischen Kommission – Gemeinde.
http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_DEGURBA.
- EPRI (2004): Advanced Batteries for Electric-Drive Vehicles A Technology and Cost-Effectiveness Assessment for Battery Electric Vehicles, Power Assist Hybrid Electric Vehicles, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Palo, Alto, CA: 2004.1009299.
- EWING, G. & SARIGÖLLÜ E. (2000): Assessing Consumer Preferences for Clean-Fuel Vehicles: A discrete Choice Experiment. Journal of Public Policy & Marketing. Vol (19): 106–118.
- FVEE – Forschungsverbund Erneuerbarer Energien (2010): Pollawa, M.; Schock, H.W. & Rau, U.: Dünnenschichtsolarzellen. Technologie der Zukunft?
http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2010-2/th2010_11_02.pdf (zuletzt abgefragt am: 06.August 2012).
- GREENE, W. H. (2008): Discrete Choice Modeling. NYU Working Paper No. EC-07-07. URL: <http://ssrn.com/abstract=1281919>.

- HAUSBERGER, S. & SCHWINGSHACKL, M. (2010): Straßenverkehrsemissionen und Emissionen sonstiger mobiler Quellen Österreichs für die Jahre 1990 bis 2010. TUGRAZ. (unpubl.)
- HENSHER, D. A.; ROSE, J. M. & GREENE, W. H. (2005): Applied Choice Analysis: A Primer. Cambridge University Press.
- HIDRUE, M.K.; PARSONS, G.R.; KEMPTON, W. & GARDNER, M.P. (2011): Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics* 33 (2011): 686–705.
- HORNE, M.; JACCARD, M. & TIEDERMANN, K. (2005): Improving behavioral realism in hybrid energy-economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions. *Energy Economics*. 59–77.
- JACCARD, M. (2005): Hybrid Energy-Economy Models and endogenous technological change. In Energy and Environment eds. Loulou, Richard; Jean-Philippe; Zaccour, Georges. Springer 2055.
- KALIVODA, M.T. (1998): Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik. Wien.
- LOUVIERE, J.; HENSHER, D. A.; SWAIT, J. D. & ADAMOWICZ, W.(2000): Stated Choice Methods: Analysis and Applications. Cambridge University Press.
- MAU, P.; EYZAGUIRRE, J.; JACCARD, M.; COLLINS-DODD, C. & TIEDERMANN, K. (2008): The ‘neighbour effect’: Simulating dynamica in consumer preferences for new vehicle technologies. *Ecological Economics*. 504–516.
- ÖKOINSTITUT (2011): Hacker, F.; Harthan, R.; Kasten, P.; Loreck, C. & Zimmer, W.(2011): Marktpotentiale und CO₂-Bilanz von Elektromobilität. Berlin, 2011.
- PwC – PriceWaterhouseCoopers & FRAUENHOFERINSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND INNOVATION (2010): Elektromobilität Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand.
- TRAIN, K. (2009): Discrete Choice Methods with Simulation. Cambridge University Press.
- UMWELTBUNDESAMT (2010): Padzernik, K.; Andel, M.; Freudenschuß, A; Freidrich A.; Köther, T.; Kriech, M.; Kuschel, V; Muik, B.; Poupa, S; Stranner, G.; Schwaiger, E; Seuss, K.; Weiss, P.; Wieser, M. & Zehtner, G.: Austria's national Inventory Report 2010. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto-Protocol. Reports, Bd. REP-0265. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2011): Krutzler, T.; Böhmer, S.; Gössl, M.; Lichtblau, G.; Schindler, I.; Storch, A.; Stranner, G.; Wiesenberger, H.; Zechmeister, A.: Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien. Grundlage für die Klimastrategie 2020 und den Monitoring Mechanism 2011. Reports, Bd. REP-0333. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2012): Lichtblau, G.; Pötscher, F.; Winter, R.: Ökobilanzierung von alternativen Fahrzeugen. Elektrofahrzeuge im Vergleich. (in Vorbereitung).
- WACHTER, W (2009): Schallpegelmessungen an Elektrofahrzeugen („VLOTTE“). Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz.
- ZIEGLER, A. (2010): Individual Characteristics and Stated Preferences for Alternative. Energy Sources and Propulsion Technologies in Vehicles: A Discrete Choice Analysis. CER-ETH – Center of Economic Research at ETH Zürich. Working Paper 10/125.
- UMWELTBUNDESAMT (2012): Ökobilanzierung von alternativen Fahrzeugen. Elektrofahrzeuge im Vergleich. (in Produktion)

Weiterführende Links:

BMF – BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN

https://www.bmf.gv.at/steuern/brgerinformation/autoundsteuern/normverbrauchsabgabenova/_start.htm

[zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

www.schwacke.de [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

www.Datafact-online.at [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

www.carmen-ev.de [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

<http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf>

[zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm

[zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/fahrzeugtechnik/pkw/co2_pkw_2008/ [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/mobilitaet-verkehr/elkonf/_Session_4_03_DORDA.pdf [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

http://ecologic.eu/download/vortrag/2009/Goerlach_AWRT_161009.pdf

[zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news_2012/THG-Emissionen_2010_praesentation.pdf [zuletzt abgefragt am: 06.August 2012]

RANDELHOFF (2011)

ZUKUNFT MOBILITÄT: Martin Randelhoff www.zukunft-mobilitaet.net [zuletzt abgefragt am: 27.11.2011]

STATISTIK AUSTRIA, Bevölkerung zu Quartalsbeginn ab 2002.

<http://sdb.statistik.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=debevstand>
[Zugriff am: 19.06.2012]

STATISTIK AUSTRIA, Bildungsstandregister 2009. [zuletzt abgefragt am: 5.12.2011.]

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bildung_und_kultur/bildungsstand_der_bevoelkerung/060158.html

STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung 2011 (Durchschnitt aller Wochen eines Jahres). zuletzt abgefragt am: 29.03.2012.

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/index.html

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/familien/index.html [05.07.2012]

STATISTIK AUSTRIA, Lohnsteuerdaten – Sozialstatistische Auswertungen. [zuletzt abgefragt am: 6.12.2011]

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/soziales/personen-einkommen/jaehrliche_personen_einkommen/index.html

STATISTIK AUSTRIA, EU-SILC 2010. Erstellt am: 15.12.2011.

- 1) Verfügbares Haushaltseinkommen pro Jahr.
- 2) Das Äquivalenzeinkommen eines Haushalts errechnet sich aus dem verfügbaren Haushaltseinkommen dividiert durch die Summe der Personengewichte im Haushalt. Die Personengewichte werden auf Basis der EU-Skala berechnet: erste Person = 1,0; zweite und jede weitere Person = 0,5 außer Kinder jünger als 14 Jahre = 0,3.
- 3) Haushalte mit Pension sind jene Haushalte, bei denen mindestens 50 % des Einkommens aus Pensionen stammen.

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/soziales/haushalte-einkommen/index.html

STATISTIK AUSTRIA, Konsumentenhebung 2009/10. Zugriff am 12.04.2011.

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/soziales/ausstattung_privater_haushalte/index.html

Urbanisierungsgrad nach EU-Kommission:

http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_DEGURBA [Zugriff am 12.03.2012]

Urbanisierungsgrad mit Zuordnung nach Postleitzahlen

http://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/stadt_land/index.html. [Zugriff am 12.03.2012]

IMPRESSUM

Verfasser

Umweltbundesamt
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5400
Web: www.umweltbundesamt.at

Projektleitung

Sigrid, Stix, Umweltbundesamt

AutorInnen

Institut für Höhere Studien

- Tibor Hanappi
- Sandra Müllbacher
- Ulrich Schuh
- Stefanie Reitzinger

Umweltbundesamt

- Günther Lichtblau
- Friedrich Pötscher
- Britta Plankensteiner
- Roman Ortner
- Sigrid Stix

**Eigentümer, Herausgeber und
Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH