



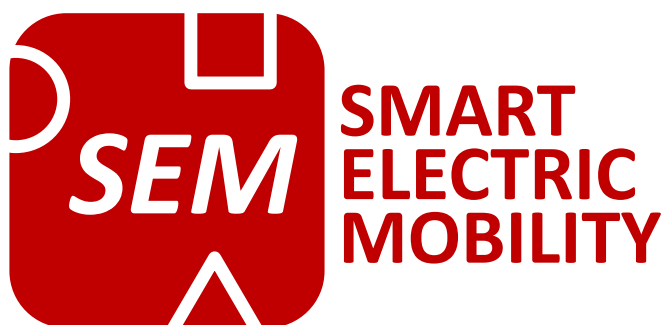
Programmsteuerung:
Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)



Neue Energien 2020 – 2. Ausschreibung



SMART-ELECTRIC-MOBILITY Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität

Publizierbarer Endbericht

Projektkonsortium



 **Universität für Bodenkultur Wien**
Department für Raum, Landschaft und
Infrastruktur, Institut für Verkehrswesen

Wien, 30.09.2011

Autoren:

Technische Universität Wien –

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

- DI Christoph Leitinger
- DI Markus Litzlbauer
- DI Andreas Schuster
- Em.O.Univ.Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner

Austrian Institute of Technology – Electric Drive Technologies

- Dr. Dragan Simic
- DI Gerald Hiller
- DI Thomas Bäuml

Universität für Bodenkultur Wien – Institut für Verkehrswesen

- Dr. Juliane Stark
- DI Christoph Link
- DI Ulrike Raich
- O.Univ.Prof. Dr. Gerd Sammer

Kurzfassung

Das Projekt Smart Electric Mobility (SEM) erarbeitet energietechnische und nutzerorientierte Herausforderungen und Chancen der Elektromobilität im Individualverkehr und entwickelt Lösungskonzepte dafür.

Drei Themenfelder werden im Projekt SEM eng verknüpft bearbeitet.

- Das Nutzerverhalten sowie die Bedürfnisse hinsichtlich Akzeptanz und Kaufabsicht.
- Die Anforderungen an Fahrzeuge und Batterien für einen elektrischen Betrieb.
- Die systemtechnische Einbindung der Elektromobilität in das Energiesystem.

Im Bereich des Nutzerverhaltens können Ergebnisse bzgl. des Fahrverhaltens und der Standplatzverteilung von Pkw-NutzerInnen durch mehrere Zugänge in Form von Stichtags- und Langzeiterhebungen erzielt werden.

Fahrzeugseitig werden Modelle für eine Auswertung konventioneller Fahrprofile, die als ident für Elektrofahrzeuge angenommen sind, sowie für speicherstandabhängige Batteriealterung geliefert.

Eine Auswertung hinsichtlich der ladetechnischen Gegebenheiten (Standortwahl, ungesteuerte Ladeprofile, Gleichzeitigkeit) setzen auf die Vorerkenntnisse auf und führen zu verifizierten Ergebnissen. Für eine erzeugungsorientierte Ladesteuerung unter Nutzung erneuerbarer Energien (Photovoltaik) werden im Besonderen zwei Methoden erarbeitet.

Ein weiterer Schwerpunkt im Projekt SEM stellt die energetische und thermische Erfüllbarkeit der Fahrprofile dar. Hierbei werden durch eine Sensitivitätsanalyse die beeinflussenden Parameter bei unterschiedlichem Ausbauzustand der Ladeinfrastruktur gezeigt. Neben der Normalladung im geparkten Zustand der Fahrzeuge, werden Alternativen wie Schnellladung entlang von Wegen, die Methode der Wegsubstitution langer Strecken sowie der Einsatz von Range Extendern diskutiert. Dabei entstehen umfassende Aussagen für den Ausbau zukünftiger Ladeinfrastruktur.

Des Weiteren wird im Bereich des Nutzerverhaltens ein Individualverhaltensmodell erstellt, welches es erlaubt, Kaufwahrscheinlichkeiten für Pkw mit unterschiedlichen Antriebstechnologien unter bestimmten Rahmenbedingungen vorherzusagen. Die umfassende Haushaltsbefragung ermittelt gemeinsam mit dem Auswertungsmodell die Kaufbereitschaft von NutzerInnen. Ein weiteres Modell erarbeitet die umwelt- und verkehrsrelevanten Auswirkungen.

Die abschließende Phase nutzt die Erkenntnisse für eine ganzheitliche Systembetrachtung, die aus technischer und wirtschaftlicher Sicht Handlungsempfehlungen für EntscheidungsträgerInnen der Industrie, Forschung und öffentlichen Hand entwickelt. Die Essenz der Ergebnisse wird in entsprechenden Erkenntnis- und Maßnahmenlisten zusammengefasst.

Inhalt

Kurzfassung	3
1 Einleitung.....	6
1.1 Zielsetzungen des Projektes.....	6
1.2 Aufbau und Methodik des Projektes.....	7
1.3 Einbettung in das Programm	8
2 Inhaltliche Darstellung	9
2.1 Nutzerbedürfnisse und Nutzerverhalten, Rahmenbedingungen (AP1)	9
2.1.1 Verkehrsdatenanalyse vorhandener Daten	9
2.1.2 GPS-Langzeiterhebung.....	13
2.1.3 Nutzerakzeptanz der Elektromobilität in Österreich.....	15
2.1.4 Analyse verkehrspolitischer Rahmenbedingungen.....	17
2.2 Antriebs- und Ladetechnik – Anforderungen und Auslegung des Speichers (AP2). 20	
2.2.1 Anforderung des Energiespeichers und Entwicklung eines Batteriemodells.....	20
2.2.2 Gesamtfahrzeugmodellierung	21
2.2.3 Darstellung der Messdaten und Aufbereitung für die Fahrzeugsimulation.....	24
2.2.4 Fahrzeugsimulation und Aufbereitung der Simulationsergebnisse	25
2.3 Energiebereitstellung, Netzeinbindung und Speichernutzung (AP3).....	29
2.3.1 Fahrtlängenverteilung	29
2.3.2 Standplatzverteilungen	30
2.3.3 Batterieverhalten.....	33
2.3.4 Leistungsprofile des ungesteuerten Ladens.....	36
2.3.5 Modellvergleiche	41
2.3.6 Gleichzeitigkeiten von Lastprofilspitzen.....	42
2.3.7 Ladesteuerung	44
2.3.8 Zusammenfassung	54
2.4 Szenarienentwicklung nachhaltiger elektrischer Mobilität (AP4)	55
2.4.1 Analysen der bisherigen Entwicklungen in den Modellregionen	55
2.4.2 Durchdringungsszenarien von Elektrofahrzeugen in Österreich.....	57
2.4.3 Erfüllbarkeits-Szenarien (Techn. Parameterdefinition für Variationen)	58
2.4.4 Szenarienentwicklung: Einflussfaktoren für Nutzernachfrage bezüglich E-Mobilität	61
2.4.5 Zusammenfassung	65
2.5 Energie- und Ladeinfrastruktur (AP5).....	66
2.5.1 Erfüllbarkeit mit Normalladung	67

2.5.2	Erfüllbarkeit mit Schnellladung	70
2.5.3	Erfüllbarkeit mit Wegsubstitution	73
2.5.4	Thermische Erfüllbarkeit	74
2.5.5	Schnellladeinfrastruktur im hochrangigen Straßennetz Österreichs	78
2.5.6	Kostenanalyse der Ladeinfrastruktur	80
2.5.7	Zusammenfassung	82
2.6	Nutzer- und Marktpotenzial, verkehrs- und umweltrelevante Auswirkungen (AP6) .	84
2.6.1	Analyse des Nutzer- und Marktpotenzials	84
2.6.2	Untersuchte Modellvarianten des Pkw-Kaufs	99
2.6.3	Entwicklung eines Kaufnachfragemodells	110
2.6.4	Elastizitäten der Pkw-Attribute	115
2.6.5	Szenarien zur Abbildung der Wirkungen von Fördermaßnahmen des Elektroautokaufs	129
2.6.6	Schlussfolgerungen und Interpretation	130
2.7	Ganzheitliche Systembetrachtung und Handlungsempfehlungen (AP7).....	135
2.7.1	Zukünftige Aufgaben der elektrischen Energieversorgung	135
2.7.2	Gesamtwirtschaftliche Bewertung	138
2.7.3	Erkenntnis- und Maßnahmenliste.....	181
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen – Zusammenfassung	189
4	Ausblick und Empfehlungen	192
5	Literaturverzeichnis.....	194
6	Anhang	200
6.1	Anhang 1: Eingangsgrößen für die Variablen des Bewertungsverfahrens.....	200
6.2	Anhang 2: Eingangsvariablen in das Bewertungsverfahren für das Untersuchungsgebiet Ostregion	202
6.3	Anhang 3: Nutzen und Kosten für benzin- und dieselgetriebene Pkw und Elektroautos für jedes Bewertungsszenario und jedes Referenzszenario	207

1 Einleitung

Der Verkehrssektor ist durch sehr hohe Emissionen und ineffiziente Energieumsetzung durch Verbrennungskraftmotoren geprägt. Der Energieverbrauch steigt jährlich um einige Prozent an. Die bislang gesteckten Ziele zur Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen scheinen nur schwer erreichbar. Die Elektromobilität wird vielfach als „Problemlösung“ für die Zukunft gehandelt, wenn es darum geht eine effiziente Individualmobilität zu ermöglichen oder fluktuierende erneuerbare Energien durch Energiespeicherung in Fahrzeugbatterien besser nutzen zu können. Viele Rahmenbedingungen bleiben bei derartigen A-Priori-Aussagen unbeachtet, die es gilt im Detail zu analysieren und Konzepte für die Machbarkeit von intelligenten Lösungen aufzuzeigen. Um eine breite Markteinführung von effizienten Elektrofahrzeugen zu ermöglichen, besteht noch vielfältiger Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich

- Fahrzeuge,
- Infrastruktur und Energiebereitstellung, sowie
- Nutzungs- und Mobilitätsverhalten.

Derzeit sind viele Modellregionen, international wie auch national dabei, die ersten Schritte in der Elektromobilität mit verfügbaren Fahrzeugen am Stand der Technik zu absolvieren, Erfahrungen zu sammeln und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Die weiterführenden Konzepte wie beispielsweise Ladesteuerung (bis hin zu Vehicle-To-Grid-Konzepte) werden derzeit durch Forschungsprojekte wie dem vorliegenden im Detail untersucht.

1.1 Zielsetzungen des Projektes

Entsprechend dieser Ausgangslage zielt das vorliegende Projekt „Smart Electric Mobility“ darauf ab, die energietechnischen Herausforderungen und Chancen der Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr zu erarbeiten und dafür Lösungskonzepte entsprechend den Nutzerbedürfnissen zu entwickeln.

Zentral im Projekt SEM ist das Zusammenspiel von den drei inhaltlichen Themengebieten:

- Nutzer- und Mobilitätsverhalten
- Fahrzeugeigenschaften und –anforderungen
- Energiebereitstellung und Ladeinfrastruktur

Dazu sind folgende Teilziele besonders wichtig:

- Bestimmung der Nutzerbedürfnisse und –verhalten um die Verfügbarkeit der mobilen Speicher im Fahrzeug an den verschiedenen Standorten erheben zu können und auch die Akzeptanz und Marktchance für den breiten Einsatz abzuklären.
- Bestimmung der Fahrzeuganforderungen (Batterie, Leistungsfähigkeit) für einen geeigneten Lade- und Entladebetrieb.

- Die Entwicklung geeigneter Lade- und Entladekonzepte des Fahrzeugkollektivs, um
 - eine hohe Erfüllbarkeit der Mobilitätsprofile zu ermöglichen und
 - erneuerbare, fluktuierende Energieträger zu integrieren und dabei die Erfordernisse des Energiesystems (Ladeinfrastruktur, Auswirkungen auf Netzauslegung / -ausbau) zu berücksichtigen.

Die Teilziele werden in definierten Szenarien betrachtet und Systemaussagen bzw. Handlungsempfehlungen abgeleitet.

1.2 Aufbau und Methodik des Projektes

Die Besonderheit des Projekts SEM ist die Verknüpfung der drei erwähnten Säulen, weshalb eine enge Zusammenarbeit der Arbeitspakete und regelmäßige, interdisziplinäre Diskussion zwischen den verschiedenen Fachgebieten erforderlich macht. Abbildung 1.2.1 zeigt graphisch die zusammenwirkenden Themenbereiche von der Energieerzeugung bis zum Endverbraucher.

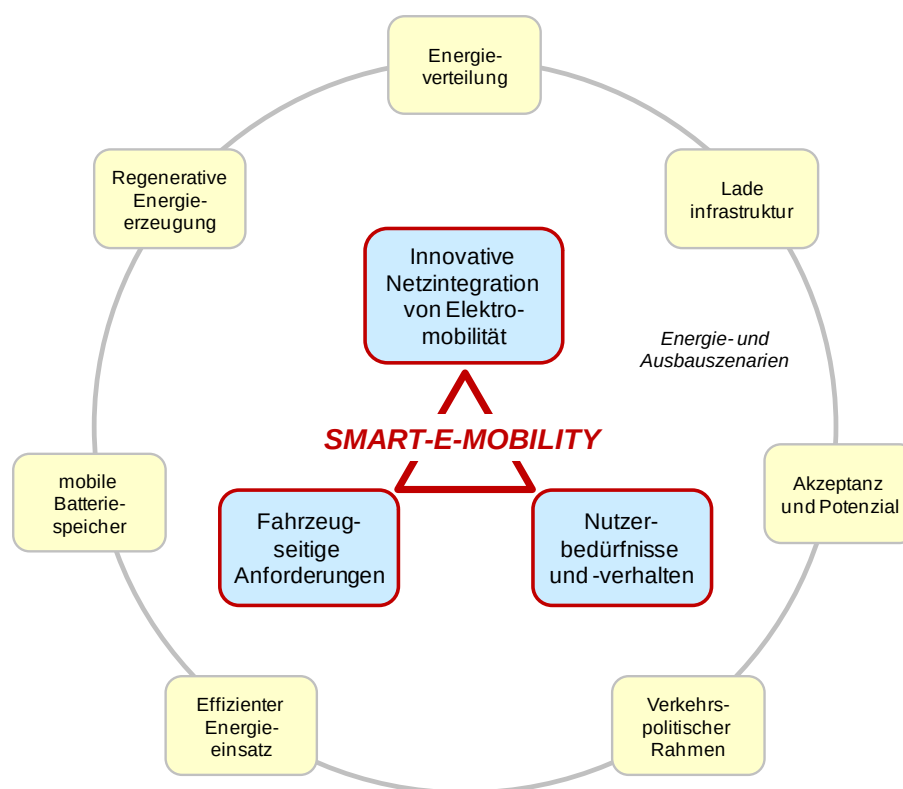


Abbildung 1.2.1: Komponenten des Energiesystems „Elektromobilität“

Im Bereich Nutzerverhalten werden Befragungsmethoden (Revealed und Stated Preference Verfahren, Situational Approach), GPS-Erhebungen und -Auswertungen (MGE Mobitest Data) und u.a. Discret-Choice-Analysen (Latent Gold) zur Erstellung der Kaufnachfragemodelle eingesetzt.

Fahrzeugbetrachtungen erfolgen in den Modellierungsumgebungen DYMOLA und MATLAB, in denen Modelle erstellt und analysiert werden.

Die Betrachtungen im Energiesystem werden durch Modellierungen in MATLAB durchgeführt, die vorwiegend mit Zeitreihenanalysen systematisch ausgewertet werden.

Die Ausarbeitungen und Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten entsprechend des Projektaufbaus nach Arbeitspaketen in diesem Endbericht dargelegt. Dies stellt einen chronologischen wie auch inhaltlich logischen Aufbau dar.

1.3 Einbettung in das Programm

Im Projekt SEM werden die Kernbereiche der Ausschreibung in einer ganzheitlichen Betrachtung behandelt. Im Vordergrund steht der **effiziente Energieeinsatz** im Verkehrssektor, der durch **erneuerbare Energien** – konkret Photovoltaik – im Projekt SEM gedeckt werden soll. Die Bilanzierungsmechanismen sowie die Ladeinfrastrukturanalysen bedingen eine Betrachtung des **Energiesystems**. Neben diesen drei Säulen der Programmziele werden die Verbindungen zum Nutzerverhalten und zur Nutzerakzeptanz sehr stark im Projekt SEM behandelt, was eine große Bedeutung für die wirkungsvolle Realisierung in Zukunft hat.

In Bezug auf die Ausschreibung wurden die Themenfelder

- Energiesysteme und Netze
- Energie- und Endverbraucher sowie
- Fortgeschrittene Speicherkonzepte und Umwandlungstechnologien
- Schlüsseltechnologien für die Einführung von Elektromobilität

abgesprochen.

Weiters liefert das Projekt SEM einen wesentlichen Beitrag zu folgenden Einzelzielen:

- Sicherstellung der Kriterien der Nachhaltigkeit (Ziel 1.1)
- **Reduktion der Importabhängigkeit bei Energieträgern (Ziel 1.3)**
- Reduktion des Energiebedarfs durch verbrauchsseitige Maßnahmen (Ziel 1.4)
- Verbesserung des Wissens über langfristige Entwicklungen, ihre Kosten und Wirkungen (Ziel 1.6)
- **Reduktion des Verbrauchs fossiler und nuklearer Energieträger (Ziel 2.1)**
- Multiplizierbarkeit, Hebelwirkung und Signalwirkung (Ziel 2.6)
- Unterstützung von Innovationssprüngen (Ziel 3.1)
- **Verstärkung interdisziplinärer Kooperation & des Systemdenkens (Ziel 3.4)**
- Förderung von Qualifikationen im Energie- und Klimaschutzbereich und Ausbau des Forschungsstandortes (Ziel 3.7)

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Nutzerbedürfnisse und Nutzerverhalten, Rahmenbedingungen (AP1)

Elektroautos können herkömmlich betriebene Pkws nur dann voll substituieren, wenn sie die Aufrechterhaltung der gewohnten Mobilitätsmuster ermöglichen. Da herkömmliche Pkw unter technischen Gesichtspunkten annähernd keinen Restriktionen unterliegen, können die aktuellen Fahrtenmuster einer Pkw-NutzerIn als Maximalanforderung an die technische Leistungsfähigkeit von Elektroautos interpretiert werden. Im Rahmen des Arbeitspaketes AP1 „Nutzerbedürfnisse und Nutzerverhalten, Rahmenbedingungen“ erfolgte die Analyse der Nutzerbedürfnisse und des derzeitigen Pkw-Nutzerverhaltens. Ziel war es, Erkenntnisse zum Verkehrsverhalten potentieller NutzerInnen und ihren Anforderungen zu gewinnen, um Chancen und Herausforderungen für Elektroautos unter definierten verkehrspolitischen Rahmenbedingungen zu ermitteln [1]. Folgende Arbeitsschritte bzw. Methoden kamen zur Anwendung:

- Im Rahmen einer Sekundäranalyse wurden drei Mobilitätserhebungen in Hinblick auf das Mobilitätsverhalten von Pkw-LenkerInnen untersucht. Dies erfolgte unter der Prämisse, dass an Elektroautos dieselben Anforderungen gestellt werden wie an herkömmlich betriebene Pkw;
- In einer Primärerhebung wurden Pkw in einem mehrwöchigen Zeitraum mit GPS-Geräten ausgestattet, um ihre Fahrtenmuster zu erfassen. Diese GPS-Langzeiterhebung ermöglichte es, limitierende Nutzungsfaktoren für Elektroautos aufzudecken und darauf aufbauend Fragestellungen zur Bereitstellung von Ladestellen oder infrastrukturelle Erweiterungen von Lademöglichkeiten (AP3) zu beantworten.
- In einer Literaturanalyse wurde der aktuelle Stand der Forschung aufgearbeitet. Vorbereitend für AP4 „Szenarienentwicklung nachhaltiger Energieversorgung elektrischer Mobilität“ und AP6 „Nutzer- und Marktpotenzial, verkehrs- und umweltrelevante Auswirkungen“ wurde der Fokus auf Anforderungen potentieller NutzerInnen an Elektroautos und verkehrspolitische Rahmenbedingungen zur Förderung der E-Mobilität gelegt.

2.1.1 Verkehrsdatenanalyse vorhandener Daten

In der Sekundäranalyse vorhandener Mobilitätserhebungen wurden die Nutzeransprüche anhand von Fahrtenmustern in Hinsicht auf die Anforderungen an Elektrofahrzeuge und die notwendige Ladeinfrastruktur analysiert. Die Analyse basiert auf drei Mobilitätserhebungen:

1. *Mobilitätserhebung im Rahmen der Erstellung des Österreichischen Bundesverkehrswegeplans ÖBVWP 1995 [1] des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr (Erfassung des Mobilitätsverhaltens von 30.038 Personen aus 12.564 Haushalten mit 89.807 Wegen durch fragebogengestützte Befragung, Erhebung aller Wege eines Stichtages der Zielpersonen in den Monaten Oktober bis Dezember 1995),*

2. Mobilitätserhebung im Jahr 2003 im Schweizer Kanton Thurgau im Rahmen des Forschungsprojekts „Stabilität des Verkehrsverhaltens“ („Thurgau“-Erhebung 2003 [3], [4]: Erfassung von 36.671 Einzelwegen durch 230 Personen aus 99 Haushalten mittels Weggetagebücher, die über einen Zeitraum von sechs Wochen geführt wurden),
3. Mobilitätserhebung in den Jahren 2009 und 2010 im Rahmen des Forschungsprojektes „Möglichkeiten und Auswirkungen eines EU-weiten CO₂-Zertifikatehandels auf den Straßenverkehr in Österreich“ MACZE 2009/2010 [5] (Erfassung des Mobilitätsverhaltens von 232 Pkw-LenkerInnen aus ganz Österreich mit 1.150 Pkw-LenkerInnenfahrten an Werktagen und Wochenenden in Form einer Erhebung von drei Stichtagen).

Die Daten der drei Mobilitätserhebungen wurden einer umfassend Aufbereitung unterzogen und auf ihre jeweilige Grundgesamtheit hin gewichtet.

2.1.1.1 Datentransformation

Im Projekt SEM sind nutzerInnenunabhängige Pkw-Verwendungsmuster relevant. Mit Ausnahme der MACZE-Befragung handelt es sich um personenbezogene Verkehrsverhaltenserhebungen. Dies macht eine Transformation in Pkw-bezogene Daten erforderlich. Dabei können verschiedene Zuordnungsprobleme der Personenfahrten zu den Pkw auftreten (Abbildung 2.1.1).

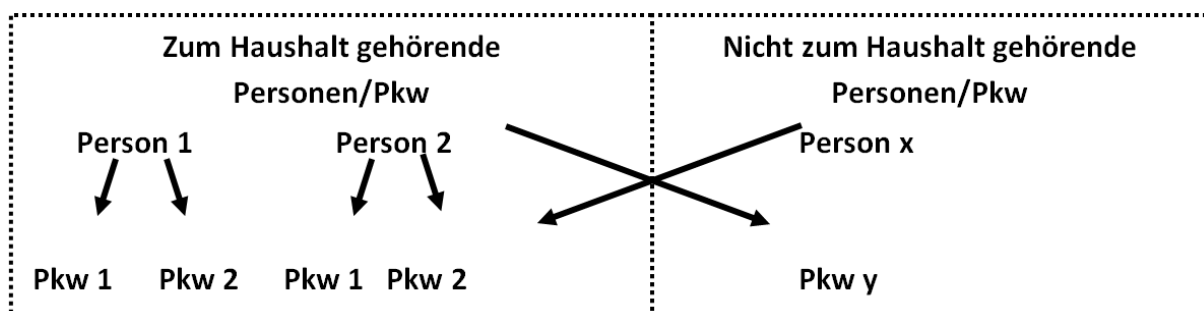


Abbildung 2.1.1: Transformation personenbezogener in Pkw-bezogene Daten

Die in personenbezogenen Befragungen erfassten Pkw-LenkerInnenfahrten können, wenn keine Angaben zu dem genutzten Pkw vorliegen, nachträglich keinem Pkw eindeutig zugeordnet werden. Verfügt der Haushalt über verschiedene Pkw, kann nicht eindeutig erschlossen werden, welcher Pkw verwendet wurde. Teilweise kann aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen ausgeschlossen werden, ob ein Pkw für verschiedene Fahrten verwendet wurde – dabei ist aber immer nur der Ausschluss einer Nutzung möglich, nie die Festlegung, welcher von mehreren möglichen Pkw verwendet wurde (Tabelle 2.1.1).

Eine Ausnahme stellen Haushalte dar, die genau einen Pkw besitzen. Selbst in diesem Fall besteht die Möglichkeit, dass Haushaltsmitglieder nicht im Besitz des Haushalts befindliche Pkw verwenden (zum Beispiel im Rahmen von Car-Sharing). Ebenso können nicht zum Haushalt gehörende Personen den haushaltseigenen Pkw benutzt haben.

Tabelle 2.1.1: Beispiel für eine unklare Pkw-Zuordnung von Fahrten

<i>Beispiel:</i> Ein Haushalt besteht aus drei Personen. Diese besitzen einen Kleinwagen und einen Mittelklassewagen. Zwei Haushaltsmitglieder hatten am Stichtag jeweils eine Pkw-LenkerInnenfahrt von 10:00-12:00, die dritte Person unternahm eine Pkw-LenkerInnenfahrt von 14:00-16:00. Es wurde nicht erfasst, welcher Pkw verwendet wurde. <i>Plausibilitätsüberlegung:</i> Aufgrund der Nutzungszeiten muss jeder Pkw verwendet worden sein (Ausschluss gleichzeitiger Nutzung), es ist aber unklar, welcher Pkw nachmittags verwendet wurde und welche Person welchen Pkw nutzte.

Die Transformation einer personenbezogenen Erhebung in eine Pkw-bezogene Datengrundlage erfordert, dass alle Mitglieder eines Haushalts mit Pkw-LenkerInnenfahrten während des Untersuchungszeitraums an der Befragung teilnahmen. Zudem wird angenommen, dass

- kein haushaltseigener Pkw durch haushaltsexterne Personen genutzt wurde und
- kein nicht dem Haushalt gehörender Pkw verwendet wurde.

Bei der Transformation wird davon ausgegangen, dass jeder Pkw einem Hauptnutzer/ einer Hauptnutzerin zugeordnet werden kann. Verfügt ein Haushalt über mehr Fahrzeuge als an einem Stichtag als Pkw-LenkerInnen mobile Personen, so folgt aus dieser Annahme, dass die nicht zugeordneten Pkw an diesem Tag nicht genutzt wurden. Gibt es mehr mobile Pkw-LenkerInnen als Pkw in einem Haushalt, erfolgt die Zuordnung der Personen zu den Pkw anhand von Plausibilitätsüberlegungen auf Grundlage der Fahrtzeiten. Eine sichere Zuordnung ist aber häufig nicht möglich. So können Abweichungen zwischen der tatsächlichen, aber unbeobachteten Nutzung und der unter den Annahmen ermittelten Nutzung der Pkw resultieren. Die Berücksichtigung verschiedener Pkw-Merkmale wie des durchschnittlichen Verbrauchs oder der Jahresfahrleistung ist daher nicht möglich. Im Beispiel (siehe oben) kann daher das Fahrzeugmerkmal „Fahrzeugkategorie“ (Kleinwagen, Mittelklassen) nicht für weitere Auswertungen herangezogen werden, da die Fahrt am Nachmittag keinem Pkw eindeutig zugeordnet werden kann. Auswertungen zu den Nutzungszeiten eines durchschnittlichen Pkws sind aber durchaus möglich. Die auf Haushaltsebene aggregierte Nutzung der Pkw ist immer eindeutig.

2.1.1.2 Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse der Analyse der vorhandenen Verkehrsdaten bezogen auf die Fahrzeugnutzung sind: Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass sich die Erhebungen auf unterschiedliche Erhebungsperioden, Zeitpunkte und Gebiete beziehen. Thematisch ermöglichen die Mobilitätsdaten die Beantwortung von für die Elektromobilität relevanten Fragestellungen; zum Beispiel hinsichtlich der längsten Tagesfahrt eines Pkw in einem mehrwöchigen Zeitraum (Thurgau-Studie) oder Pkw-Nutzungsmuster (MACZE).

- Die mittleren Pkw-Fahrtlängen und Pkw-Fahrt dauern betragen bei den drei analysierten Erhebungen zwischen 12,8 und 17,5 km/Fahrt bzw. 14,6 und 22,4 Minuten/Fahrt. Diese

Unterschiede vergrößern sich etwas bei der Betrachtung des 90 %-Perzentils der Fahrtlängen von 30 bis 35 km/Fahrt und der Fahrtauern von 30 bis 45 Minuten/Fahrt.

- Die mittleren Pkw-Tagesfahrleistung und -dauern liegen zwischen 41,6 und 45,4 km/Tag bzw. 51,3 und 69,6 Minuten/Tag. Die 90 %-Quantile der Pkw-Tagesfahrtlängen betragen 92 bis 109 km/Tag und der -dauern 105 bis 130 Minuten/Tag. Aufgrund der starken Streuung der Ergebnisse, kann die Analyse der Mobilitätshebungen nur erste Anhaltspunkte geben.

Mit einem Elektrofahrzeug mit einer Reichweite von 100 km könnten 50 % der in der „Thurgau“-Erhebung erfassten längsten Tagesfahrten bewältigt werden; bei einer Reichweite von 200 km 80 %. Über alle längsten Tagesfahrleistungen betrachtet, steigt mit zunehmender Reichweite eines Elektroautos proportional der Anteil der Nutzerbedürfnisse, die abgedeckt werden. Ab einer Reichweite von 200 km wird der Anstieg der längsten Tagesfahrleistungen schwächer, der Grenznutzen weiterer Reichweiteverbesserungen ist gering (Abbildung 2.1.2).

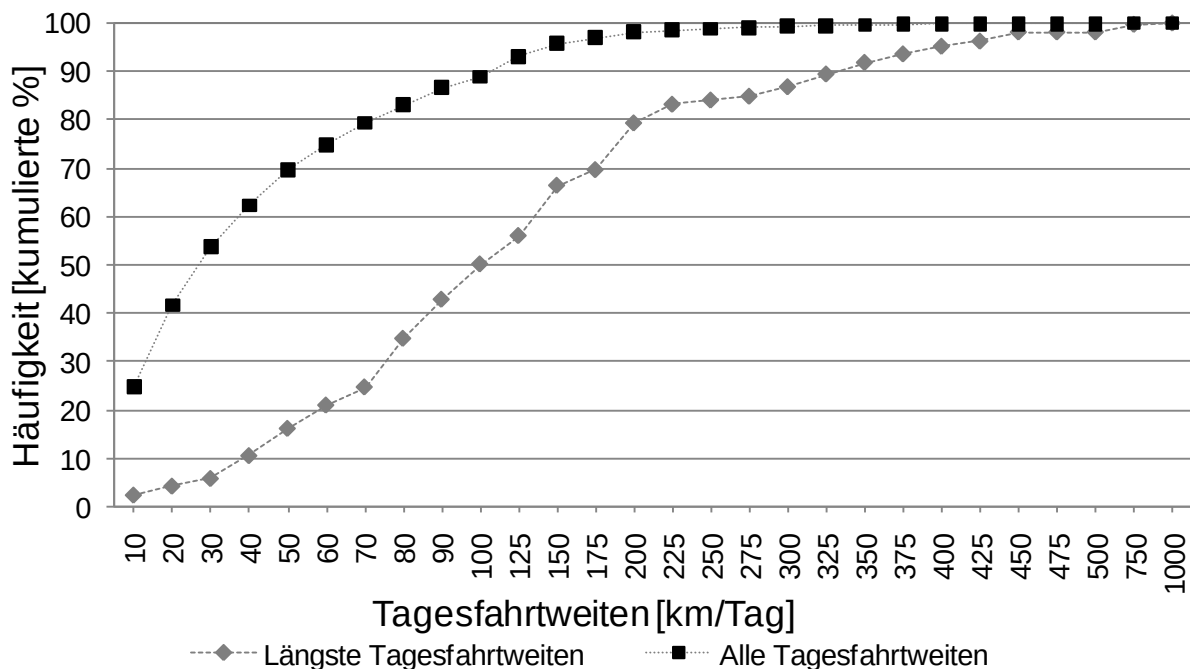


Abbildung 2.1.2: Vergleich der längsten Tagesfahrtweiten mobiler Pkw-LenkerInnen und aller Tagesfahrtweiten, Erhebungszeitraum sechs Wochen, „Thurgau“-Erhebung 2003

Für die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur ist die räumliche und zeitliche Verteilung des Ladebedarfs relevant. Aus der Auswertung der sechswöchigen Erhebung lässt sich ableiten:

- Die Durchführung von Ladevorgängen ist bezogen auf die Standzeit vor allem am Wohnstandort und Arbeitsort, aber auch an Ausbildungsstätten und bestimmten Freizeiteinrichtungen sinnvoll. Die Standzeiten an diesen Zielen dauern lange, die Ladevorgänge sind mit geringer Ladeleistung möglich.

- Die längste tägliche Standzeit der Pkw in der Thurgau-Erhebung beträgt in allen Fällen mehr als 7 h. Normalladevorgänge sind im Laufe eines Tages folglich bei allen NutzerInnen möglich.
- Betrachtet man die zeitliche Verteilung der längsten Standzeiten über alle Pkw, so zeigt sich, dass die Spitzen des Ladebedarfs von E-Fahrzeugen mit den Spitzenlaststunden der allgemeinen Energienachfrage zusammen fallen, da die die längsten zusammenhängenden Standzeiten überwiegend in den Abendstunden auftreten (siehe auch [6]). Ein zentral gesteuertes Management der Ladevorgänge könnte dies ausgleichen. Werden andere Standorte, an denen ein Pkw mindestens 30 Minuten abgestellt ist, berücksichtigt, verteilt sich die Energienachfrage durch Elektrofahrzeuge gleichmäßiger im Tagesverlauf [7]. Inwieweit sich dies durch die GPS-Langzeiterhebung (siehe Kapitel 2.1.2) im Rahmen des Projekts SEM bestätigt, wird durch die Analysen der GPS-Daten der TU untersucht.

Als zentrale Schlussfolgerung der Analysen vorhandener Verkehrserhebungen lässt sich ableiten, dass die Verwendung von durchschnittlichen Tagesfahrtweiten – wie in aktuellen Studien zum Thema Elektromobilität üblich - zu einer falschen Einschätzung der aus der Sicht der NutzerInnen erwünschten Reichweite von Elektroautos führt. Dies gilt, obwohl die vorliegenden Erhebungsdaten die Fahrtmuster über den gesamten Besitzzeitraum und für Urlaubsfahrten nicht beinhalten. Allerdings erhöht sich, wenn geeignete Infrastruktur zum Schnellladen in einer ausreichenden Versorgungsdichte zur Verfügung steht, die Reichweite von Elektroautos. Mit Hilfe einer Langzeiterhebung ist es notwendig u. a. anhand von Urlaubsfahrtweiten die Beziehung von erwünschten Nutzeranforderungen und der technisch möglichen Reichweite von Elektroautos besser abzuschätzen.

2.1.2 GPS-Langzeiterhebung

Als Grundlage für die Analyse von Ladebedarf und -möglichkeiten sowie von Stehzeiten und Parkstandorten bzw. häufigen Zielpunkten wurde eine Langzeit-Pkw-Fahrtenerhebung durchgeführt. Dazu wurden die Pkw-Fahrten von Testpersonen über mindestens drei Wochen mittels eines GPS-Erhebungsgerätes erfasst, welches im Pkw der TestfahrerInnen installiert wurde. Das batteriebetriebene GPS-Gerät (Abbildung 2.1.3 und Abbildung 2.1.4) erfasste die Koordinaten des Fahrzeuges zeitgenau. Während der Fahrt wurde der Akku des GPS-Geräts geladen und während der Standzeiten konnten die Koordinaten mit Hilfe der Energiereserven aufgezeichnet werden.

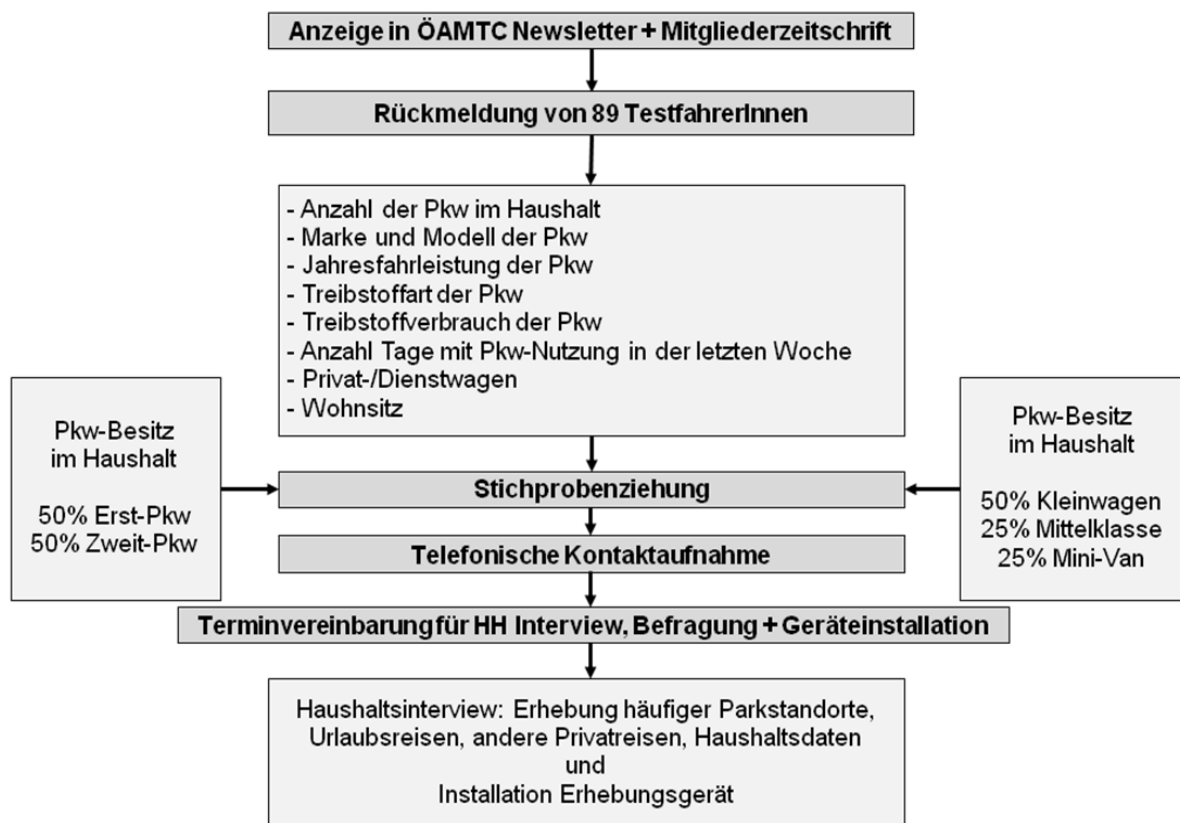


Abbildung 2.1.4: Gerätehauptansicht und Ansicht Energieversorgung und USB



Abbildung 2.1.3: Positionierung des GPS Gerätes im Pkw

Die Mobilitätserhebung (Abbildung 2.1.5) umfasste eine Fahrererhebung, ein telefonisches Interview und eine Haushaltsbefragung in zwei Phasen.



**Abbildung 2.1.5: Schematischer Ablauf der Befragung
(HH-Interview = Haushaltsinterview)**

Im Zuge der Fahrtenerhebung wurden die Parksituation und die Fahrtenmuster der Pkw-NutzerInnen für einen oder mehrere Pkw des Haushaltes untersucht. Insbesondere interessierten

- Standzeiten der Pkw (Nichtnutzung): Gesamte tägliche Standzeit, längste durchgehende Standzeit, Nutzungsdauer vor der längsten Standzeit,
- Nutzung der Pkw: Durchschnittliche Tagesfahrtweiten und -dauern, längste Fahrtweiten und -dauern innerhalb der Testphase („energetisch relevanter Tag“),
- Art der Stellplätze des Pkw innerhalb der Testphase (privater Garagenplatz, privater Stellplatz nicht überdacht, privater Stellplatz überdacht (Carport), Volksgarage, Stellplatz am Straßenrand (öffentlicher Grund), anderer).

Die Grundgesamtheit der Befragung bilden alle in Österreich wohnenden FührerscheinbesitzerInnen, die über einen Pkw verfügen und diesen nicht nur sporadisch nutzen. Aus logistischen Gründen wurden Testpersonen nur in Ostösterreich ausgewählt. Die geplante Befragung wurde über Anzeige auf der Internetseite des österreichischen Autofahrerclub ÖAMTC und Newsletteraussendung (über 60.000 Empfänger) bekannt gemacht. Es erfolgte eine geschichtete Stichprobenziehung aus den Rückmeldungen: Unter der Annahme, dass Elektromobilität derzeit aufgrund der im Vergleich zu herkömmlichen Pkw mit Verbrennungskraftmotoren geringen Reichweite vor allem im urbanen Gebiet und für Kurzstrecken attraktiv ist, sollten 50 % der Testpersonen Stadtbewohner sein. Interesse an Elektromobilität wird speziell ZweitwagenfahrerInnen mit ihrer klassischen Nutzung für regelmäßige Kurzstrecken zugesprochen. Daher wurde als Ziel ein Anteil an Zweitwagen an allen Testwagen von 50 % festgelegt. Unter der Annahme, dass im städtischen Bereich und auf Kurzstrecken verstärkt Kleinwagen unterwegs sind, die mit ihren geringen Distanzen die höchste Wirtschaftlichkeit bei den Batteriesystemen zeigen, sollten 50 % der Testfahrzeuge Kleinwagen sein.

Letztlich wurden 33 Pkw-Erhebungen durchgeführt. In der Befragung, die den Testfahrten vorgeschaltet war, wurden häufige Parkstandorte einschließlich Parkzweck erhoben. Zur Parkstandortanalyse wurde ein Raster mit einem Radius von 50 m über die im Vorfeld angegebenen häufigen Parkstandorte gelegt. Mit Hilfe dieses Rasters konnte ein Großteil der Parkvorgänge und -zwecke identifiziert werden. Die Parkstandorte außerhalb des Rasters wurden mithilfe der telefonischen Nachbefragung erfasst, sodass letztlich mehr als 90 % aller Parkstandorte nach Örtlichkeit, Zweck und Stellplatzart identifiziert werden konnten. Die weitere Analyse erfolgte durch das Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe der TU Wien (siehe Kapitel 2.3.2).

2.1.3 Nutzerakzeptanz der Elektromobilität in Österreich

Die Entwicklung rein elektrisch betriebener Personenfahrzeuge erfährt derzeit durch steigende Treibstoffpreise, neue Umweltschutzstandards sowie industriellen Wettbewerb und staatliche Förderungen eine enorme Entfaltung. Produkte zur E-Mobilität werden von allen großen Autoherstellern sowie von Pionierunternehmen entwickelt und angeboten. Am Markt sind derzeit nur wenige Elektroautos verfügbar, einige marktreife Serienproduktionen sind für 2011 oder 2012 angekündigt, andere liegen nur als Konzeptstudien vor.

Die Nutzerakzeptanz bildet ab, inwieweit Elektroautos von Kunden/Kundinnen angenommen werden. Sie orientiert sich an der zentralen Frage: „Was will der Kunde?“ Wesentliche Kaufkriterien eines Fahrzeugs sind Anschaffungs- und Nutzungskosten, Funktionalität sowie das Image des Produkts, auf welche im Folgenden kurz eingegangen wird.

Kaufkriterium Anschaffungs- und Nutzungskosten [8], [9], [10], [11], [12], [13]: Die Kosten für die Anschaffung eines Elektroautos sind gegenwärtig höher als jene eines herkömmlichen Pkw mit Verbrennungsmotor [14]. Kostentreiber sind die Lithium-Ionen-Batterien mit ihren hohen Rohstoffkosten, sie kosten auch im Kleinwagensegment derzeit rund € 10.000,- [15]. Die hohen Investitionskosten können durch die niedrigeren Ladekosten nicht kompensiert werden [14], so dass ein Elektroauto über die gesamte Fahrzeuglebensdauer teurer als ein vergleichbarer herkömmlicher Pkw ist. Unter der Annahme, dass Kleinwagen hauptsächlich im städtischen Bereich, d.h. mit geringen Fahrtweiten, verwendet werden, ist die Wirtschaftlichkeit in diesem Segment am größten, weil die Batterien nicht für die höchsten Leistungsanforderungen ausgelegt sein müssen. In der Oberklasse verhindern das hohe Gewicht der Fahrzeuge und die geforderten Reichweiten derzeit den Einsatz rein elektrischer Antriebe [14]. Zur Senkung der Kosten für Elektromobilität und damit zur Steigerung der Nutzerakzeptanz tragen sowohl direkte also auch indirekte Maßnahmen bzw. veränderte Rahmenbedingungen bei:

- Direkte Maßnahmen: Reduzierung der Kosten für Batteriesysteme, Kostensenkung durch Wettbewerb (z. B. Leasingmodelle),
- Indirekte Veränderungen: Steigerung des Ölpreises, Steuerungsmaßnahmen des Staates

Kaufkriterium Funktionalität: Derzeit liegt die maximale Reichweite je nach Batterietyp und Beanspruchung zwischen 40 und 150 km [16].

Bei einem Drehstromanschluss von 40 kW benötigt das Aufladen moderner Batteriesysteme mit drei- bis fünfjähriger Lebensdauer rund 1,5 Stunden [17]. Ein batterieschonender Normalladevorgang (Vollladung) ist derzeit nicht unter 3,5 Stunden möglich. Zu hohe Ladeströme, wie sie bei Schnellladung auftreten, erhitzen die Batterie stark und bewirken Ladeverluste. Hohe Akkutemperaturen führen zu einer vorzeitigen Alterung des elektrochemischen Gebildes.

Gemeinsam mit der geringen Reichweite ergeben sich für den Nutzer/die Nutzerin allein aus diesen genannten technischen Rahmenbedingungen Einschränkungen für ihr Mobilitätsverhalten [18], [19], [20]. Zur Erhöhung der Nutzerakzeptanz sind die Erhöhung der Reichweiten [21] und die Minimierung der Ladedauer anzustreben.

Kaufkriterium Produktimage: Gute Luftqualität, geringe Schadstoffemissionen und effektive Maßnahmen zum Erhalt der Naturwerte stellen Wettbewerbsvorteile für Städte und Staaten dar. Elektromobilität genießt nicht zuletzt aufgrund der positiven Belegung durch die Medien und die Politik hohes Ansehen in weiten Teilen der Bevölkerung [22]. Das Image des Elektroautos ist grundsätzlich positiv [23].

2.1.4 Analyse verkehrspolitischer Rahmenbedingungen

2.1.4.1 Handlungsfeld der österreichischen Verkehrspolitik

Laut Shell Studie 2009 [24] wird der Pkw-Bestand in Österreich von heute 4,3 Mio. Pkw auf knapp 5 Mio. Pkw im Jahr 2030 ansteigen. Das entspricht einer Motorisierung von rund 575 Pkw je 1000 Einwohner. Mit dem höheren Motorisierungsgrad steigt auch der Anteil der Pkw-Verkehrsleistungen. Gemessen an der Gesamtheit der Personenkilometer stieg dieser Anteil von 72,0 % im Jahr 1995 auf heute 73,5 %. Bis 2030 wird der Anteil auf gut 75 % steigen.

Der Verkehrssektor zählt zu den Hauptverursachern für Treibhausgasemissionen, wobei seit 1990 eine Zunahme der Treibhausgase um rund 54 % zu verzeichnen ist. Der höchste Anteil der Emissionen im Verkehr ist auf den Straßenverkehr und hier insbesondere auf den Pkw-Verkehr zurückzuführen [85]. Österreichs Verkehr verursacht pro Kopf um 46 % mehr CO₂-Emissionen als der EU-Schnitt [25]. Der Straßenverkehr ist zudem ein Hauptverursacher von Lärmemissionen.

Das Handlungsfeld der österreichischen Verkehrspolitik wird vom Grundsatz der Vereinbarkeit von Mobilität und Nachhaltigkeit als Wechselspiel ökologischer, ökonomischer und sozialer Bedingungen bestimmt. Eingebettet in EU-weite Regelungen sowie in internationale, nationale, regionale und lokale Festlegungen geben der Generalverkehrsplan 2002 [26] und das aktuelle Regierungsprogramm [27] die Verkehrspolitik vor. Um der zunehmenden Verkehrsleistung und den damit einhergehenden anthropogenen Emissionen einschließlich Lärm zu begegnen, werden umweltfreundliche Fortbewegungsmittel staatlich gefördert sowie Initiativen der Treibstoff- und Automobilindustrie aufgelegt. Ein Kernaspekt ist die Entwicklung von alternativen Antriebstechniken und Treibstoffarten. Im März 2010 wurde das von drei Bundesministerien erarbeitete Strategiepapier „Nationalen Einführungsplan Elektromobilität“ durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) präsentiert [28]. Es bildet die Basis für die Entwicklung von Maßnahmen zur Umsetzung der Elektromobilität als Gemeinschaftsaufgabe von Politik, Industrie und Forschung. Im Oktober 2010 wurde im österreichischen Nationalrat der Beschluss gefasst, einen „Umsetzungsplan E-Mobilität“ zu erarbeiten. Im Strategiepapier zum Nationalen Einführungsplan Elektromobilität wird Elektromobilität als Potenzial für die Nahmobilität, d. h. für die individuelle Mobilität im räumlichen Nahbereich und als Zubringer für das hochrangige Verkehrsnetz gesehen. Mit Hilfe des Nationalen Einführungsplan Elektromobilität soll es gelingen, dass bis zum Jahr 2020 130.000 bis 150.000 ausschließlich elektrisch betriebene Elektrofahrzeuge und rund 900.000 Hybrid-Fahrzeuge auf Österreichs Straßen unterwegs sind [28]. Mit diesem Anteil an Elektrofahrzeugen würde sich, trotz Verkehrssteigerung, eine CO₂-Reduktion von 7 % im Vergleich zum Jahr 2010 ergeben.

2.1.4.2 Direkte und indirekte Förderungen der Elektromobilität

Um die Elektromobilität in Österreich zu fördern, werden derzeit Bundes- (BMVIT, BMLFUW, Klima- und Energiefonds der Österreichischen Bundesregierung), Landes- (Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark, Wien) und Gemeindeförderungen (vor allem im Bereich sozialer Dienste) vergeben und Modellregionen (Vorarlberg, Salzburg,

Wien, Eisenstadt und Graz) unterstützt. Darüber hinaus fördert das BMVIT die Österreichische Plattform zur Förderung von alternativen Antriebssystemen. Es können direkte und indirekte Fördermaßnahmen unterschieden werden.

Direkte Förderungen der Elektromobilität: Für ausschließlich elektrisch betriebene Fahrzeuge und Kleinkraftfahrzeuge (vierrädrige Fahrzeuge der Klasse L 2 mit Mopedzulassung) wird keine Normverbrauchsabgabe (NOVA max. 16 %) eingehoben. Für Kraftfahrzeuge, die ausschließlich elektrisch betrieben werden, entfällt die motorbezogene Versicherungssteuer. Darüber hinaus gewähren zahlreiche Versicherungsgesellschaften Nachlässe bei Versicherungsleistungen für Elektrofahrzeuge.

Indirekte Fördermaßnahmen betreffen den Infrastrukturausbau und die Verkehrsorganisation, Informations- und bewusstseinsbildende Maßnahmen sowie Restriktionen und Einschränkungen für Nicht-Elektrofahrzeuge: In städtischen Gebieten besteht in der Regel ein Nachfrageüberschuss nach Pkw-Stellplätzen. Die *Parkraumbewirtschaftung* mit Einhebung von Gebühren für das Abstellen mehrspuriger Fahrzeuge ist ein gängiges Instrument, um die Nachfrage nach Pkw-Stellplätzen zu reduzieren, den motorisierten Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr zu verlagern und die Stellplatznachfrage zeitlich und räumlich zu steuern. Durch das geänderte Verkehrsmittelwahlverhalten und die Beeinflussung des Stellplatzsuchverkehrs werden Emissionen reduziert. Damit wird die Parkraumbewirtschaftung auch als Beitrag zum Umweltschutz verstanden. Flächendeckende oder straßenbezogene Kurzparkzonen bestehen in fast allen österreichischen Städten. Mit Hilfe der Parkraumbewirtschaftung könnte die Elektromobilität gefördert werden, indem Elektrofahrzeuge von der Gebührenpflicht ausgenommen oder differenzierte Parkgebühren eingeführt werden. Derartige Anreize könnten auch für Park&Ride-Anlagen geschaffen werden. Eine andere Möglichkeit ist die Reservierung von Stellplätzen für Elektrofahrzeuge in der Innenstadt.

Umweltzonen sind städtische Bereiche mit Zufahrtsbeschränkungen für bestimmte Fahrzeugklassen und -größen, Zeiten sowie Verkehrsarten. Innerhalb dieser Umweltzonen können mithilfe von Luftreinhalteplänen Maßnahmen festgelegt werden, um eine verbesserte Luftqualität zu erreichen. Die Zufahrtserlaubnis ist jeweils an bestimmte Bedingungen geknüpft und wird in der Regel über Plaketten geregelt. Wer in eine Umweltzone einfahren möchte, benötigt eine Plakette zur Ausweisung der Schadstoffkategorie des Kraftfahrzeug. Europaweit sind in 70 Städten in acht EU-Ländern Umweltzonen geplant oder bereits eingeführt. In der Bundesrepublik Deutschland bestehen in 39 Städten Umweltzonen. In Österreich wird über die Einführung einer Umweltzone in Graz diskutiert. Bei Feinstaubbelastung und/ oder anderer Schadstoffgrenzwertüberschreitung ist es in Österreich infolge einer Novelle des Immissionsschutzgesetzes-Luft (IG-L) möglich, dass die Landeshauptleute für das betreffende Bundesland Beschränkungen des Kfz-Verkehrs verhängen. Dabei fehlt die Möglichkeit, Fahrzeuge zu kategorisieren und die Mobilität besonders emissionsstarker Fahrzeuge zu untersagen. Zur Einführung der Umweltzonen ist eine Verordnung erforderlich, die die Einstufung von Fahrzeugen nach Emissionswerten bundesweit einheitlich regelt und entsprechende Plaketten vorschreibt. Elektromobilität würde durch die Einführung von Umweltzonen begünstigt, da Elektroautos keinen Zufahrtsbeschränkungen unterlägen.

Die Einhebung von *Gebühren für die Nutzung von städtischen Straßen* (Innenstadtmaut, Citymaut oder Road-Pricing) bringt Steuereinnahmen, reduziert das Verkehrsaufkommen und verringert infolgedessen die Schadstoffemissionen. Zudem wird eine zeitliche und räumliche Steuerung der Verkehrsnachfrage ermöglicht. In zahlreichen europäischen Städten wurden in den vergangenen Jahren Mautmodelle eingeführt, die sich hinsichtlich Bemessung, Gebührenhöhe, betroffener Gebiete und Art der Gebühreneinhebung (Vignette, Mautstation) unterscheiden. In Wien wurde über die Einführung der Citymaut für die Inneren Bezirke diskutiert, eine entsprechende Initiative wurde in einer Volksbefragung 2010 jedoch abgelehnt. Die Einführung einer städtischen Straßenbenutzungsgebühr würde Elektromobilität fördern, wenn sie sich an den Vorgaben der EU zur Ökologisierung der Lkw-Maut orientierte und eine schadstoffklassenabhängige Bemautung darstellte.

Fahrstreifen für mehrfach besetzte Fahrzeuge (mbK) wurden in den USA (high occupied vehicle lanes) nach der Ölkrise 1973 zur Förderung der Bildung von Fahrgemeinschaften entwickelt, um dem Ressourcenverbrauch, dem wachsenden Verkehr und der Luftverschmutzung zu begegnen. Ab Beginn der 1980er Jahre wurden Fahrstreifen auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen speziell nur für Kfz mit einer Mindestzahl an mitfahrenden Personen, in der Regel zwei Personen, gewidmet und entsprechend ausgeschildert. Der US-Bundesstaat Kalifornien hat die Fahrgemeinschaft-Fahrstreifen auch für schadstoffarme Kfz freigegeben, wobei die Regelung über Plaketten erfolgt. In Europa haben bislang die Niederlande, Norwegen, Großbritannien und Spanien versuchsweise Fahrstreifen für mehrfach besetzte Fahrzeuge eingeführt. In Österreich gibt es ein Modellprojekt eines 5 km langen Fahrstreifens für mehrfach besetzte Fahrzeuge auf dem Busfahrstreifen zwischen Puchenu und Linz. Der Fahrstreifen darf von Bussen und Sonderfahrzeugen sowie von mit mindestens drei Personen besetzten Pkw benutzt werden. Elektromobilität würde durch die Einführung von Fahrstreifen, die für schadstoffarme Kfz und Fahrgemeinschaften etc. freigegeben werden, gefördert werden.

Im Jahr 2009 legte die französische Regierung einen 14-Punkte-Plan zur Elektromobilität vor [30], der u. a. Vorschriften in der *Bauordnung* vorsieht. Ab 2012 ist für alle Neubauten die Einrichtung von Stromzapfsäulen verpflichtend. Bis 2015 müssen alle Bürogebäude mit Stromanschlüssen für parkende Autos ausgestattet werden. Ein festgeschriebenes „Recht auf Stromversorgung“ soll den Bau von Stromzapfsäulen an bestehenden Wohngebäuden erleichtern. Die Gemeinden sollen darüber hinaus beim Bau von Ladestellen auf öffentlichem Grund unterstützt werden. Im Gegenzug werden die Gemeinden dazu verpflichtet, beim Neubau von Wohnvierteln die Ladeinfrastruktur und andere Belange von Elektroautos zu beachten.

Bei allen indirekten Fördermaßnahmen ist zu berücksichtigen, ob die zu erzielende Wirkung einer Elektroauto-Förderungsmaßnahme die ursprüngliche Zielsetzung einer Bestimmung (z.B. Parkraumbewirtschaftung als Förderung des öffentlichen Verkehrs) wieder aufhebt.

2.2 Antriebs- und Ladetechnik – Anforderungen und Auslegung des Speichers (AP2)

2.2.1 Anforderung des Energiespeichers und Entwicklung eines Batteriemodells

Da für die Netzsimulationen der TU Wien und den Fahrzeugsimulationen bei AIT unterschiedliche Simulationstools verwendet wurden (DYMOLA/MODELICA bei AIT bzw. MATLAB/SIMULINK bei TU Wien), und beide Simulationen unabhängig voneinander durchgeführt werden mussten, wurde eine Schnittstelle definiert. Gewählt wurde die Komponente Batterie, da diese ein Schlüsselement in beiden Simulationen darstellt. Sie wurde einerseits von AIT im Fahrzeug als Energiespeicher verwendet, andererseits an einer Ladestation diente sie der TU Wien als Pufferspeicher für das Stromnetz und zur Berechnung erforderlicher Ladeleistungen.

Modelliert wurde von AIT eine Lithium-Ionen Batterie mit der Simulationssoftware DYMOLA/MODELICA. Notwendig war ein elektrisch-thermisches Modell, da die Temperatur der Batterie stark von der Höhe und Dauer der elektrischen Belastung abhängt (Laden bzw. Entladen der Batterie), und aus Sicherheitsgründen gewisse Maximaltemperaturen nicht überschritten werden dürfen. Die Entwicklung dieses thermischen Batteriemodells war auch notwendig, um neben den reinen Fahrbetriebsbelastungen auch Untersuchungen bezüglich Art und Dauer elektrischer Ladeleistungen an den Ladestationen durchführen zu können. Erst durch diese Modellierung ergaben sich Grenzen für die maximalen elektrischen Belastungen der Batterie im Fahrbetrieb aber auch Grenzen für die maximal möglichen Ladeleistungen im Ladebetrieb [Schnellladung (hohe Leistungen), Ladung direkt nach Betrieb des Fahrzeuges (Batterie hat noch erhöhte Temperatur), ...]. Außerdem wurde in das Batteriemodell auch ein Alterungsmodell implementiert, um Simulationen bezüglich Lebensdauer im Betrieb durchführen zu können, da Lithium-Ionen Batterien in unterschiedlichen Ladebereichen und bei unterschiedlichen Batterietemperaturen verschieden schnelle Alterung (SOH...State of Health) aufweisen.

Das in DYMOLA erstellte Modell der Batterie wurde mit Hilfe des DYMOLABlock von MATLAB/SIMULINK in ein MATLAB MEX-file umgewandelt und die TU Wien konnte dieses nun über einen „S-function Block“ in SIMULINK eingelesen. Als Batterieparameter wurden SOC-Start (Initial state of charge), TStart (Initial package Temperature), cycleStart (Initial cycle, max 3000), ns (number of serial connected cells) und np (number of parallel connected cells) gewählt, welche im SIMULINK Batteriemodell frei einstellbar sind.

Abbildung 2.2.1 zeigt das Batteriemodell in einem möglichen Simulationsszenario, bei dem die von AIT simulierte Batteriebelastung während des Fahrens in Form der elektrischen Leistung (power), die Umgebungstemperatur (Tambience) und die Information ob das Fahrzeug steht oder in Bewegung ist (motion) im Zyklusmodell (cycle AIT) als Tabelle eingelesen werden kann.

Die elektrische Belastung der Batterie konnte durch diese Modellierung von der TU Wien erweitert werden, indem während dem Fahrzeugstillstand elektrischer Strom eingespeist (laden) oder verwendet (Puffer für elektrisches Stromnetz) werden kann.

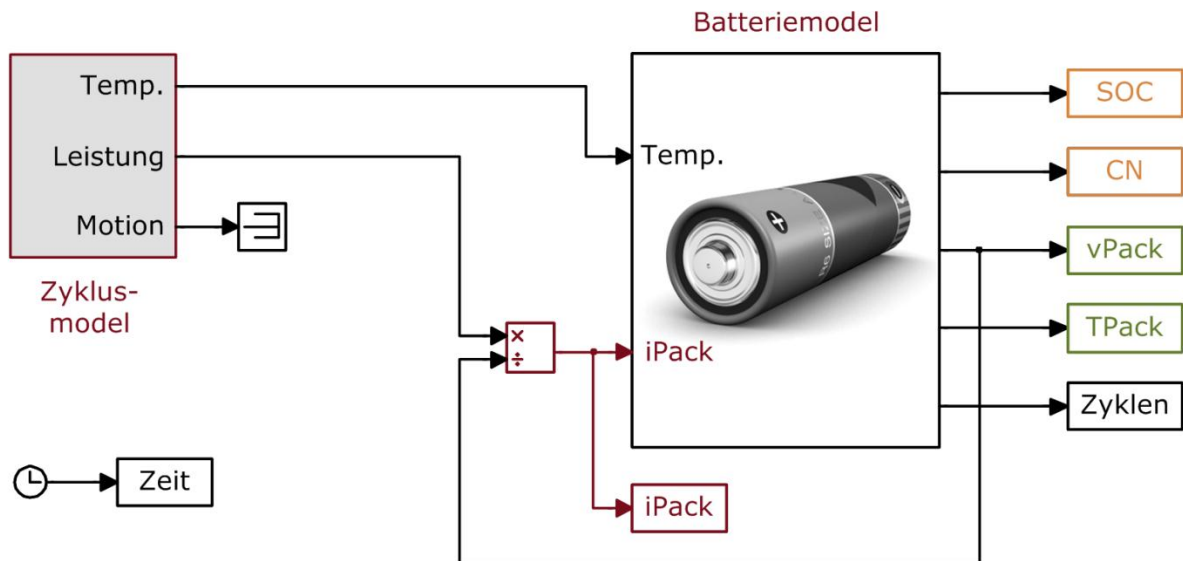


Abbildung 2.2.1: SIMULINK Batteriemodell mit Schnittstellen

2.2.2 Gesamtfahrzeugmodellierung

Im Projekt SEM werden verschiedene Fahrzeuggrößen behandelt und simuliert, um möglichst einen Überblick über benötigte Batteriegrößen und notwendige Leistungen für Elektromotoren unterschiedlicher Fahrzeugtypen zu erhalten.

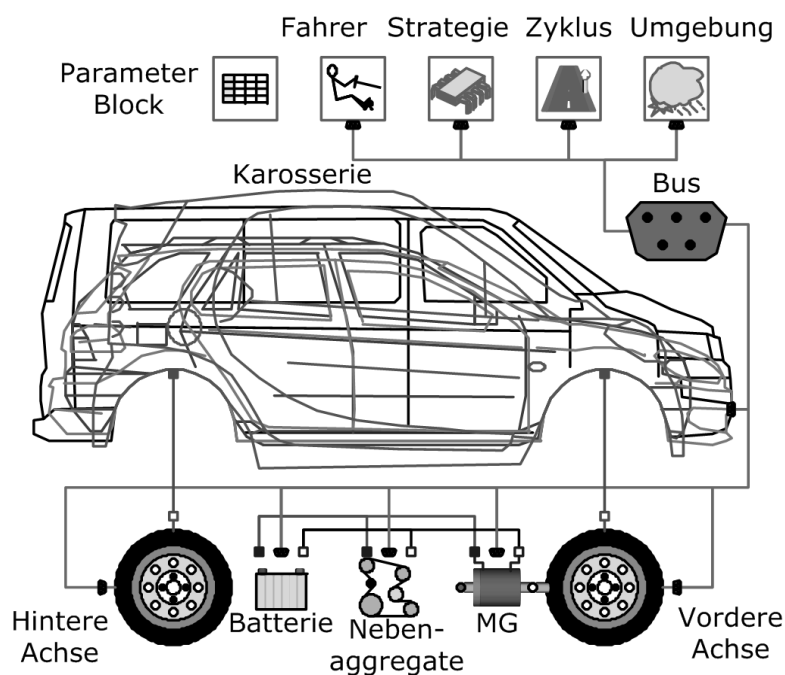


Abbildung 2.2.2: Simulationsmodell Elektrofahrzeug

Als mögliche Fahrzeugklassen in den Simulationen wurden die Gruppen Kleinwagen, Mittelklasse, SUV und Transporter gewählt, und parametrisiert (Abbildung 2.2.2). Diese Einteilung erfolgte anhand der von der BOKU befragten, und mit GPS Loggern ausgestatteten Fahrzeugtypen/Fahrzeuggrößen.

Tabelle 2.2.1: Parametrierung der unterschiedlichen Fahrzeugklassen

Fahrzeug	Einheit	KW	MK	SUV	TR
Masse	kg	1000	1300	1800	2100
Stirnfläche	m ²	2.02	2.19	2.7	3.06
Luftwiderstandsbeiwert	1	0.32	0.31	0.33	0.37
Reifen					
Trägheitsmoment	kg.m ²	0.8	1	1.2	1.2
Radius	m	0.29	0.25	0.315	0.32
Rollwiderstandsbeiwert	1	0.014	0.014	0.014	0.012
Bremsen		Vor./Hin.	Vor./Hin.	Vor./Hin.	Vor./Hin.
Max. Normalkraft	N	4800/2000	5600/2700	8000/5900	9000/6100
Radius (außen)	m	256/250	280/255	332/324	308/294
Radius (Innen)	m	165/174	180/151	208/164	197/204

Asynchronmaschine	Einheit	KW	MK	SUV	TR
Nominaldrehzahl	U/min	2865	3055	2578	3438
Leistung	kW	25	35	55	50
Maximalleistung	kW	50	70	110	100

Die Simulationsmodelle dieser vordefinierten Fahrzeuge wurden in der Simulationsumgebung DYMOLA/MODELICA aufgebaut und getestet (Abbildung 2.2.3). Die nötigen Fahrzeugdaten (Fahrzeugmasse, Fahrwiderstände, ...) der vordefinierten Fahrzeugtypen für die Simulation und die Parametrierung wurden aus entsprechender Literatur entnommen und wurden über ein Parameter-Modell (Parameters) eingestellt.

Als Elektromotoren für die jeweiligen Fahrzeuge/ Fahrzeugtypen wurden Asynchronmaschinen gewählt. Diese besitzen zwar einen etwas schlechteren Wirkungsgrad als vergleichbare Synchronmaschinen, sind aber in der Anschaffung günstiger und werden auch in einigen derzeit gebauten Elektrofahrzeugen verwendet. In (Abbildung 2.2.4) ist ein normiertes Wirkungsgradkennfeld für eine typische Asynchronmaschine dargestellt. Ersichtlich ist, dass diese Maschinen im Überlastbereich bei Nennmoment den besten Wirkungsgrad aufweisen. Dies wurde bei der Auslegung der Differentialübersetzung und der Maschinenparametrierung berücksichtigt, um die Maschine möglichst in energieeffizienten Bereichen zu betreiben. Die Maschinenauslegungen erfolgten durch Erfahrungswerte, Vermessungen am Maschinen-

prüfstand und Literaturrecherche. Der bei AIT vorhandene Maschinenprüfstand ist in Abbildung 2.2.5 dargestellt.

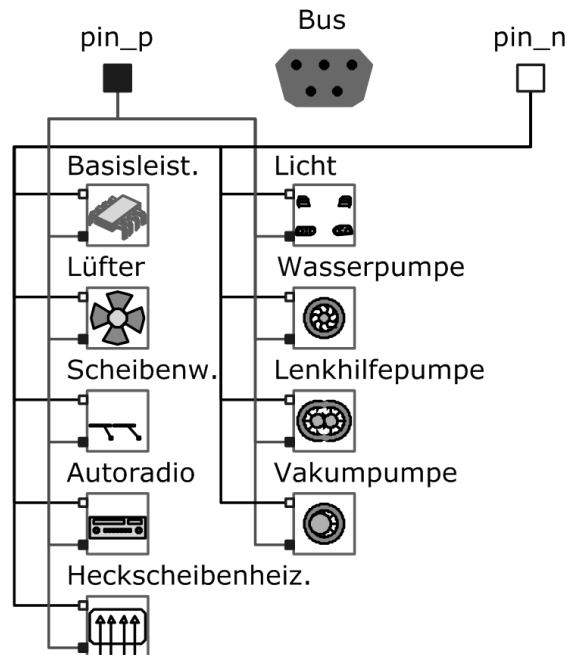


Abbildung 2.2.3: Simulationsmodell der Nebenaggregate

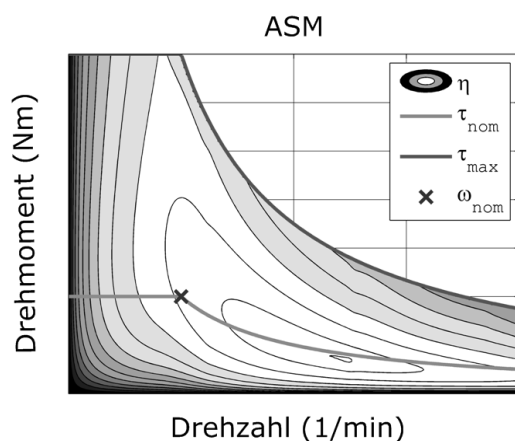


Abbildung 2.2.4: Kennfeld einer Asynchronmaschine

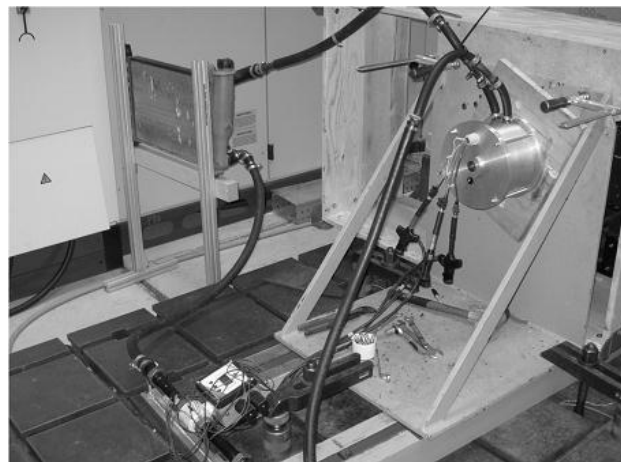


Abbildung 2.2.5: Maschinenprüfstand

Die Vorgabe der Sollgeschwindigkeit und der Steigungsverlauf der Straße werden in der Simulation mittels Fahrzyklus-Modell (Cycle) dem Fahrer-Modell (Driver) bekannt gegeben, welches als virtueller Fahrer/ virtuelle Fahrerin fungiert. Das Simulationsmodell wurde so aufgebaut, dass die unabhängige Eingabe von Sollgeschwindigkeit, Steigungsverlauf der Straße, und wenn ein Getriebe vorhanden ist, auch die gewünschte Gangstufe möglich ist, um jeden beliebigen Real Life Cycle implementieren zu können. Das Strategie-Modell (Strategy) in der Simulation beinhaltet die Betriebsstrategie des jeweiligen Fahrzeuges (reines Bremsen, rekuperieren, ...), welche eingestellt und angepasst werden kann. Die Informatio-

nen bzw. Parametrierung der Umgebung erfolgte mit dem Ambient Modell (Ambience), das den Zustand der Umgebungsluft wie Lufttemperatur, Luftdichte, Luftdruck usw. definiert.

In dem erstellten Simulationsmodell wurden auch die wichtigsten Nebenverbraucher implementiert, siehe Abbildung 2.2.3. Da eine detaillierte Betrachtung und Modellierung der Nebenaggregate (Einschaltzeitpunkte, Einschaltdauer, Leistungen, ...) den Projektrahmen sprengen würde, wurden diese bei den folgenden Simulationen aber nicht betrachtet.

Wie bereits erwähnt wurden die 4 unterschiedlichen Fahrzeugklassen in der Simulationsumgebung DYMOLA aufgebaut, welche auf der Programmiersprache MODELICA basiert. Ein großer Vorteil dieser Programmiersprache ist die Möglichkeit bidirektionaler Modellierung der einzelnen Komponenten, wodurch komplexe Zusammenhänge einfacher behandelt werden können. Im Simulationsmodell (Abbildung 2.2.3) können entsprechende Fahrwiderstände wie Rollwiderstand, Luftwiderstand, translatorische und rotatorische Massen berücksichtigt und für die einzelnen Fahrzeugklassen extra angepasst werden. Die Simulationsbibliotheken für das Projekt SEM wurden auf Basis der von AIT entwickelten MODELICA Bibliotheken SmartElectricDrives (Library für elektrische Komponenten), SmartPowerTrains (Library für mechanische Komponenten) und SmartCooling (Library mit Modellen verschiedener Kühlerkomponenten) erstellt.

2.2.3 Darstellung der Messdaten und Aufbereitung für die Fahrzeugsimulation

Aus realen Fahrprofilen (FZG mit GPS Logger) wurden etwa 700 Fahrzyklen zur weiteren Bearbeitung gewonnen. Die Auswertung dieser Messdaten gestaltete sich schwieriger als erwartet. Einerseits kam es zu sehr störenden Koordinatensprüngen während der Initialisierungsphase des GPS Gerätes kurz nach dem Einschalten, andererseits gingen zahlreiche Messpunkte durch, zum Beispiel, fehlenden Satellitenkontakt verloren. Um einen besseren Überblick über die Messdaten zu erhalten, wurden die Zyklen zu Beginn aufbereitet um sie auf einer Karte darstellen zu können und eine erste optische Vorauswahl defekter Zyklen treffen zu können (Abbildung 2.2.6). In einem nächsten Schritt wurde die Orthodrome zwischen zwei Koordinatenpunkten auf Basis des WGS84-Ellipsoides berechnet. In diesem Stadium wurden schon auftretende Koordinatensprünge gefiltert und die Distanzen auf sinnvolle Werte begrenzt. Über die Zeitstempel der GPS Messung konnte das Geschwindigkeitsprofil ermittelt werden (Abbildung 2.2.7). Da die gemessenen GPS Höhenwerte meist zu sehr sprangen, wurde auf einen konsistenten Satz von Höhendaten (NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 90m Digital Elevation Data) zurückgegriffen damit ein einheitliches Steigungsprofil erstellt werden konnte. Die bis hier zeitabhängige Positionstabelle wurde dann in eine positionsabhängige Höhentabelle transformiert und das Profil geglättet um es in der Simulation verwenden zu können. In die Bearbeitung des stark springenden Geschwindigkeitsprofils waren eine Glättung des Profils, ein Beschränken von Beschleunigungen und Verzögerungen sowie ein Entfernen von Fahrvorgängen und „Stillstandsphasen“, die kürzer als vier Sekunden andauern, inkludiert. Im Zuge der Zyklenbearbeitung trat häufig der Fall auf, dass sich das Fahrzeug innerhalb von 24 Stunden weniger als 100 m bewegte. Diese Zyklen wurden schließlich als Stillstand gewertet und aus der Simulation entfernt. Schluss-

endlich standen knapp 640 Zyklen für alle weiteren Untersuchungen zur Verfügung, (Abbildung 2.2.7).



Abbildung 2.2.6: Optisch dargestellter Ausschnitt eines gemessenen Zyklus

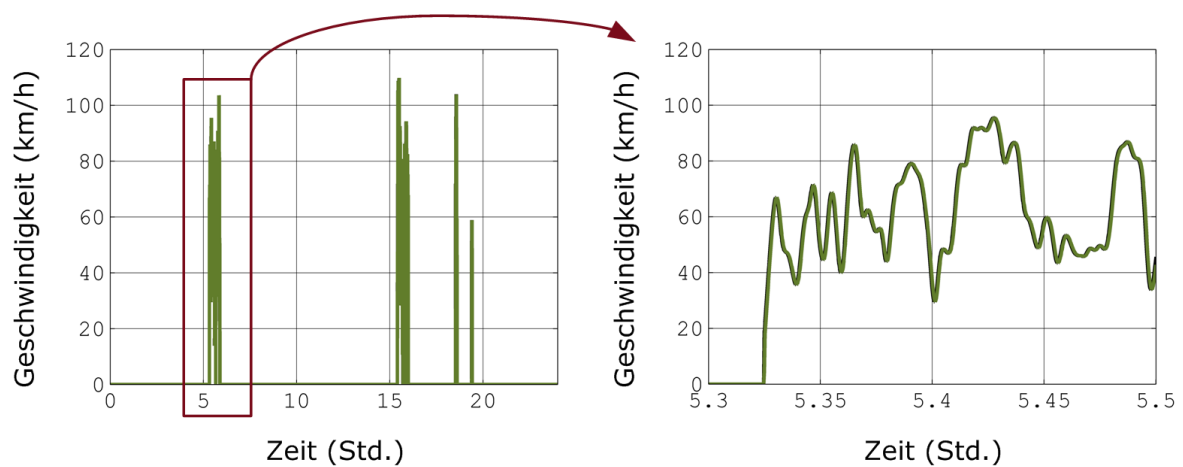


Abbildung 2.2.7: Ergebnis nach Aufbereitung eines Zyklus

2.2.4 Fahrzeugsimulation und Aufbereitung der Simulationsergebnisse

In den Simulationen wurde folgende Betriebsstrategie gewählt: Zuerst elektrisch Rekuperieren und erst kurz vor Fahrzeugstillstand oder wenn die elektrische Bremsleistung nicht ausreicht werden die Reibbremsen des Kfz verwendet, da sich mit dieser Strategie die meiste Energie zurückgewinnen lässt.

In der Fahrzeugsimulation ist es üblich, als Simulationsvorgabe die Sollgeschwindigkeit über der Zeit zu verwenden. Wenn jedoch das zu simulierende Fahrzeug nicht genug Antriebsleistung besitzt um die Beschleunigungen und Geschwindigkeiten zu erreichen, gibt es eine Ver-

fälschung der tatsächlich gefahrenen Strecke (wird kürzer). Dies resultiert daraus, dass die Fahrzeug-Ist-Geschwindigkeit immer oder oft kleiner ist als die Fahrzeug-Soll-Geschwindigkeit, und bei gleichbleibender Simulationszeit verringert sich die gefahrene Distanz. Da die gewählten Leistungen der elektrischen Maschinen in den Elektrofahrzeugen meist geringer waren als bei den vermessenen konventionellen Kfz, wurden zum Vergleich, auch alle Zyklen auch mit dem entwickelten „Geschwindigkeit über Position“ Modell simuliert. Dies bedeutet, dass falls höhere Sollgeschwindigkeiten vorgegeben werden, die das Fahrzeug aus Leistungsmangel nicht erreichen kann, das Fahrzeug so lange mit maximaler Geschwindigkeit weiterfährt, bis die vorgegebene Distanz gefahren wurde. Automatisch erhöht sich dadurch die Fahrzeit (Simulationszeit). Das gleiche Prinzip (Fahrzeitverlängerung) wurde auch angewendet, wenn die vorgegebenen Beschleunigungen nicht erreicht werden konnten. Abbildung 2.2.8 zeigt die Zeitdifferenz zwischen Simulationen „Geschwindigkeit über Zeit“ mit den Simulationen „Geschwindigkeit über Position“ für alle 31 Fahrzeuge, aufgeschlüsselt auf die einzeln gefahrenen Tage. Zu sehen in den Zeitvergleichen in (Abbildung 2.2.8) ist, dass der Unterschied zwischen 0 und etwa 4 Minuten liegt, was auf die unterschiedlichen Zyklendistanzen, den Fahrstil des Fahrers/ der FahrerIn aber auch auf die Leistungsunterschiede zwischen vermessenem Fahrzeug und dem simulierten Elektrofahrzeug zurückzuführen sind.

[illegible]

Abbildung 2.2.8: Zeitdifferenz in Sekunden zwischen „Simulation Geschwindigkeit über Zeit“ und „Simulation Geschwindigkeit über Position“

Hauptergebnisse der Simulationen waren die jeweils verbrauchte elektrische Energie für die aus den Messungen erhaltenen und aufbereiteten Streckenprofilen, sowie die kontinuierliche Leistungsanforderung in dem betrachteten Fahrzyklus. Simuliert wurde über einen ganzen Tag (24h) und diese Leistungsanforderungen wurden in Zeitschritten von 1 Sekunde aufgenommen. Als Simulationoutput wurden neben der Batterieleistung auch noch die Umgebungstemperatur, eine „Stillstandsinformation“, und die gefahrene Distanz gewählt.

Um die Rechenzeit für die Gesamtfahrzeugsimulation zu verringern wurde vorerst ein rein elektrisches Batteriemodell aufgebaut und implementiert (Abbildung 2.2.9). Dieses Modell besteht aus einem RC-Glied und einem weiteren elektrischen Widerstand in Serie geschaltet. Um die Genauigkeit des Modells zu steigern wäre es auch möglich weitere RC Glieder zu implementieren, was aber für unseren Anwendungsfall nicht notwendig war, da keine detaillierten Batterieanalysen gemacht wurden.

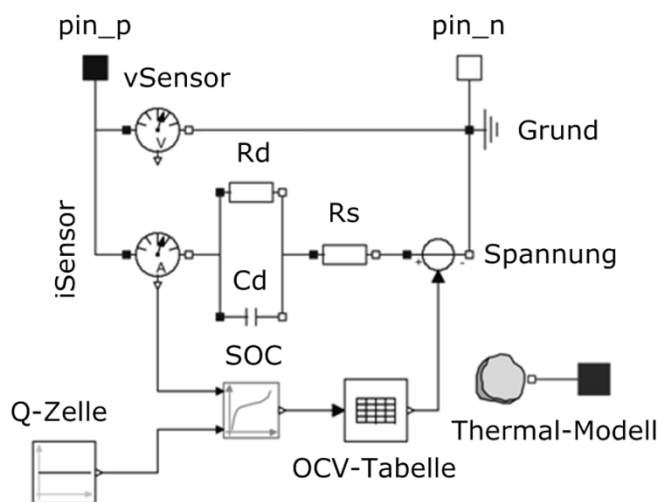


Abbildung 2.2.9: Elektrisches Modell einer Batteriezelle

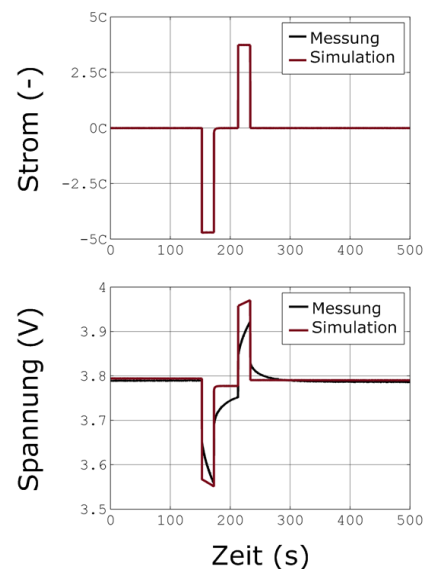


Abbildung 2.2.10: Validierung Batteriemodell

Die Parametrierung des Batteriemodells (Widerstände, Kapazität, OCV- Kurve, ...) erfolgte über die Vermessung einer handelsüblichen Lithium Ionen Zelle. Diese Zelle wurden bei AIT auf dem vorhandenen Batterieprüfstand vermessen, die Ergebnisse ausgewertet, und diese anschließend in das DYMOLA-Batteriemodell implementiert. Ein Vergleich zwischen Messung und Simulation ist in (Abbildung 2.2.10) dargestellt, bei dem ein negativer und anschließend ein positiver Stromimpuls angelegt wurden, und die Spannung dargestellt wird. Nachdem alle Gesamtfahrzeugsimulationen (31 Fahrzeuge, ca. 640 Tageszyklen) mit dem in die Fahrzeuge implementierten „schnellen“ vereinfachten Batteriemodell durchgeführt wurden, konnten die Simulationsergebnissen bezüglich Erfüllung der Reichweiten-Anforderung ausgewertet werden. Es stellte sich heraus, dass bei einer Batteriegrößenwahl laut Abbildung 2.2.11, nicht alle Fahrzeuge/Fahrzeugtypen bei „normal“ elektrischem Betrieb (nur „Normalladung“ an Standorten, bei denen Ladung möglich ist, kein Range Extender, keine Schnellladung) die erforderlichen Reichweiten bewältigen würden. In Abbildung 2.2.11 sind neben den angenommenen Batteriegrößen auch einige Spezifikationen bezüglich der Batterien zusammen gefasst.

ePLB CO20	Antriebs- leistung	Über- last	Seriel- zellen	Paralell- zellen	Nom. Strom	Zellen- energie	Zellen- masse	min. Zellen- spann.	max. Zellen- spann.	min. Batterie- spannung	max. Batterie- spannung	Batterie- kapazi- tät	Batterie- masse	max. Zellen- strom @ vMin	max. Zellen- strom @ vMax	max. Strom
	(kW)	(-)	(-)	(-)	(A)	(kWh)	(kg)	(V)	(V)	(V)	(V)	(kWh)	(kg)	(A)	(A)	(1C)
KW	25	2	70	3	20	0.0738	0.410	2.7	4.2	189	294	15.498	86	88.2	56.7	4.4
MK	35	2	100	3	20	0.0738	0.410	2.7	4.2	270	420	22.140	123	86.4	55.6	4.3
SUV	55	2	140	3	20	0.0738	0.410	2.7	4.2	378	588	30.996	172	97.0	62.4	4.9
TR	50	2	140	3	20	0.0738	0.410	2.7	4.2	378	588	30.996	172	88.2	56.7	4.4

Abbildung 2.2.11: Gewählte Batteriegrößen und Spezifikationen

Ausgehend von den gewählten Batterien können die Ergebnisse folgendermaßen zusammengefasst werden: Bei den Kleinwägen schaffen 80 % der Fahrzeuge alle Fahrzyklen, bei den Mittelklassefahrzeugen 66,6 %, bei den SUV nur mehr 40 % und bei den Transportern würde kein einziger Fahrer/ einzige FahrerIn alle seine/ ihre Wege ohne zusätzliche Energie leisten können. Diese Zahlen beziehen sich auf die Fahrzeuge mit rein elektrischem Batteriemodell und ohne integrierten Range Extender oder Schnellladung.

2.3 Energiebereitstellung, Netzeinbindung und Speichernutzung (AP3)

Einleitend werden in dieses Kapitel das Fahr- und das Standverhalten der betrachteten Fahrzeuge analysiert um Aussagen über Weglängen und häufig genutzte Standorte treffen zu können. Darauf aufbauend wurden für die verschiedenen Standorte energetische Betrachtungen durchgeführt, die resultierenden Ladeprofile gebildet und der Gleichzeitigkeitsfaktor für E-Fahrzeuge berechnet. Weiters konnten mittels vereinfachten Batteriemodells erste Aussagen über das Batterieverhalten getätigt werden. In Hinblick auf Ladesteuerung wurde vor allem das erzeugungsorientierte Laden mit Photovoltaik betrachtet und Sensitivitätsanalysen für Deckungs- und Integrationsgrad durchgeführt.

2.3.1 Fahrtlängenverteilung

Bevor weitere Analysen basierend auf den – mittels GPS-Loggern aufgenommenen – Datensätzen folgten, wurden zuerst die einzelnen Fahrten der SEM-Fahrzeuge untersucht. Dieser Betrachtung ist zugrunde gelegt worden, dass eine Fahrt stets zwischen zwei Stillständen größer gleich 10 Minuten liegt. Kürzere Stopps z.B. an einer roten Ampel wurden der Fahrt zugerechnet. Abbildung 2.3.1 stellt die Summenhäufigkeit der Fahrtlängen dar. Diese beinhaltet die Fahrten aller Wochentage (Mo bis So) des durchschnittlich drei wöchigen Betrachtungszeitraumes pro Fahrzeug.

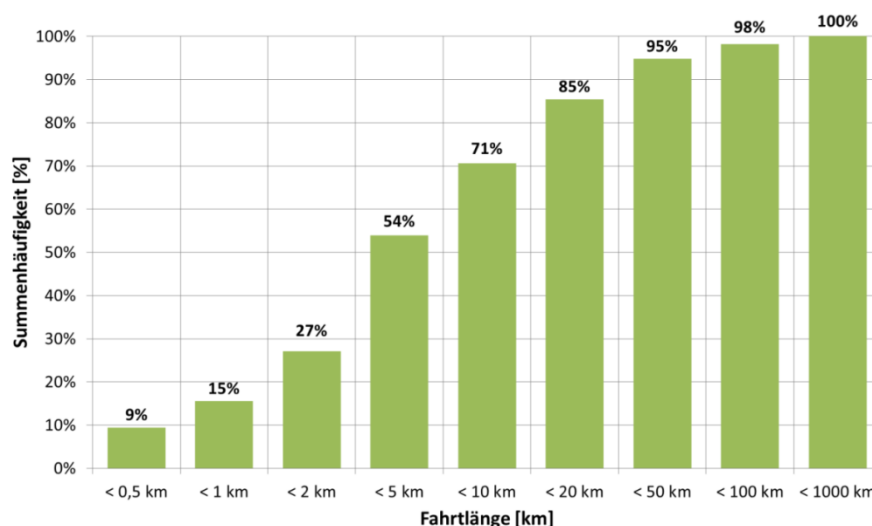


Abbildung 2.3.1: Summenhäufigkeit der Fahrtlängen (alle Wochentage, Mo-So)

Es ist ersichtlich, dass 95 % der Fahrten kleiner als 50 km ausfallen¹. Betrachtet man nur die einzelnen Fahrten und nimmt z.B. Reichweiten von ca. 100 km pro Batteriefüllung an, können fast alle Wege des MIV mit heutigen E-Fahrzeugen durchgeführt werden. Dieses Ergeb-

¹ Im Ergebnisbericht der landesweiten Mobilitätsbefragung in NÖ 2008 [31] wird die Summenhäufigkeit der werktäglichen Wegdistanzen von bis zu 50 km mit rund 94 % angegeben.

nis ändert sich jedoch, wenn die max. Fahrtlängen auf die einzelnen Fahrzeuge bezogen werden. Es wurde für jedes Fahrzeug berechnet, wie weit die längste Fahrt und die max. Tagesfahrleistung in der gesamten Betrachtungszeit ist. In Abbildung 2.3.2 sind die dazugehörigen Summenhäufigkeiten dargestellt. Sie zeigen, dass 47 % der Fahrzeuge zumindest an einem Tag mehr als 150 km fahren und davon ca. die Hälfte sogar Einzelfahrten von über 150 km besitzen. Um genauere Aussagen bezüglich Erfüllbarkeit der Mobilität treffen zu können wurden dazu weiterführende Analysen mit verschiedenen Parametervariationen und Szenarien in den Arbeitspaketen 4 und 5 (siehe Kapitel 2.4 und 2.5) durchgeführt.

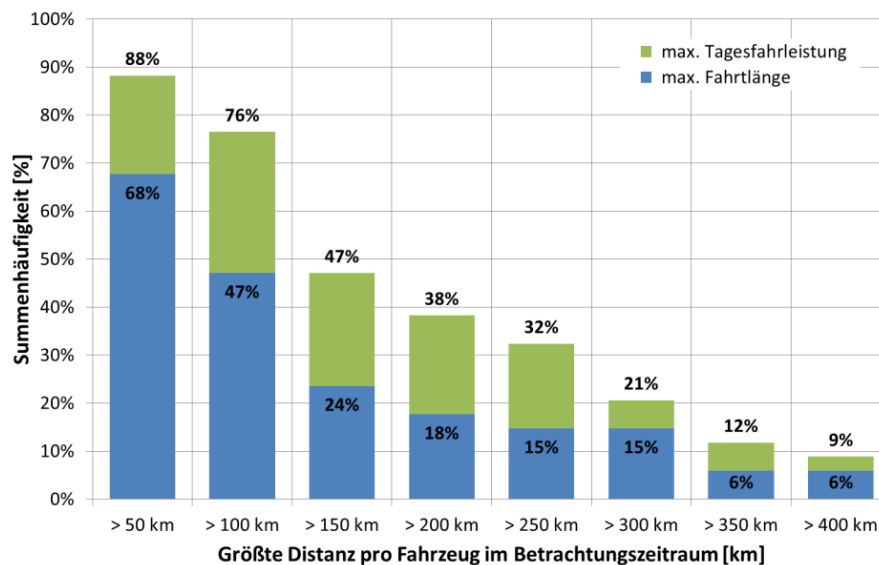


Abbildung 2.3.2: Summenhäufigkeit der größten Distanzen je Fahrzeug (alle Wochentage, Mo-So)

2.3.2 Standplatzverteilungen

Zusätzlich zur Aufnahme der GPS-Fahrdaten wurden auch die häufigsten Plätze, an denen die Fahrzeuge abgestellt waren, erhoben (siehe Kapitel 2.1.2). In Tabelle 2.3.1 sind diese aufgelistet. Mit dem Wissen über die Standplätze konnten die Anteile im Tagesverlauf analysiert werden.

Abbildung 2.3.3 zeigt die Ergebnisse: Über 85 % aller Fahrzeuge stehen in den Nachtstunden und zumindest 40 % zu allen Tageszeiten durchschnittlich zu Hause. Der Anteil der am Arbeitsplatz/Ausbildung abgestellten Fahrzeuge hat sein Maximum um 10 Uhr vormittags und beträgt ca. 35 %. Die nächsthäufigeren Standorte sind „Freizeit“ und „Besuche“. Diese erreichen einzeln jedoch zu keinem Zeitpunkt einen Anteil über 10 %. Es sind im Mittel nie mehr als 13 % der SEM-Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs. Um die Aussagekraft der Analysen zu überprüfen wurden die Standortverteilung auch für die Datensätze verschiedener Mobilitätsbefragungen, wie jene aus Niederösterreich 2008 [31] oder aus Deutschland 2008

[32], erstellt². Vergleicht man die unterschiedlichen Standortverteilungen, so ist eine starke Übereinstimmung zu erkennen (siehe Abbildung 2.3.4).

Tabelle 2.3.1: Erhobene Standplätze nach Ort (links) und Art (rechts)

Standplatz	Ort	Standplatz	Art
0	Fahren/ kein Standplatz	0	Fahren/ kein Standplatz
1	Zu Hause	1	Privater Garagenplatz
2	Arbeitsplatz/ Ausbildung	2	Privater Stellplatz nicht-überdacht
3	dienstlich/ geschäftlich	3	Privater Stellplatz überdacht (Carport)
4	Einkauf (täglicher Einkauf)	4	Volksgarage
5	Einkauf (nichttäglicher Einkauf)	5	Stellplatz am Straßenrand (öffentlicher Grund)
6	Bringen/ Holen	6	Anderer, nicht zuordenbar
7	Freizeit	10	Unbekannt
8	Besuche		
9	Anderes, Rest, nicht zuordenbar		
10	Unbekannt		

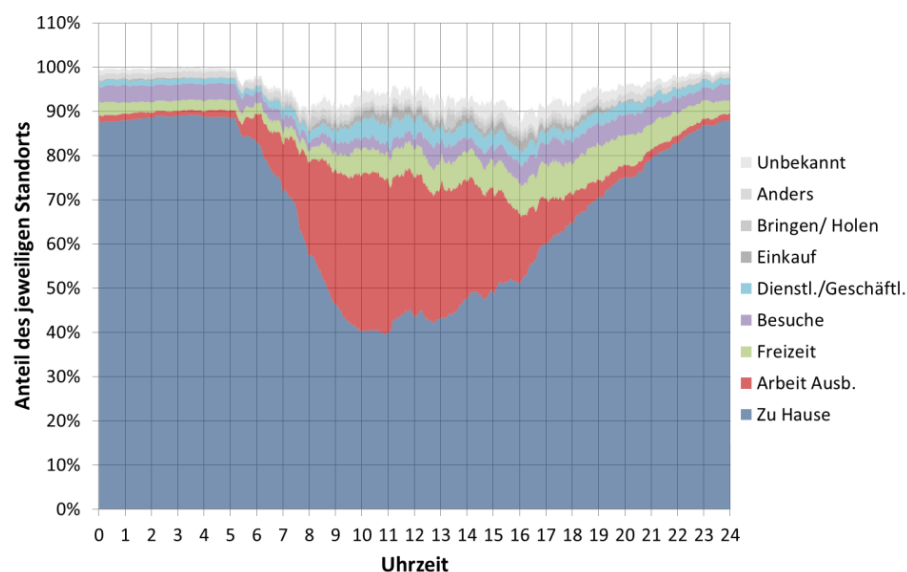


Abbildung 2.3.3: Standortverteilung der SEM-Fahrzeuge (alle Standorte, alle Tage)

Zur Analyse der Unterschiede zwischen den Arbeitstagen (Mo bis Fr) und dem Wochenende (Sa und So) wurden die Datensätze der Mobilitätserhebung MiD 2008 [32] herangezogen, da die Anzahl der aufgenommenen Wochenendtage bei der SEM-GPS-Erhebung relativ gering ist.

² Diesen wurde zugrunde gelegt, dass der Anteil der Fahrzeuge, die an einem Tag gar keine Wege durchführen, 20 % beträgt. Dies entspricht dem errechneten Wert für die Fahrzeuge aus dem Forschungsprojekt SEM. Die Daten von Niederösterreich und Deutschland beziehen sich auf Arbeitstage (Mo bis Fr).

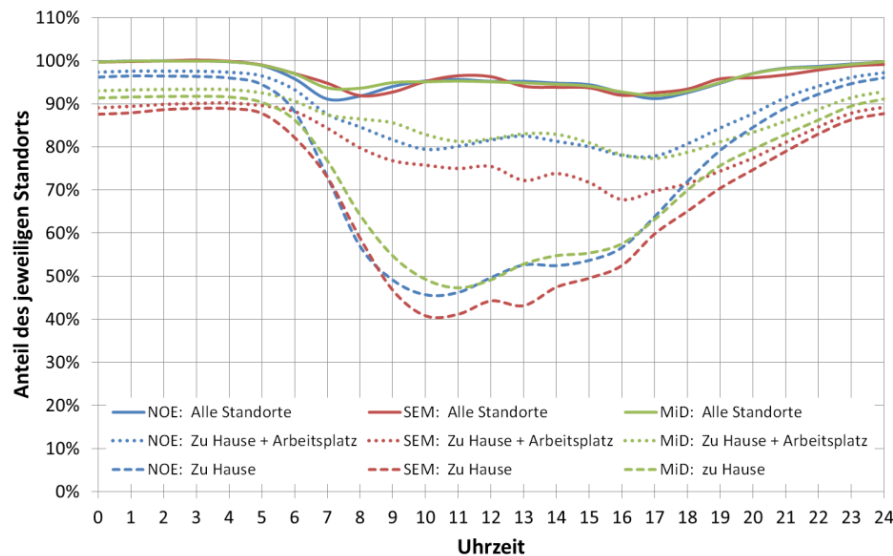


Abbildung 2.3.4: Vergleich der Standortverteilungen verschiedener Mobilitätserhebungen

Abbildung 2.3.5 stellt die Ergebnisse für Montag bis Donnerstag gemeinsam und Freitag, Samstag und Sonntag einzeln dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass ab Freitag der Anteil des Standorts „Arbeitsplatz/Ausbildung“ (in weitere Folge kurz „Arbeitsplatz“ genannt) stark abnimmt und im Gegenzug die Standorte „zu Hause“ aber auch „Freizeit“ und „Besuche“ an Anteilen dazugewinnen.

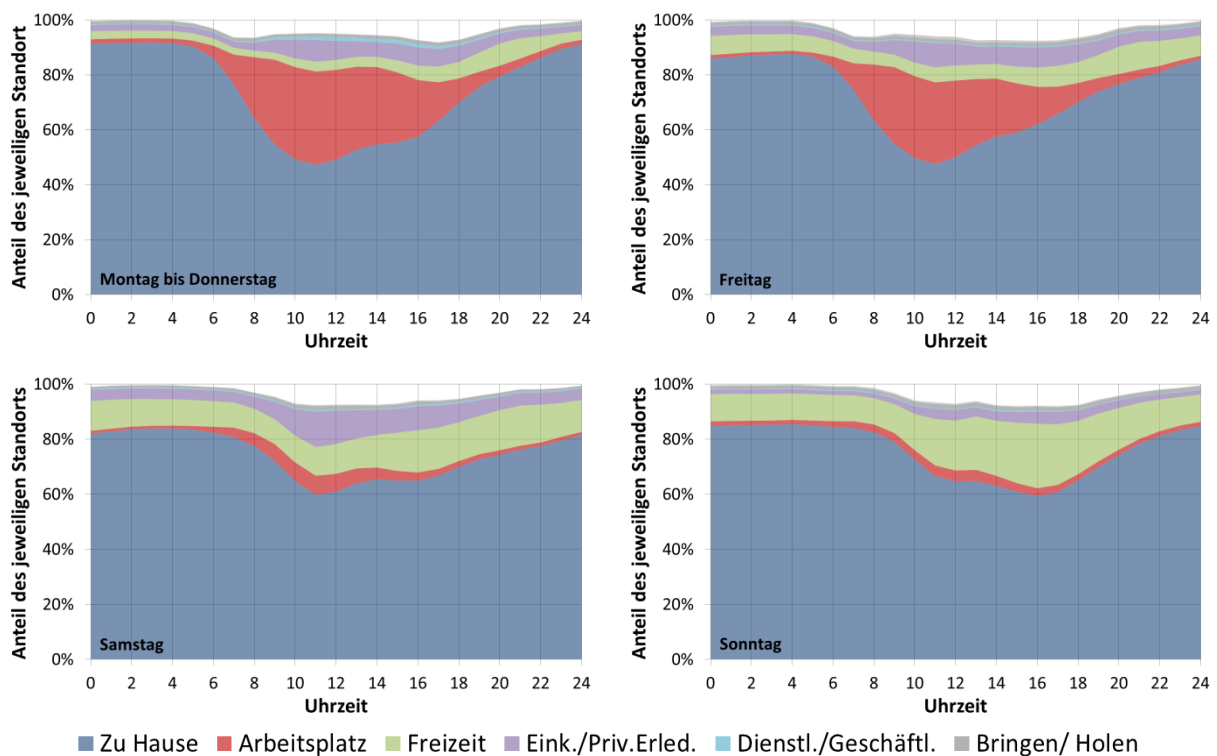


Abbildung 2.3.5: Standortverteilung der Datensätze der MiD 2008 nach Wochentagen

Betrachtet man nicht nur den Ort, sondern auch die Arten der verschiedenen Standplätze (Abbildung 2.3.6), so lässt sich erkennen, dass etwa ein Drittel der Standplätze am Straßenrand aufzufinden sind. Beinahe zwei Drittel sind private Stellplätze und Garagen. Gerade das Parken am Straßenrand (öffentlicher Grund) stellt für die Elektromobilität in Bezug auf die Finanzierung der Ladeinfrastruktur eine große Herausforderung dar. Jedoch wurden die Standorte mit Straßenrandparken in den Analysen berücksichtigt, da es – auf Grund zukünftiger Ladeinfrastrukturausbauten – möglicherweise zu einer Substitution durch eine andere Art des Standplatzes kommt.

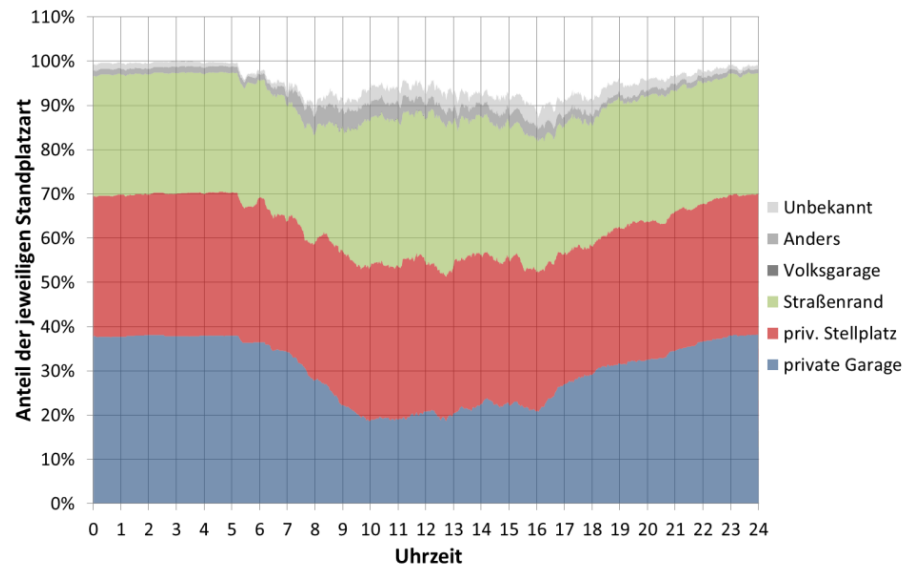


Abbildung 2.3.6: Verteilung der Art der Standplätze der SEM-Fahrzeuge (alle Standorte, alle Tage)

2.3.3 Batterieverhalten

Das unterschiedliche Nutzerverhalten und der Ladeprozess wirken gemeinsam auf das Verhalten der Batterie und deren Lebensdauer ein. Im Allgemeinen unterscheidet man bei Li-Ionen-Batterien zwischen der kalendarischen und der zyklischen Alterung [33]. Welche je nach Gebrauch und Elektrodenmaterial unterschiedlich stark ausfällt. Die Batteriealterung verursacht einen Anstieg des Innenwiderstandes der Batterie und äußert sich durch ein kontinuierliches Absinken der maximalen Klemmenspannung und folglich durch den Verlust von Kapazität [33]. Fällt diese einnehmbare Batteriekapazität unter einen spezifischen Teil des Nennwertes (bei Li-Ionen-Batterien rund 80 % [33]) ist deren nutzbare Lebensdauer erreicht. Die zyklische Alterung wird als Anzahl von Zyklen angegeben und ist von mehreren Einflussfaktoren abhängig. Dazu gehören:

- Außentemperatur [°C]
- Stromstärke [A] bzw. [C-Rate]³
- DOD (Depth of Discharge = Entladetiefe je Zyklus) [%]

³ Die Einheit C-Rate ist wie folgt quantifiziert: 1 C-Rate bedeutet, dass die Zelle in einer Stunde unter Nennbedingungen entladen wird. Dauert der Entladevorgang hingegen 10 Stunden so schreibt man 0,1 C-Rate.

- SOC (State-of-Charge = Ladezustand bei Entladung bzw. Ladung) [%]

Wobei das in weiterer Folge betrachtete AIT-Batteriemodell (siehe Kapitel 2.2.1) per Annahme nur den SOC-abhängigen Alterungsprozess berücksichtigt. Dafür wurde ein Ageing-Faktor in Form einer Wannenkurve implementiert, der vor allem im SOC-Bereich über 80 % und unter 20 % hohe Werte erreicht. Je größer der Ageing-Faktor, desto stärker ist der negative Einfluss auf die Lebensdauer. Abhängigkeiten von der Stromstärke bzw. der Temperatur wurden auf Grund des Detaillierungsaufwands und noch unsicherer Parameterwerte nicht betrachtet.

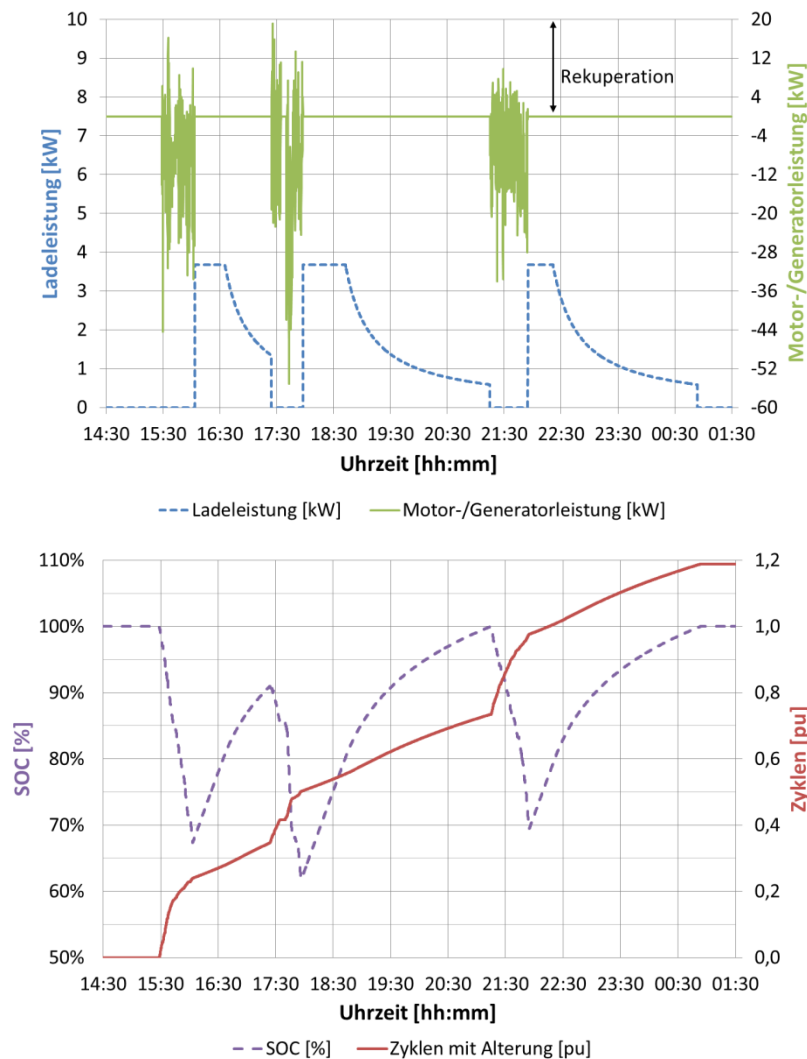


Abbildung 2.3.7: Motor- und Ladeleistungsverlauf (oben), wie auch SOC- und Zyklen-Verlauf (unten) für ein repräsentatives Elektrofahrzeug über mehrere Stunden

Das vereinfachte Batteriemodell wurde vom AIT mit der Programmiersoftware DYMOLA realisiert, in MATLAB/SIMULINK eingebettet und von der TU Wien mit einer Ladesteuerung erweitert. Die Simulation arbeitet den zeitlichen Leistungsverlauf sukzessive ab und erzeugt für jeden Rechenschritt den dazugehörigen SOC-Wert, wie auch die aktuelle Anzahl der durchlaufenen Zyklen. Diese lässt auf das Alter der Batterie rückschließen. Abbildung 2.3.7 zeigt für ein repräsentatives Elektrofahrzeug über mehrere Stunden die Verläufe von Motor-, Ladeleistung, SOC-Wert und Anzahl der Zyklen.

Tabelle 2.3.2 zeigt anhand einiger Szenarien die SOC-abhängige Batteriealterung für sechs ausgewählte Fahrzeuge. In diesen Analysen wird die kalendarische Alterung nicht betrachtet. Die Zellen, die keinen Zahlenwert beinhalten, stellen jene Fälle dar, bei denen die zugrunde gelegte Batteriegröße, zur Bewältigung aller Fahrten, nicht ausreicht (d.h. der SOC-Wert der Batterie wird zu irgend einem Zeitpunkt gleich null). Die Ergebnisse der Simulationen lassen drei Kernaussagen zur SOC-abhängigen Batteriealterung zu:

- Die Lebensdauer steigt bei Verwendung einer größeren Batteriekapazität
- Wird die Batterie nur in einem SOC-Bereich von 20 % bis 80 % betrieben, ist die Lebensdauer am längsten.
- Bei den vorliegenden sechs Fahrmustern ist die Lebensdauer größer, wenn nur nach der letzten Tagesfahrt geladen wird, als bei Ladevorgängen nach jeder Fahrt.⁴

Punkt 1 wird damit begründet, dass bei gleichem Fahrverhalten aber größerer Batteriekapazität die Anzahl der Zyklen sinkt. Die Aussage von Punkt 3 lässt sich damit erklären, dass beim Laden nach jeder Fahrt der problematische SOC-Bereich von 80 % bis 100 % vermehrt benutzt wird und somit die Batterie schneller altert. Diesen Effekt kann man vermeiden, indem nur der SOC-Bereich unter 80 % verwendet wird. Die längste Lebensdauer wird dann erzielt, wenn überhaupt nur der SOC-Bereich von 20 % bis 80 % Verwendung findet. Dies verringert jedoch deutlich die mögliche Reichweite pro Fahrt.

Tabelle 2.3.2: SOC-abhängige Anzahl der Zyklen für ausgewählte Fahrzeuge und Szenarien

Ladestrategie	Laden nach jedem Stopp	Laden nach jedem Stopp	Laden nur nach letzter und vor erster Fahrt	Laden nach jedem Stopp	Laden nach jedem Stopp	Laden nur nach letzter und vor erster Fahrt
Laden / Entladen	0% bis 100% SOC	0% bis 100% SOC	0% bis 100% SOC	0% bis 80% SOC	0% bis 80% SOC	0% bis 80% SOC
Batteriekapazität [kWh]	16,8kWh	33,6kWh	33,6kWh	16,8kWh	33,6kWh	33,6kWh
Ladeleistung [kW]	3,68kW	3,68kW	3,68kW	3,68kW	3,68kW	3,68kW
	simulierte SOC-abhängige Anzahl der Zyklen (hochgerechnet auf ein Jahr)					
Fahrzeug 1	113	69	57	---	24	---
Fahrzeug 2	275	177	126	96	49	47
Fahrzeug 3	213	123	99	69	35	33
Fahrzeug 4	123	68	51	33	17	16
Fahrzeug 5	---	217	---	---	71	---
Fahrzeug 6	92	48	45	23	11	11

⁴ Dies gilt für das Laden auf 100 % SOC. Wenn man im 20 - 80 %-Fenster bleibt und hohe Reichweite verfügbar haben möchte, ist ein Zwischenladen tagsüber auf 80 % SOC alterungstechnisch nicht schlechter gestellt.

2.3.4 Leistungsprofile des ungesteuerten Ladens

Ziel dieser Ausarbeitungen ist es, den zukünftigen elektrischen Verbrauch und Zeitverlauf der Elektromobilität möglichst realitätsnahe zu modellieren. Aufgrund der Tatsache, dass derzeit Elektrofahrzeuge nicht in großer Stückzahl auf Österreichs Straßen vertreten und somit auch nicht die Effekte einer hohen Fahrzeugbestandsdurchdringung messbar sind, ist eine synthetische Modellierung erforderlich. Diese bildet das Verhalten anhand von Erfahrungswerten, Messwerten und Annahmen nach. Im Projekt SEM wurde ein Bottom-Up-Ansatz für die Modellerstellung entwickelt, welcher für die Daten der Langzeiterhebung sowie für die statistischen Stichtagsdaten angewendet wird. Ausgehend von Ladeparametern, dem Ladebedarf und dem Standverhalten lässt sich für jedes Fahrzeug über den Betrachtungszeitraum ein Lastprofil ermitteln. Hierbei wird ungesteuertes Laden vorausgesetzt, d.h. das Laden startet unmittelbar nach dem Abstellen und Verbinden des Fahrzeugs mit dem Netz.

2.3.4.1 Lastprofilbildung über verschiedene Standorte

Für drei Szenarien eines Ladeinfrastrukturausbaus wurden Ergebnisse erarbeitet. So wurden Summenleistungsprofile sowie standortbezogene Auswertungen hinsichtlich Leistungsverlauf und energetischem Bedarf ermittelt. In Abbildung 2.3.8 sind die modellbasierten Zusammenhänge dargestellt.

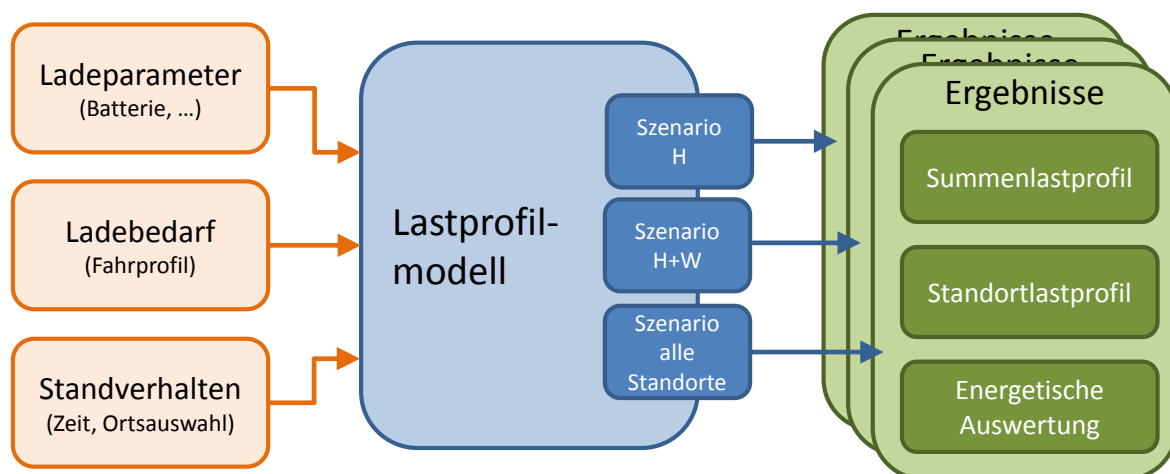


Abbildung 2.3.8: Bottom-Up-Modell für die Erstellung von Lastprofilen

Abbildung 2.3.9 zeigt die einzelnen Schritte der Vorgehensweise. Die Auswertung der Standorte hinsichtlich Lademöglichkeit stellt den ersten Schritt dar. Die untere Abbildung weist exemplarisch das Ladeprofil für ein Fahrzeug und einen Tag (Ladeinfrastruktur „Zuhause“) auf. Das durchschnittliche Tagesprofil eines Fahrzeugs entsteht durch Mittelung über den jeweiligen Beobachtungszeitraum. Während dieser bei der Langzeiterhebung etwa drei Wochen beträgt, liegt bei der Stichtagserhebung nur ein Tag je Fahrzeug an Datenmaterial vor.

Das Summenprofil der jeweiligen Datengrundlage ergibt sich darauf aufbauend durch Summation der Einzelprofile und Normierung auf die Anzahl der Elektrofahrzeuge.

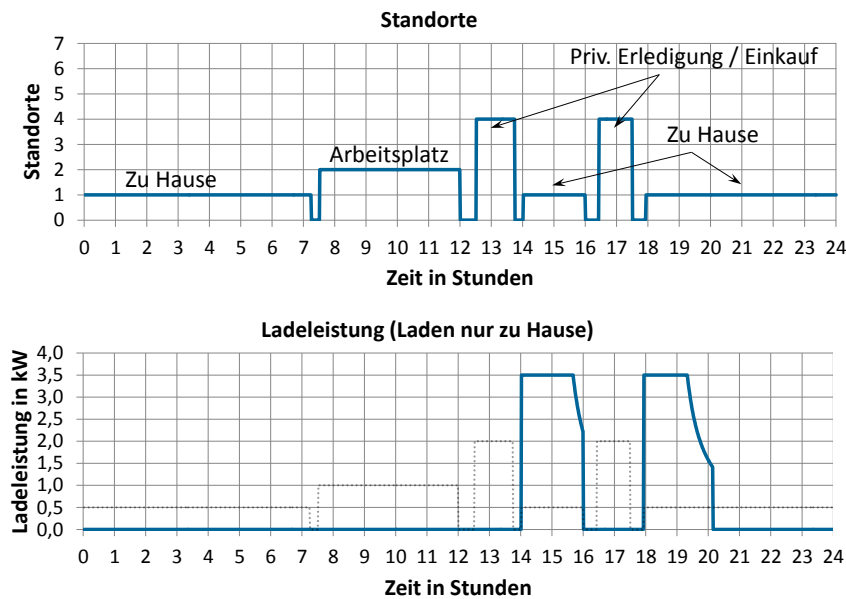


Abbildung 2.3.9: Schematische Darstellung der Entstehung einzelner Ladeprofile

Abbildung 2.3.10 stellt die Summenleistungsprofile bei unterschiedlichen Szenarien des Ladeinfrastrukturausbaus dar. Eine ausgeprägte Abendspitze ist erkennbar, die bei stärkerem Ausbauzustand geringer ausfällt und den Ladebedarf vermehrt über den ganzen Tag verteilt.⁵

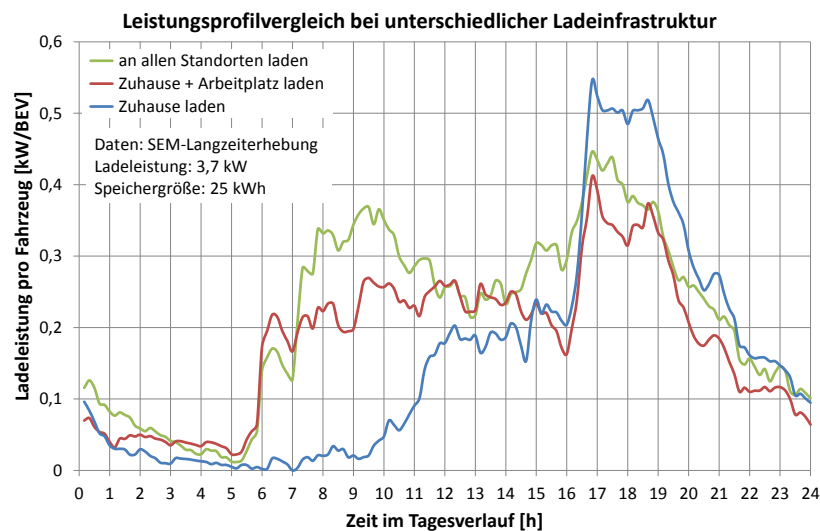


Abbildung 2.3.10: Summenleistungsprofil für verschiedene Ladeinfrastruktur (SEM-Langzeiterhebung)

⁵ Durch das Laden an mehreren Standorten, können mehr Fahrprofile von Fahrzeugen erfüllt werden, wodurch ein höherer Ladebedarf entsteht, auch wenn dieser auf die Fahrzeugzahl bezogen wird. Aus diesem Grund liegt in Abbildung 2.3.10 die Leistungskurve von allen Standorten nahezu im ganzen Tagesverlauf oberhalb von Zuhause + Arbeitsplatz.

Zieht man nun für die Standortauswertung das Szenario mit allen Standorten heran und erhebt die geladenen Energiemengen je Standort, ergibt sich Abbildung 2.3.11. Deutliche Dominanz zeigen nur die Standorte „Zuhause“ und „Arbeitsplatz“. Auch die Standorte „Freizeit“ und „Besuche“ heben sich noch etwas von den übrigen Lastprofilen der weiteren Standorte ab. Dieser Sachverhalt bleibt auch bestehen, wenn der Standort „Arbeitsplatz“ nicht als Ladestandort zur Verfügung steht. Dies bedeutet, dass energetisch die kurzzeitigen Standorte auch in Summe keinen wesentlichen Anteil übernehmen.

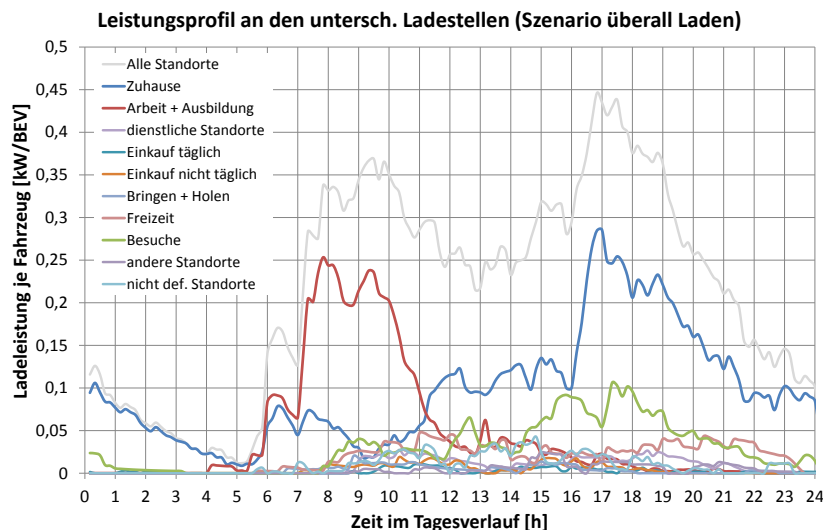


Abbildung 2.3.11: Summenladeprofil je Standort (SEM-Langzeiterhebung)

2.3.4.2 Energetische Betrachtung der Standorte

Noch deutlicher kann die Bedeutung der energetischen Relevanz der Standorte in Abbildung 2.3.12 vermittelt werden. Selbst wenn Ladeinfrastruktur bei allen Standorten verfügbar wäre, würden Zuhause und am Arbeitsplatz mindestens 65 % der Energie geladen werden. Diese Standorte haben die Besonderheit, dass ihnen im Regelfall ein definierter Standort zugeordnet werden kann, während Freizeit, Einkaufen, etc. sich innerhalb der Kategorie auf viele verschiedene Orte aufteilen. Besonders in einer Startphase mit geringer Fahrzeugdurchdringung würden die kleinen Kategorien kaum hohe Auslastungen erzielen können, um eine Investition zu rechtfertigen.⁶

⁶ Einzelne Freizeitstandorte, an denen das Fahrzeug regelmäßig und lange abgestellt wird, können ebenfalls zu den wichtigen Standorten hinzugezählt werden.

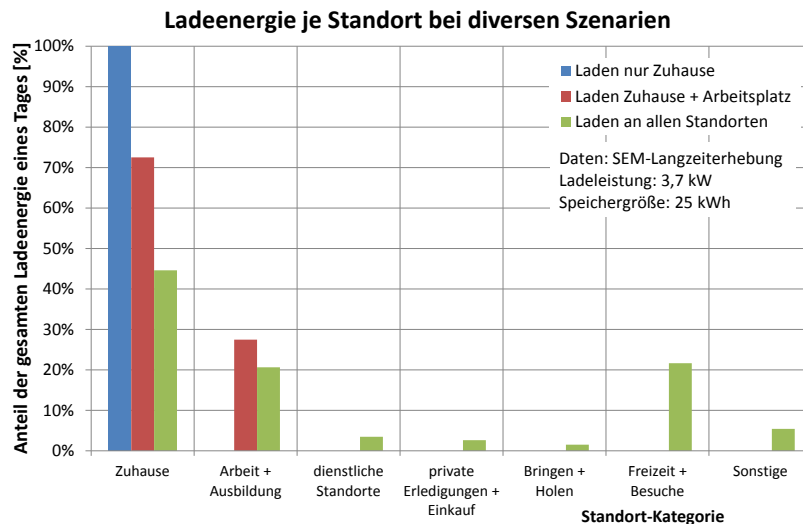


Abbildung 2.3.12: Ladeenergie je Standort in den drei Szenarien (SEM-Langzeiterhebung)

Aufgrund der kleinen Fahrzeugzahl der Langzeiterhebung ist eine Bestätigung der Aussagen durch einen weiteren Datenbestand sinnvoll. Dies kann mit den statistischen Daten aus Niederösterreich erfolgen, durch Quelle [31]. Durch die größere Fahrzeugzahl zeigt sich ein glatteres Verhalten der Kennlinien. Das energetische Verhalten ist jedoch nahezu ident, wobei die Dominanz von Zuhause und Arbeitsplatz (aufgrund der Arbeitstagbetrachtung) noch ausgeprägter ist. Abbildung 2.3.13 stellt die Ergebnisse dazu kompakt dar.

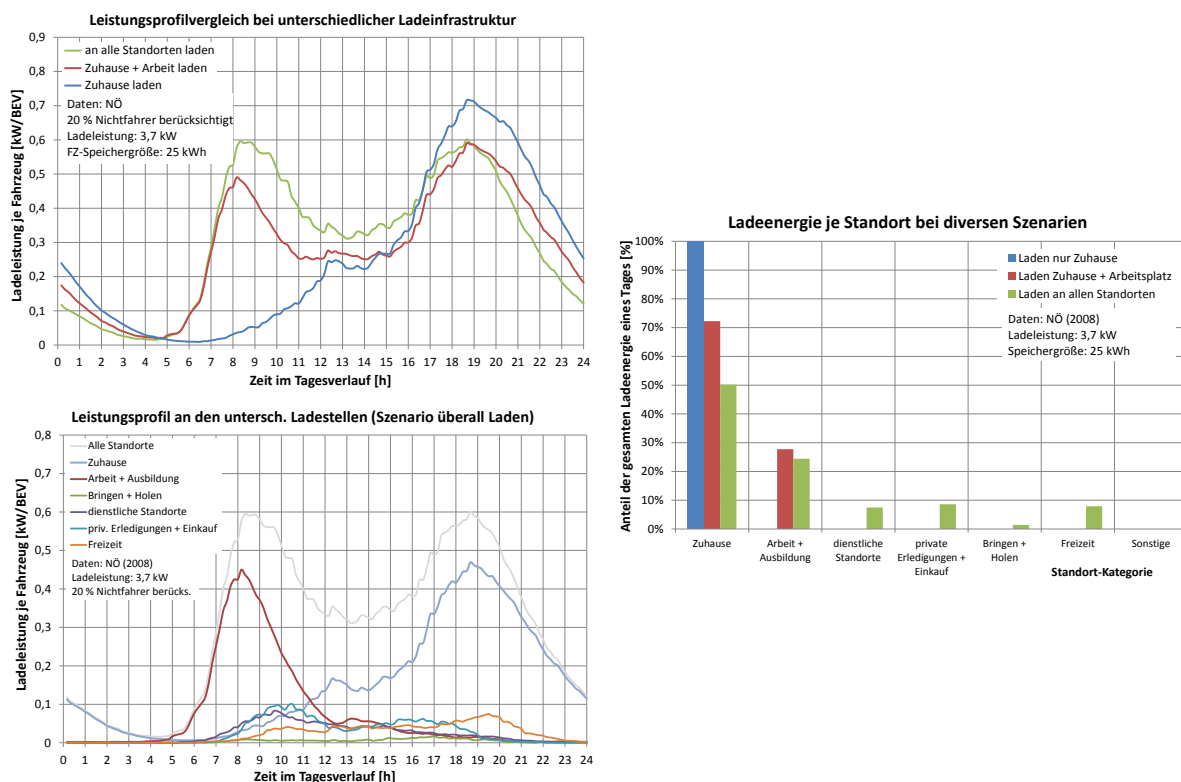


Abbildung 2.3.13: Summenladeprofil und Ladeenergie für alle drei Szenarien, Standortladeprofil für das Szenario „Laden an allen Standorten“, statistische Verkehrserhebungsdaten für Niederösterreich

2.3.4.3 Wochentagsabhängigkeit

Da bei der SEM-Langzeiterhebung auch die Wochenenden eingebunden sind und sich die statistischen Stichtagserhebungen Niederösterreichs auf Arbeitstage (Mo-Fr) beziehen, ist der Wert für Freizeit-Standorte in der Werktagstatistik deutlich geringer. Die Wochentagsabhängigkeit ist nicht nur bei dieser energetischen Betrachtung erkennbar, sondern auch bei den Lastprofilen, wie Abbildung 2.3.14 verdeutlicht. Die Freizeitfahrten und privaten Erledigungen führen an Wochenenden zu verschobenen Lastprofilverläufen.

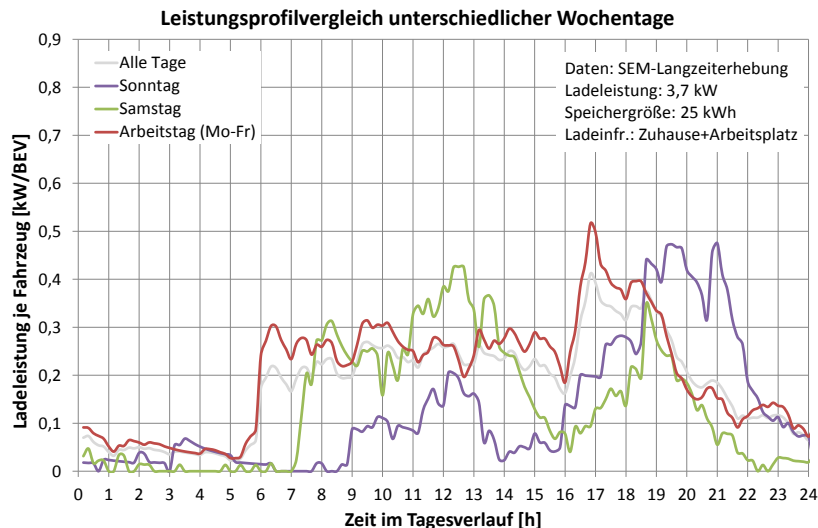


Abbildung 2.3.14: Summenleistungsprofil für verschiedene Wochentage (SEM-Langzeiterhebung)

Aufgrund der geringen Anzahl an betrachteten Wochenenden sind die Wochentagsunterschiede noch mit Vorsicht zu genießen und für umfassende Aussagen durch eine größere Datenstichprobe zu verifizieren.

2.3.4.4 Leistungsabhängigkeit

Die gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf Ladeleistungen von max. 3,7 kW (einphasig, 16 A, 230 V). Höhere Ladeleistungen (z.B. 11 oder 22 kW) führen zu schlankeren, aber auch höheren Lastspitzen im Zeitverlauf und wären nur dann von Vorteil, wenn dadurch ein größerer Anteil an Fahrprofilen erfüllt werden könnte.⁷ Noch höhere Leistungen (44 kW und mehr) fallen bereits unter Schnellladung und führen zu verstärkter Belastung der Fahrzeugbatterien und der elektrischen Netze. Für die tägliche Anwendung wäre die Schnellladung nicht vorteilhaft, da der Ladebedarf sehr gut mit Normalladung im einstelligen Leistungsbereich erfüllt werden kann. Für lange Strecken – speziell im Freizeitverkehr – wird die Schnellladung als Option für die Reichweitenverlängerung sehr wohl angedacht und im Kapitel 2.5 genauer behandelt.

⁷ Die Erfüllbarkeitsanalyse wird im Abschnitt 2.4.3.2 vorgestellt. Es wird dort gezeigt, dass höhere Ladeleistungen die Erfüllbarkeit nicht erhöhen.

2.3.5 Modellvergleiche

Abschließend soll an dieser Stelle gezeigt werden, wie die vorliegenden Modelle zur Lastprofilbildung übereinstimmen bzw. divergieren:

- Lastprofil-Tool auf Basis von stochastischen Verteilungen⁸
- Lastprofil-Modell mit SEM-Langzeiterhebungsdaten
- Lastprofil-Modell mit statistischen Verkehrsdaten für NÖ und Salzburg

Der Vergleich der normierten Leistungsprofile in Abbildung 2.3.15 zeigt die gute zeitliche Korrelation der Profile deutlich. Unterschiede sind vorwiegend in der Lastspitze ersichtlich und ergeben sich aufgrund folgender Tatsachen:

- Die Werte für Niederösterreich und Salzburg variieren vorwiegend aufgrund der lokalen Gegebenheiten zueinander. In Salzburg sind die zurückgelegten Entfernungen geringer, sodass auch regional ein geringerer Ladebedarf besteht.
- Das Lastprofil-Tool konnte durch Nutzung der mittleren Weglängen nur auf die größte Datenbasis zurückgreifen und weist die größte Amplitude auf.
- Der Wert der Leistungsspitze der SEM-Langzeiterhebung liegt unter den anderen Erhebungen, weil die geringe Fahrzeugzahl eine Einschränkung der Durchmischung darstellt und in der Erhebung die Fahrleistung der verbliebenen Fahrzeuge⁹ voraussichtlich unter dem Durchschnitt lag. Eine größere Daten-Stichprobe lässt verbesserte Werte erwarten.

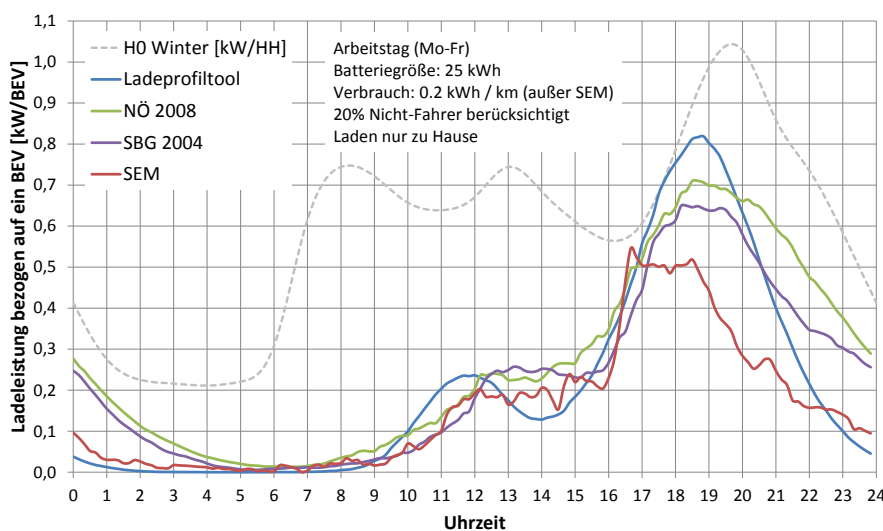


Abbildung 2.3.15: Gegenüberstellung der Summenladeprofile unterschiedlicher Modellzugänge („nur Zuhause laden“)

⁸ Diplomarbeit von Markus Litzlbauer auf Basis mittlerer Weglängen und -dauern.

⁹ Es werden nur erfüllbare Fahrprofile für die Lastprofilbildung herangezogen. Diese weisen im Durchschnitt weniger als 30 km Tagesentfernung auf.

Bedeutend ist weiters der Vergleich mit dem Haushaltslastprofil. Wie in Abbildung 2.3.15 ebenfalls ersichtlich, kann die ungesteuerte gemittelte Lastspitze des Ladens eines Fahrzeugs (bei 3,7 kW) die Größenordnung der gemittelten Lastspitze des H0-Profiles – noch dazu zur gleichen Tageszeit - erreichen.

2.3.6 Gleichzeitigkeiten von Lastprofilspitzen

Das vorangegangene Kapitel zeigt das Summenverhalten von Elektrofahrzeugen bei ungesteuertem Laden. Wie auch schon in der Diskussion der Ergebnisse angesprochen wurde, spielt die Anzahl der herangezogenen Fahrzeuge eine Rolle für die Lastprofilergebnisse. Denn aufgrund unterschiedlicher Gleichzeitigkeit des Ladens tritt nicht bei allen Ladegeräten im gleichen Moment die Höchstlast des Gerätes auf. Es soll nun in weiterer Folge geklärt werden, mit welcher Spitzenbelastung bei unterschiedlicher Größe des Fahrzeugkollektivs zu rechnen ist und ab welcher Kollektivgröße die Spitzenbelastung pro Einheit dem Grenzwert nahe kommt. Referenz für die Analysen stellen die Gleichzeitigkeitsfaktoren der Geräte in Haushalten dar, wie in Abbildung 2.3.16 abgebildet.

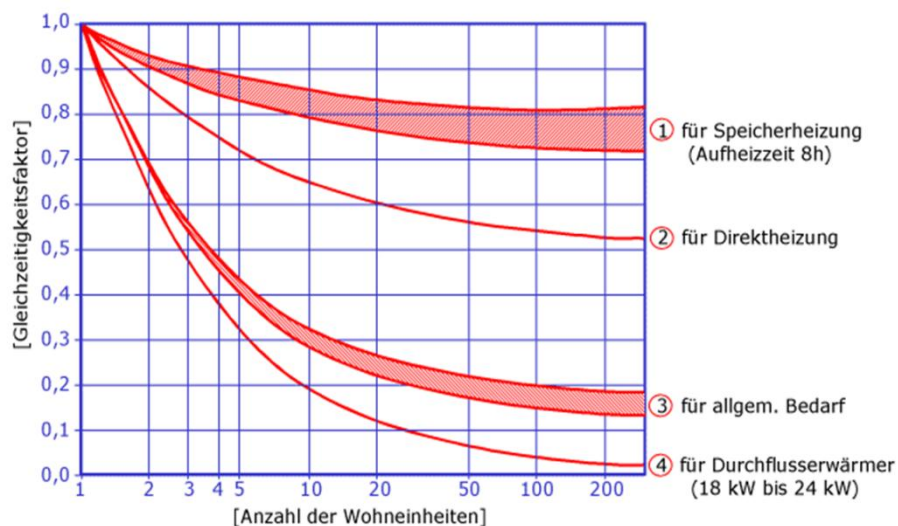


Abbildung 2.3.16: Gleichzeitigkeitsfaktoren für unterschiedliche Gerätegruppen (nach [34] und [35])

In konventioneller Form werden die Gleichzeitigkeitsfaktoren durch Messung und Erfahrungswerte bestimmt. Eine Näherungsfunktion unter Zuhilfenahme des Grenzwerts ermöglicht eine vereinfachte geglättete Darstellung.

Für die Bestimmung der Gleichzeitigkeit von ladenden Elektrofahrzeugen werden die synthetisch erstellten Leistungsprofile bzgl. ihrer Spitzenbelastung ausgewertet. Da in der SEM-Erhebung nur 31 Fahrzeuge vorliegen (und nur ein Teil dieser Fahrprofile mit herangezogener Konfiguration rein elektrisch erfüllt werden können), wird die Ermittlung mit dem statisti-

schen Datensatz aus Niederösterreich durchgeführt (wiederum nur mit Fahrzeugen, die ihr Fahrprofil rein elektrisch erfüllen können).¹⁰

Ausgehend von den erfüllbaren Fahr- und Ladeprofilen werden Parameter (Ladeleistung, Durchdringung, etc.) gesetzt, zufällig Fahrzeuge ausgewählt und ein Summenlastprofil ermittelt. Für eine Absicherung der erhaltenen Spitzenlast wird der Vorgang wiederholt durchgeführt (Worst Case Ermittlung). Anschließend erfolgt eine Erhöhung der Fahrzeuganzahl in diskreten Schritten, wobei die Wiederholung je Schritt konstant bleibt. Abbildung 2.3.17 soll die methodische Vorgehensweise verdeutlichen.

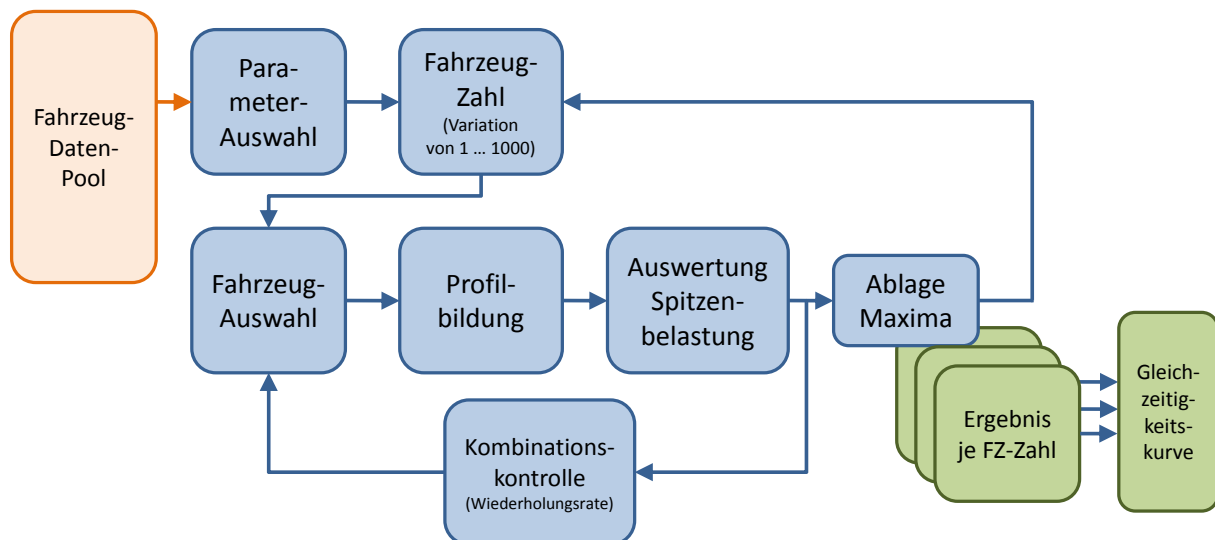


Abbildung 2.3.17: Vorgehensweise zur Ermittlung der Gleichzeitigkeitsfaktoren

Um ebenfalls in der Gleichzeitigkeitskurve die Wirkung unterschiedlicher Parameter interpretieren zu können, wird eine Analyse bzgl. der drei Ladeinfrastrukturszenarien

- Laden nur Zuhause,
- Laden Zuhause und am Arbeitsplatz sowie
- Laden an allen Standorten

durchgeführt. Ebenso werden die Ladeleistungen betreffend zwei Fälle unterschieden (3,7 kW und 11 kW). Während sich der Infrastrukturunterschied kaum auf die Ergebnisse auswirkt, tritt bei verschiedenen Ladeleistungen eine größere Abweichung auf. In Abbildung 2.3.18 ist ersichtlich, dass mit diesem Verfahren, die Gleichzeitigkeit bis zu einigen Fahrzeugen sehr hoch bleibt und mit höherer Fahrzeugzahl nahezu exponentiell sich einem Grenzwert nähert (3,7 kW: 0,18; 11 kW: 0,08). Die Näherungskurve (berechnet nach [36]) schmiegt sich bei hohen Fahrzeugzahlen den synthetisch ermittelten Kurven an. Die Abweichung bei niedrigen Fahrzeugzahlen ergibt sich aufgrund der Worst-Case-Methodik. Durch die wiederholte Maximalwertbildung erzielt man eine hohe Anzahl an Zufallskombinationen und dadurch Extremwerte aus dem Fahrzeugdatenbestand. Die Wahrscheinlichkeit, mit der eine derartige Extremsituation entsprechend der Kennlinie auftritt, wurde nicht erhoben. Wichtig

¹⁰ In der Simulation wurde der Datensatz zwei Mal hintereinander berechnet und der zweite Tag für die weiteren Aufgaben herangezogen. Dadurch wird der Anfangszustand realistisch nachgebildet.

ist aber zu registrieren, dass die Möglichkeit dazu real existiert, dass bei einer geringen Fahrzeuganzahl eine Gleichzeitigkeit nahe oder gleich 1 auftritt. Bei ähnlichen Fahrprofilen und Standorten, wie sie beispielsweise bei Fahrten zu Park&Ride-Standorten vorliegen, sind die Gleichzeitigkeiten regional gesondert zu berechnen und werden auch bei größerer Fahrzeugzahl voraussichtlich höher ausfallen.

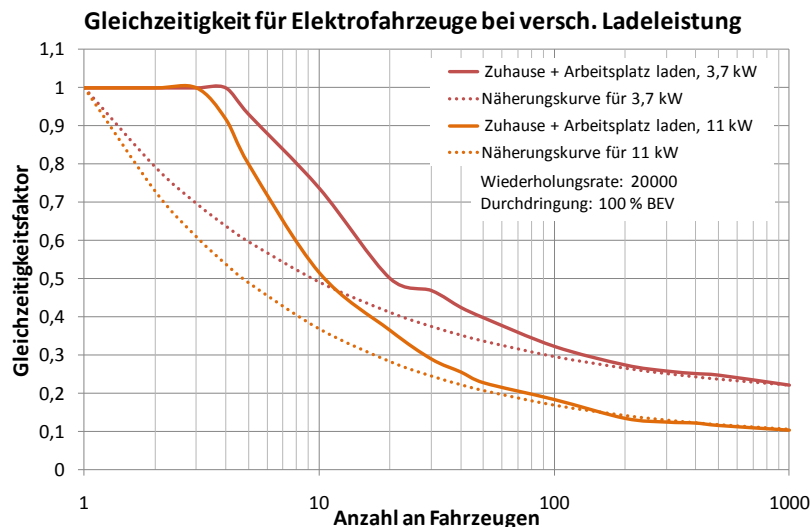


Abbildung 2.3.18: Gleichzeitigkeitsfaktoren von Elektrofahrzeugen für unterschiedliche Ladeleistungen

Beim Vergleich der Kurven ist neben dem Wert des Gleichzeitigkeitsfaktors an sich, auch die jeweilige Maximalleistung zu berücksichtigen. Obwohl der Gleichzeitigkeitsfaktor bei 11 kW (bei 1000 Fahrzeugen) geringer ist, liegt der absolute Leistungswert höher als jener bei 3,7-kW-Laden (bei 1000 Fahrzeugen).

2.3.7 Ladesteuerung

Obwohl die Gleichzeitigkeit der ladenden Elektrofahrzeuge mit zunehmender Haushaltszahl abnimmt, ist es dennoch wichtig die Marktdurchdringung zu beachten, wie Tabelle 2.3.3 zeigt.

Während die Spitzenbelastung bei einer 10%igen Marktdurchdringung 21,4 Prozent der Haushaltsspitze ausmacht und als gering eingeschätzt werden könnte, verändert sich die Situation, wenn die Privatfahrzeuge zu einem großen Anteil durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden. 80 % E-Fahrzeuge würden die Netzspitzenbelastung um 79,6 % im Vergleich zu den Haushalten erhöhen. Dieser Sachverhalt zeigt, dass ab einem gewissen Durchdringungsgrad des Fahrzeugmarktes die Ladung der Batterien gesteuert erfolgen sollte, um Betriebsmittel nicht zu überlasten. Generell ist die Auslastung der Betriebsmittel nur ein Grund von vielen, warum der Ladeprozess geändert werden soll.

Tabelle 2.3.3: Leistungssituation bei unterschiedlichen Fahrzeugdurchdringungen

Elektrofahrzeuge, Marktdurchdringung	Haushalte	Fahrzeugzahl el.	Spitzenlast des H0-Profils	Spitzenlast der Elektrofahrzeuge, ¹¹ , ¹²	Verhältnis E-Mob zu Haushalte
10 %	200	19	209,8 kW	44,8 kW	21,4 %
50 %	200	97	209,8 kW	120,6 kW	57,5 %
80 %	200	156	209,8 kW	167,0 kW	79,6 %

Folgende Gründe können ausschlaggebend sein:

- Betriebsmittelauslastung (Überlast)
- Verlustminimierung im Netz
- Spannungsbandverletzungen und -einhaltung
- Wirtschaftlichkeitsverbesserungen (Laden nach ökonomischen Fahrplänen)
- Direkte Nutzung und Einbindung erneuerbarer Energien

Vielfach spielen mehrere Zielsetzungen zusammen. Beispielsweise führt eine Vergleichmäßigung des Verbrauchs einerseits zu reduzierter Betriebsmittelauslastung (und keiner Überlast) sowie andererseits zu einer Verlustminderung aufgrund geringerer Ströme.

Weiters besteht die Möglichkeit die Ladestrategien in mehrere Gruppen einzuteilen, wie die Darstellung in Abbildung 2.3.19 zeigt und im Vorprojekt ADRES¹³ entwickelt wurde. In dieser Grafik ist die Segmentierung hinsichtlich Verbraucher-, Netz- und Erzeugungssicht durchgeführt. Gesteuertes Laden und Entladen der Batterie, auch unter Vehicle-to-Grid bekannt, wird vorwiegend für Verbesserungen im Netz- und Erzeugungsbereich gesehen, bei denen sich der erhöhte Kommunikations-, Schalt- und Schutzaufwand lohnen könnte.¹⁴

Im Projekt SEM wurden insbesondere Ladestrategien erarbeitet, denen ein möglichst hoher Anteil direkter Nutzung der Sonnenenergie zu Grunde liegt. Bevor diese Konzepte vorgestellt werden, wird geklärt, welche Steuermechanismen angewendet werden können.

¹¹ Bei einem Motorisierungsgrad von 526 Fahrzeugen pro 1000 Einwohner und einem Durchschnitt von 2,31 Einwohnern je Haushalt, ergibt sich ein Wert von 0,99 Fahrzeugen je Haushalt. Der Nicht-Fahrer-Anteil von 20 % ist in diesen Werten berücksichtigt.

¹² Berechnung durch HH-Zahl * g(HH) * P_{max} bei P_{max} von 3,7 kW.

¹³ ADRES: Autonome Dezentrale Regenerative Energiesysteme (Ausschreibung „Energie der Zukunft“, 815.674)

¹⁴ Vehicle-to-Grid wurde aufgrund des Aufgabenumfangs im Projekt SEM nicht abgehandelt.

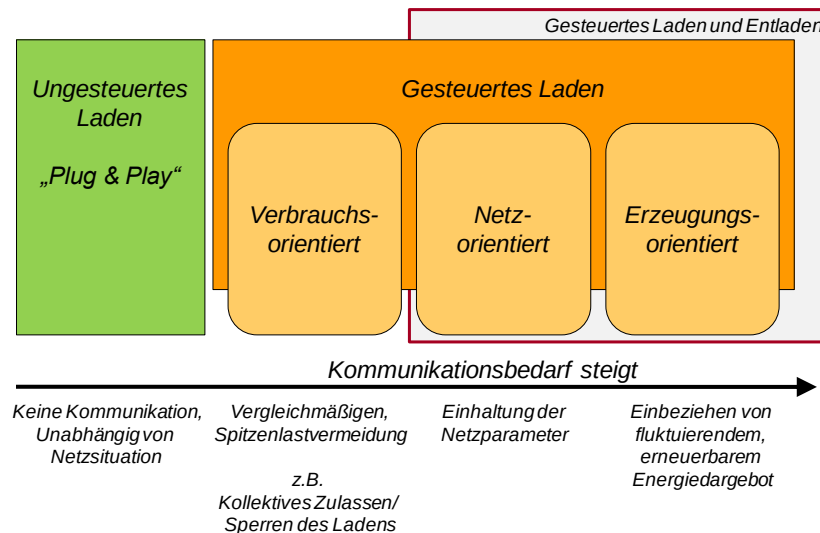


Abbildung 2.3.19: Einteilung der Ladestrategien

2.3.7.1 Steuermechanismen

Um den Ladeprozess der Fahrzeugbatterien beeinflussen zu können sind grundsätzlich mehrere Möglichkeiten vorhanden. Zum einen eine Anpassung der Ladeleistung im Ladegerät des Fahrzeugs bzw. der Ladestelle: Dabei wird die Konstantphase der Kennlinie, wie in Abbildung 2.3.20 dargestellt, verschoben.

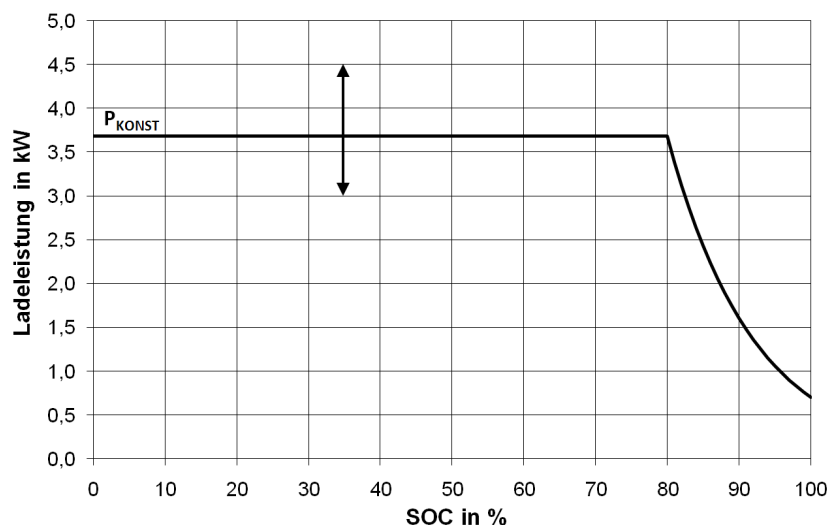


Abbildung 2.3.20: Steuerung der Ladekennlinie des einzelnen Fahrzeugs

Der Zugriff auf die Leistungselektronik des Ladereglers im Fahrzeug oder die Steuerung eines stationären Umrichters erscheint aufwändig, daher ist die zweite Steuerungsmöglichkeit – die des Ladezeitpunkts und somit zeitlicher Verschiebung – einfacher. Im Besonderen kann das Schalten oder Takten den Zeitpunkt des Ladens variieren und auf ganze Fahrzeugkollektive angewendet werden, wenn man die Ladeinfrastruktur beispielsweise von einzelnen (oder Teilen von) Parkdecks eines Parkhauses oder von einzelnen Straßen zu- oder wegschaltet. Derartige Kollektive von zu ladenden Fahrzeugbatterien können in Summe je

nach Schaltsituation ebenfalls eine variable Summenleistung ergeben oder eine gleichmäßige Last erzeugen, wie in Abbildung 2.3.21 skizziert.

Fahrzeugexakte Steuerung hat den Vorteil, den Ladestand des einzelnen Fahrzeugs in eine Steuerung einfließen zu lassen, beispielsweise um Prioritäten und Reihungen vornehmen zu können. Des Weiteren können individuelle Geschäftsmodelle mit einzelnen Kunden vereinbart werden. Das detaillierte fahrzeugbezogene Wissen erfordert umgekehrt einen erhöhten und sicheren Informationsaustausch zwischen Energiesystem und Fahrzeug.

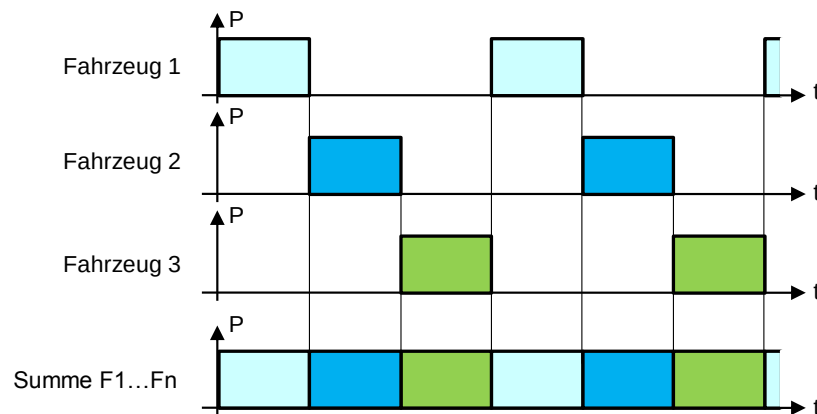


Abbildung 2.3.21: Zeitliche Steuerung der Summenleistungskurve einzelner Fahrzeuge oder von Fahrzeugkollektiven

Deutlich wird, dass eine umfassende Steuerung des Ladeprozesses mehr Information über die Netzsituation und die Fahrzeugsituation (Verfügbarkeit am Netz, Ladebedarf) benötigt und somit auch der Kommunikationsaufwand zwischen den beteiligten Komponenten wesentlich ansteigt. [37]

Ein wichtiger Diskussionsaspekt für die weitergehende Analyse ergibt sich durch die Einzel- oder Kollektivbetrachtung (Lastprofilverwendung) der Fahrzeuge.

- Die Einzelbetrachtung der Fahrzeuge und anschließende Summierung der Profile beschreibt einerseits eine exakte Vorgehensweise, benötigt aber für eine saisonale Betrachtung eine enorme Datenmenge (Fahrprofile der Anzahl der Fahrzeuge über zumindest sechs Monate).
- Erstellt man hingegen ein Lastprofil aus einer beschränkt großen Stichprobe und wendet dieses skaliert als genähertes Verbrauchsprofil für die saisonale Betrachtung an, so kann die Analyse mit geringerem Datenaufwand, aber einiger Unschärfe durchgeführt werden. Beispielsweise geht die einzelne Batteriegrenzenkontrolle¹⁵ verloren und die Wochentagsunterschiede werden vernachlässigt.

Aufgrund der verfügbaren Datenbasis wurde im Projekt SEM der zweite Zugang mit einem Lastprofil gewählt; unter der Gewissheit, dass es eine Näherung darstellt. Es wurden in wei-

¹⁵ Hier ist jene Kontrolle gemeint, die zu jedem Zeitpunkt den Batteriestand je Fahrzeug überprüft, ob sich dieser in den erlaubten Grenzen befindet. In kollektiver Betrachtung wird nur für die Gesamtheit der Stichprobe kontrolliert.

terer Folge für die Ladesteuerung die Daten der Stichtagserhebung aus Niederösterreich herangezogen. Zur Verifikation dieser Näherung wäre eine größere Datenstichprobe wichtig, die sich über längere Zeitintervalle erstreckt.¹⁶

2.3.7.2 Erzeugungsorientiertes Laden mit Photovoltaik-Nutzung

Die Methode des erzeugungsorientierten Ladens unter Berücksichtigung von PV-Erzeugung wurde als geeignete Ladestrategie besonders beleuchtet. Gründe dafür ergeben sich durch erwartete Vorteile mitunter für unterschiedliche MarktteilnehmerInnen:

- Geringe Leitungsverluste durch geringeres Transportaufkommen
- Geringer Bedarf an Zwischenspeicherung der PV-Leistung durch direkte Nutzung
- verbesserte lokale Leistungsbilanz (Wirk- und Blindleistung)
- geringste Kosten für NutzerInnen durch Eigenverbrauch

Als Modellanordnung dient folgend dargestelltes System (Abbildung 2.3.22). Eine lokal vorhandene Einspeisung sowie Ladebedarf von Elektrofahrzeugen werden in einem Niederspannungsnetz gekoppelt. Die Skalierung der PV-Anlage erfolgt primär entsprechend des Energiebedarfs der Mobilität (400 Fahrzeuge), um im Betrachtungszeitraum von einem halben Jahr die gleiche Energiemenge bereitzustellen wie für das Laden benötigt. Der konventionelle Verbrauch wird in diesen Analysen nicht einbezogen, um die Zusammenhänge der Kennwerte betreffend Elektromobilität ableiten zu können.¹⁷

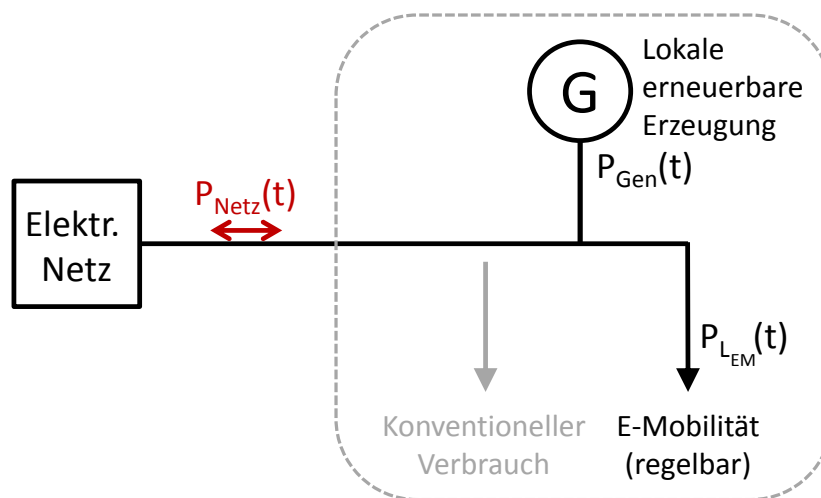


Abbildung 2.3.22: Systemanordnung für exemplarische Ladestrategien

Bei der Erstellung der PV-orientierten Ladestrategie wurden zwei Steuerkonzepte verfolgt, die nachstehend erklärt werden. Für beide Konzepte gilt die Überlegung, dass der Anteil des Ladebedarfs, der durch Photovoltaik gedeckt wird, dadurch gesteigert werden kann, indem

¹⁶ Die Daten der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ könnten bereits Verbesserungen hinsichtlich der Wochentagsunterscheidung liefern. Ideal wäre eine fahrzeugbezogene Langzeiterhebung.

¹⁷ Eine reale Betriebsweise mit einem möglichst hohen Grad an direkter Bilanzierung würde hingegen auch die lokalen Verbräuche der Haushalte, etc. einbeziehen.

die Fahrzeugbatterien in der Früh nicht zu 100 % geladen sein müssen. In diesem Fall wurden als Mindeststand 90 % als ausreichend eingestuft und die verbleibenden 10 % nicht für das Nachladen frei gegeben, sondern zum PV-Laden verschoben (Verschiebungsenergie).¹⁸

Weiters wurde für die Betrachtung an beiden Standorten „Zuhause“ und „Arbeitsplatz“ nicht nur Ladeinfrastruktur, sondern auch die PV-Erzeugung verteilt angenommen.

Tabelle 2.3.4 erläutert in einer Aufstellung die Systemkonfiguration.

Tabelle 2.3.4: Systemkonfiguration für die Analyse von Ladestrategien

Kennwert / Themengebiet	Ausführung
Energie-Erzeugungsdaten	Reale PV-Messwerte aus Niederösterreich, 10-Sek-Messwerte, Einsatz von Minutenwerten, Aufteilung der Erzeugung auf Zuhause und Arbeitsplatz
Verkehrsdaten	Statistische Erhebung Niederösterreich, HERRY Consult GmbH
Anzahl Elektrofahrzeuge	Lastprofil aus 400 Fahrzeugen
Batteriekonfiguration	25 kWh, keine Diversifizierung nach FZ-Gruppen
Ladeinfrastruktur	Zuhause und Arbeitsplatz
Ladeleistung	3,7 kW
Betrachtungszeitraum	22. Juni bis 21. Dezember 2010 (PV-Daten)
Skalierung bei Energiebilanz	699 kW _p (1,75 kW _p /Elektrofahrzeug)
Verschiebungsenergie	10 % des Batteriespeichereinhalts (gesamt 1000 kWh)
Bilanzierungsverhältnis¹⁹	1
Aufteilung der installierten PV-Erzeugung	0,5 Zuhause; 0,5 Arbeitsplatz

PV-Synchron-Laden

Bei diesem Steuerkonzept erfolgt das Laden der Elektrofahrzeuge (grüne Fläche in Abbildung 2.3.23) synchron zur verfügbaren Photovoltaik-Einspeisung (blaue Fläche). Bei einem Anfangszustand von 90 % der Batteriekapazität wird diese Verschiebungsenergie tagsüber mittels PV-Erzeugung abgedeckt. Liegt kein derartiger Ladebedarf mehr vor, reduziert sich das Ladeprofil auf den sich aktuell einstellenden Ladebedarf aufgrund der an diesem Tag zurückgelegten Fahrten. Überschüssig erzeugte Sonnenenergie wird in das Netz gespeist (orange Linie) und versorgt andere Verbraucher oder Zwischenspeicher.

¹⁸ Das Nachladen sorgt für die Einhaltung der Anfangsbedingung und führt somit über Nacht die Akkus auf den Mindeststand zurück.

¹⁹ Das Bilanzierungsverhältnis (Total Coverage ...TC) gibt im Gesamten an, wie der Energieanteil der Erzeugung und des Verbrauchs im totalen Beobachtungszeitraum und ohne zeitliche Korrelation zu einander in Relation stehen.

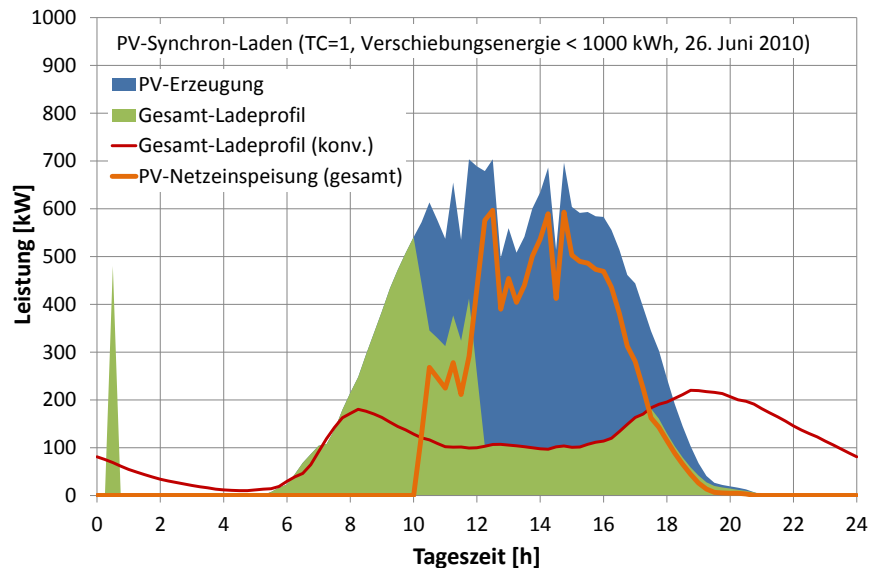


Abbildung 2.3.23: Exemplarische Darstellung des Steuerkonzepts „PV-Synchron-Laden“

PV-Offset-Laden

Im Gegensatz zum ersten Steuerkonzept wird hier von einer anderen Rahmenbedingung ausgegangen. Photovoltaik-Leistung soll vorrangig und nur bis zu einem Schwellwert (Offset) in das elektrische Netz eingespeist werden, um etwaige Grenzwerte von Betriebsmitteln nicht zu überschreiten (Abbildung 2.3.24, orange Linie). Erst bei Überschreitung des Wertes wird die lokal verfügbare PV-Leistung für das Laden der Elektrofahrzeuge herangezogen (grüne Fläche). Je nach Dimensionierung der PV-Erzeugungskapazität und des Schwellwertes können Situationen auftreten, in denen weder ins Netz gespeist noch lokal Elektrofahrzeuge geladen werden können, wodurch es zu einer geringfügigen Vergeudung kommt (violette Linie).

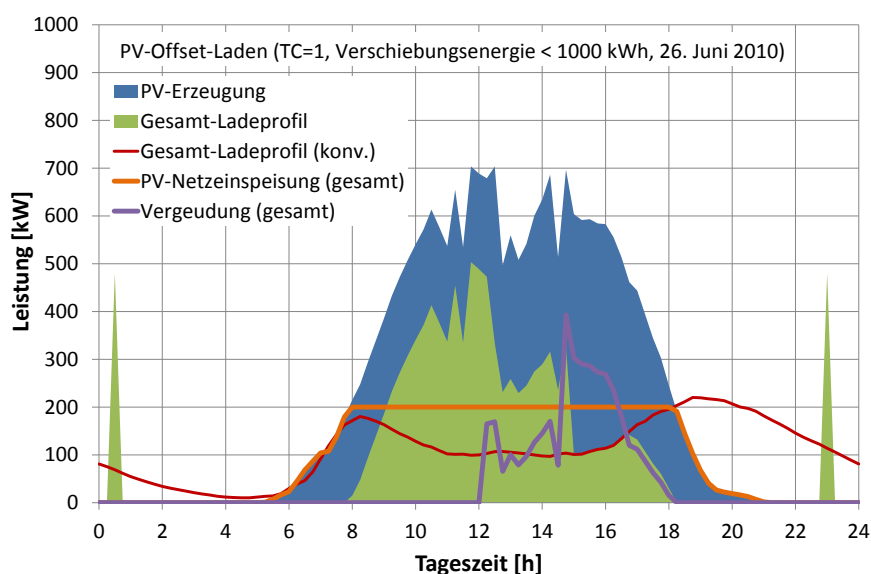


Abbildung 2.3.24: Exemplarische Darstellung des Steuerkonzepts „PV-Offset-Laden“

Vergleich der Steuerkonzepte

Vorerst soll das saisonale Verhalten über den Betrachtungszeitraum eines halben Jahres²⁰ gezeigt werden. Abbildung 2.3.25 beschreibt den Sachverhalt mit Dauerlinien. Während bei PV-Synchron-Laden hohe Leistungseinspeisungen von etwa 85 % der installierten Leistung gegenüber der Netzanbindung auftreten, ist dies durch den gewählten Schwellwert beim PV-Offset-Laden limitiert. Weiters ergibt sich im zweiten Steuerkonzept ein netzseitiges Leistungsangebot der PV-Erzeugung über eine Dauer von 900 Stunden (1800 h im ganzen Jahr). Die Vergeudung lässt sich durch die Höhe der Verschiebungsenergie deutlich reduzieren, wenn beispielsweise 20 % Verschiebungsenergie herangezogen werden.

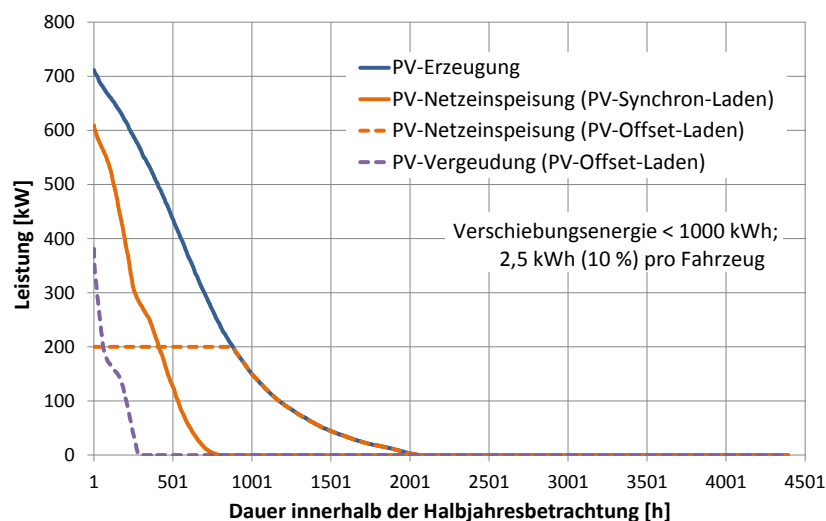


Abbildung 2.3.25: Vergleich der Dauerlinien bei beiden Steuerkonzepten

Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen ist verständlich, dass verschiedene Deckungsraten der Elektromobilität²¹ und Integrationsgrade der PV-Erzeugung²² für die beiden Steuerkonzepte erzielt werden. PV-Synchron-Laden kann unter gegebenen Rahmenbedingungen über 60 % für beide Kennwerte erzielen. PV-Offset-Laden erreicht – aufgrund der bevorzugten Netzeinspeisung – geringere, aber dennoch gute Werte von knapp 40 %. Das Bilanzierungsverhältnis von 1 führt dazu, dass die beiden Kennwerte Deckungsgrad und Integrationsgrad je Steuerkonzept ident sind.

²⁰ Aufgrund der Symmetrie der PV-Erzeugung im Jahresverlauf, kann man mit geringerem Datenaufwand vereinfacht das saisonale Verhalten der PV-Erzeugung ermitteln. Die Einstrahlungswerte stammen aus dem Jahr 2010. Eine Verifikation unterschiedlicher Jahre zur Feststellung, ob es ein gutes oder schlechtes Einstrahlungshalbjahr war, wurde nicht durchgeführt.

²¹ Die Deckungsrate (oder Deckungsgrad, Self Coverage ... SC) gibt an, welcher Anteil des Verbrauchs unmittelbar durch die PV-Erzeugung erfüllt werden kann.

²² Der Integrationsgrad (Direct Use ... DU) beschreibt jenen Anteil der PV-Erzeugung, der unmittelbar lokal verbraucht werden kann.

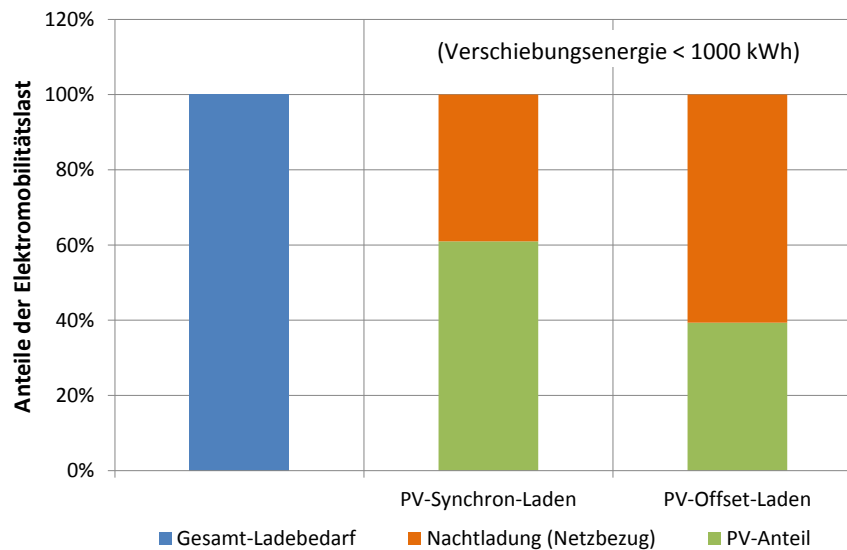


Abbildung 2.3.26: Kennwertevergleich der Steuerkonzepte

2.3.7.3 Sensitivitätsanalysen der erzeugungsorientierten Ladestrategien

Die vorausgesetzten Rahmenbedingungen in Tabelle 2.3.4 beschreiben ein mögliches Szenario. Für ein besseres Verständnis der Abhängigkeiten von einzelnen Parametern, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse für Deckungsgrad und Integrationsgrad der wichtigsten Variationen werden folgend dargestellt.

Die Variation des Bilanzierungsverhältnisses zeigt den Sachverhalt, wenn weniger oder mehr PV-Erzeugung in Relation zum gesamten Ladebedarf der Elektromobilität im Beobachtungszeitraum installiert ist (Abbildung 2.3.27). PV-Synchron-Laden: Der Deckungsgrad nimmt mit steigender PV-Installation zu, erreicht aber eine Sättigung bei knapp 80 %. Der Integrationsgrad hingegen zeigt gegenläufiges Verhalten. Je mehr Photovoltaik installiert ist, desto geringer wird jener Anteil davon, der direkt für die Ladeprozesse der Fahrzeugbatterien verwendet werden kann. Bei PV-Offset-Laden stellt sich dieses Verhalten erst ab einem gewissen PV-Ausbaugrad ein. Unterhalb des Bilanzierungsverhältnisses von 1 ist das Verhalten vom Netzeinspeise-Anteil vorgegeben und die Kennwerte Deckungsgrad und Integrationsgrad gering.

Wird die Verschiebungsenergie entsprechend in Grenzen variiert, zeigt sich ein starker Einfluss im niedrigen Energiebereich bzw. ein Abflachen der Kurve je größer der Bereich gewählt wird. Ab 20 % Verschiebungsenergie ist kaum noch eine Verbesserung der Kennwerte möglich, zumal aus Mobilitätssicht immer mehr die Anfangsreichweite am Morgen abnehmen würde. Die Zusammenhänge sind für beide Steuerkonzepte in Abbildung 2.3.28 bei einem Bilanzierungsverhältnis von 1 dargestellt.

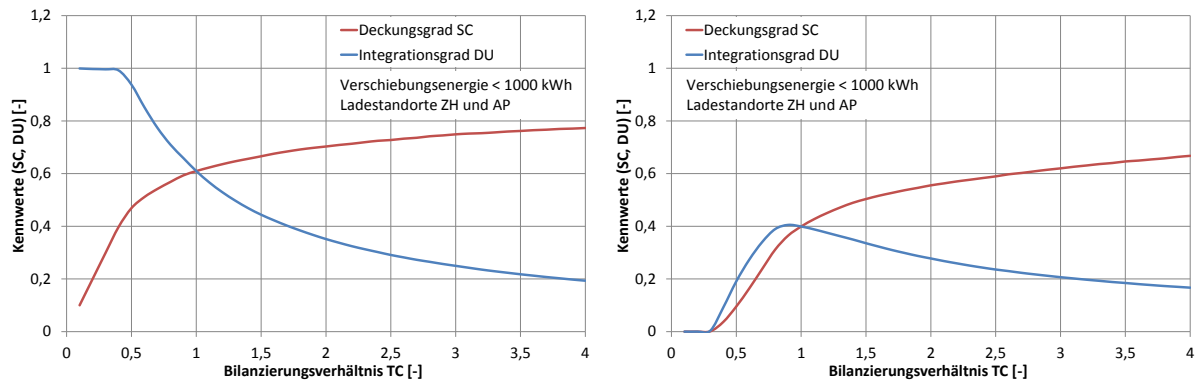


Abbildung 2.3.27: Deckungs- und Integrationsgrad bei Variation des Bilanzierungsverhältnisses
(links: PV-Synchron-Laden; rechts: PV-Offset-Laden)

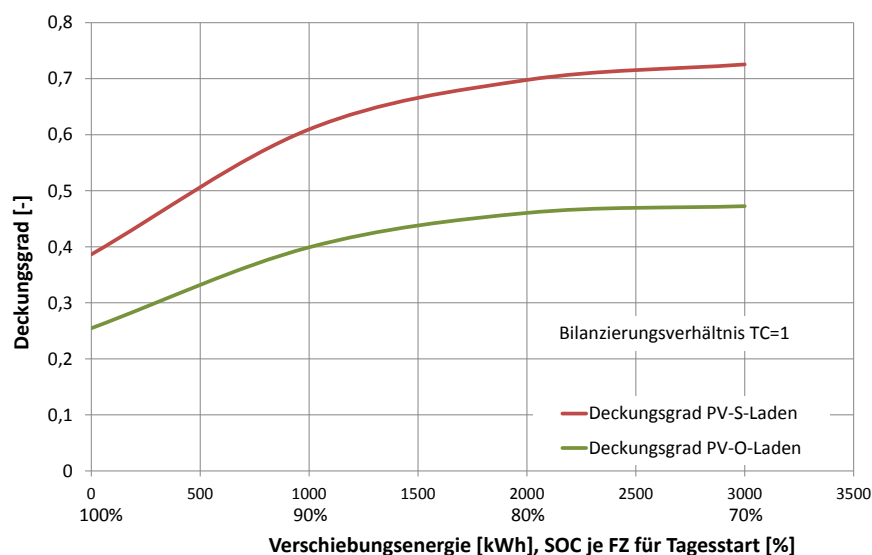


Abbildung 2.3.28: Sensitivitätsanalyse betreffend Verschiebungsenergie

Während energetisch davon gesprochen werden kann, dass die PV-Erzeugung dem Ladebedarf in Summe entspricht, kann in der Leistungsbetrachtung die vollständige Deckung des Bedarfs nicht gleichzeitig zum PV-Dargebot erfolgen. Zusätzlich spielt die Standortverteilung der Photovoltaikerzeugung eine wichtige Rolle. Ist entweder Zuhause oder Arbeitsplatz mit der erneuerbaren Anlage ausgestattet, können nur deutlich geringere Werte für Deckungsgrad und Integrationsgrad erzielt werden als wenn eine Kombination herangezogen wird (Abbildung 2.3.29).

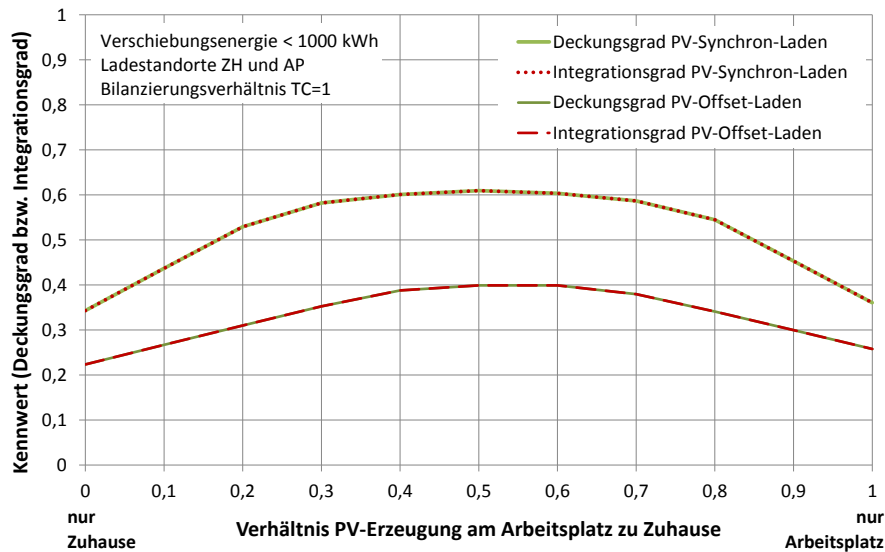


Abbildung 2.3.29: Sensitivitätsanalyse betreffend den Standort der PV-Erzeugung

2.3.8 Zusammenfassung

- 95 % der Fahrten sind kleiner als 50 km. Jedoch legen 47 % der Fahrzeuge zumindest an einem Tag mehr als 150 km zurück und davon ca. die Hälfte besitzt sogar Einzelfahrten von über 150 km.
- Es sind im Mittel nie mehr als 13 % der Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs und 40 % der Fahrzeuge stehen durchschnittlich zu allen Tageszeiten zu Hause
- Etwa ein Drittel der Standplätze sind am Straßenrand aufzufinden. Beinahe zwei Drittel beinhalten private Stellplätze und Garagen.
- Aus energetischer Sicht sind die Standorte „Zuhause“ und „Arbeitsplatz“ am relevantesten. Selbst wenn Ladeinfrastruktur bei allen Standorten verfügbar wäre, würden Zuhause und am Arbeitsplatz mindestens 65 % der Energie geladen werden.
- Das ungesteuerte Laden erfolgt generell zur selben Zeit wie die Abendlastspitze der Haushalte. Eine Marktdurchdringung von 50 % E-Fahrzeuge würde die Netzspitzenbelastung um ca. 58 % erhöhen.
- Der Gleichzeitigkeitsfaktor gibt das Verhältnis von maximal auftretender zur installierten Leistung von elektrischen Verbrauchern an. Dieser strebt bei Elektrofahrzeugen zu einem Grenzwert von 0,18 bei 3,7 kW Ladeleistung. Dies sind 0,67 kW/BEV.
- Wird Photovoltaik zum Laden von E-Fahrzeugen an den Standorten „Zuhause“ und „Arbeitsplatz“ installiert und direkt genutzt, können Deckungsraten von bis zu 75 % erzielt werden, ohne die alltägliche Mobilität zu gefährden.

2.4 Szenarienentwicklung nachhaltiger elektrischer Mobilität (AP4)

Ziel dieses Arbeitspakets war es, einerseits bisherige Entwicklungen in der Verwendung von Elektrofahrzeugen zu erheben. Daher lag der Fokus zu Beginn auf die europaweiten Modellregionen. Ergänzt wurden diese Ausarbeitungen mit einer Recherche über Durchdringungsszenarien von Elektrofahrzeugen in Österreich aus wirtschaftlicher Sicht. Andererseits wurden in diesem Arbeitspaket die technischen Parameter für die darauffolgende Erfüllungsberechnung der SEM-Fahrten definiert sowie eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Abschließend wurden die Einflussfaktoren für die Nutzernachfrage bezüglich E-Mobilität genau spezifiziert um in den darauffolgenden Arbeitspakete Zukunftsszenarien abbilden zu können.

2.4.1 Analysen der bisherigen Entwicklungen in den Modellregionen

Derzeit gibt es eine Fülle von Elektromobilitäts-Modellregionen weltweit. Im Folgenden werden die österreichischen und die wichtigsten internationalen Regionen etwas näher beschrieben.

2.4.1.1 Modellregionen in Österreich

Die erste Elektromobilitäts-Modellregion in Österreich wurde im Dezember 2008 in Vorarlberg mit „VLOTTE“ realisiert und anschließend durch „VLOTTE II“ erweitert. Seit Dezember 2009 besitzt auch Salzburg mit „ElectroDrive Salzburg“ eine eigene Modellregion. Mitte Oktober 2010 bekamen ebenfalls Wien „e-mobility on demand“, Graz „e-mobility Graz“ und Eisenstadt die Förderzusage des Klima- und Energiefonds.

VLOTTE

Das Geschäftsmodell, welches vor allem für Unternehmen zugeschnitten ist, basiert auf einem „All-in-One“ Leasingpaket. Die „Mobilitätsrate“ ab ca. 349,- € pro Monat beinhaltet neben dem Fahrzeugleasing auch die Förder-Projektanbahnung, 5 Jahre oder 100.000 km Garantie auf Batterie und Hoch-Volt-Komponenten (Mitsubishi iMiEV) sowie ein umfangreiches Mobilitätspaket (kostenlose Lademöglichkeit „Park&Charge“, Jahresnetzkarte des gesamten Vorarlberger Verkehrsverbunds und kostenlose ÖAMTC-Mitgliedschaft) [38].

Derzeit sind rund 100 Elektroautos, meist mit ZEBRA-Batterien, der Marken „THINK City“, „Fiat Panda“ und „Fiat 500“ auf Vorarlbergs Straßen unterwegs. Seit Februar 2011 werden die Li-Ionen-Fahrzeuge von Mitsubishi, Citroen und Peugeot ebenfalls angeboten.

In Vorarlberg stehen zurzeit 52 öffentliche Ladestellen zur Verfügung. Je nach Stromstelle können Schuko- und CEE-Steckdosen mit 16 A, 230 V/AC oder CEEplus-Steckdosen, 5-pol, 16 A, 400 V/AC genutzt werden [39].

Der gesamte Energiebedarf, der im Rahmen des VLOTTE-Projekts für die Elektrofahrzeuge entsteht, wird von der Illwerke VKW durch zusätzliche erneuerbare Energiequellen aufgebracht. Zwei Photovoltaikanlagen mit den Größen 460 und 570 m² wurden bereits installiert. Mittelfristig ist eine Ergänzung der Photovoltaik mit Kleinwasserkraft geplant.[40]

Die Akzeptanz der Vorarlberger Kunden ist sehr hoch. Im Rahmen des Forschungsprojekts KOFLA (nähere Informationen unter [41]) wurde eine Nutzerbefragung unter den VLOTTE-

TeilnehmerInnen durchgeführt. Die wichtigsten Eigenschaften der VLOTTE-Autos bewerteten die 140 Personen wie folgt:

Positiv:

- Geräuscharm
- Beschleunigungsverhalten
- Fahreigenschaften
- Umweltfreundlichkeit

Negativ:

- Reichweite
- Ladedauer
- Höchstgeschwindigkeit
- Fehlende Servolenkung

Die Begleitforschung der Modellregion, welche ebenfalls von der TU Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, durchgeführt wurde, hat kurz zusammengefasst folgende Ergebnisse geliefert (nähere Informationen unter [42]):

- Realer Fahrverbrauch bei kombinierter Stadt-, Land- und Bergfahrt bei 20 kWh/100 km.
- Aufladeverluste bei derzeitigen Ladegeräten noch relativ hoch.
- ZEBRA-Batterietechnologie nur für VielfahrerInnen eine effiziente Lösung²³.
- Ungesteuerte Ladeprofilspitzen der Firmenflotten können gleichzeitig zur Stromverbrauchsspitze am Abend auftreten.
- Ladeinfrastruktur von Firmenfahrzeugen benötigt nur wenige Standorte für ungestörten Betrieb.

VLOTTE II

Der Teil 2 beinhaltet den Ausbau der Carsharing-Möglichkeiten (zwei- und vierrädrig) für Firmenfuhrparks und Tourismus. An sogenannten Elektromobilitäts-Hubs können Elektrofahrzeuge einfach ausgeliehen werden. Die Verleihpreise für die E-Fahrzeuge erstrecken sich von 10 Euro (E-Fahrrad/halber Tag) bis 49 Euro (E-Auto/ganzer Tag).

ElectroDrive Salzburg

Die Geschäftsmodelle der Modellregion sind in mehrere Pakete unterteilt. In diese können Elektrofahrzeuge zu einem monatlichen Fixpreis ab EUR 39,90 (Fahrrad) bis EUR 360,00 (Auto) gemietet bzw. geleast werden.

In diesen Paketen ist der Mobilitätsvertrag inkl. Strom an den ElectroDrive-Ladestationen und für die Autos zusätzlich eine Home-Ladestation enthalten. Bei den Zweirädern kann mit zzgl. 20,- EUR/Monat eine SVV Jahreskarte erworben werden.[43]

Im Februar 2010 sind 300 Elektrofahrzeuge, vor allem E-Bikes, E-Mountainbikes, E-Roller und Segways, durch ElectroDrive Salzburg verkauft worden [44]. Die ersten E-Autos mit ZEBRA-Batterien („TH!NK city“) und mit Li-Ionen-Batterien („TH!NK city“ und „Mitsubishi iMiEV“) können bereits erworben werden.

Zurzeit sind 24 Ladestellen in der Modellregion installiert. An diesen Stellen werden die Steckdosen mittels der ElectroDrive Kundenkarte freigeschaltet. Das Laden erfolgt im Regelfall mit den modernsten ISO-Sicherheitsstandards.[45]

²³ Die ZEBRA-Batterie besitzt im Stillstand aufgrund sehr hoher Betriebstemperatur (rund 270°C) Heizverluste.

Fester Bestandteil des Modellregionen-Konzepts ist es, Elektrofahrzeuge mit der Herstellung von erneuerbarem Strom aus Photovoltaik- oder Biomasse-Anlagen zu koppeln. Daher wird die benötigte Energie der geplanten Elektrofahrzeuge mit zwei Photovoltaikanlagen und zwei Blockheizkraftwerken auf Biogas-Basis abgedeckt.

2.4.1.2 Internationale Modellregionen

Im Folgenden ein kleiner Auszug über die vielen weltweiten Initiativen.[46]

- Staatlicher Fuhrpark, Frankreich (02/2009 – 2015)
- i-MiEV all-electric vehicle pilot project in the City of Boucherville, Kanada (Start 10/10)
- Modellregion Berlin/Potsdam, Deutschland (08/2009 – 07/2011)
- e-mobility Berlin, Deutschland (Beginn 2009)[47]
- E-Mobilität im Pendlerverkehr, Deutschland (2009 – 2011)
- e-mobility Italy, Italien (Beginn 2010)
- Future Fleet – Einbindung von Elektrofahrzeugen in betrieblichen Fahrzeugflotten, Deutschland (07/2009 – 09/2011)
- GridSurfer – Interurbane Integration von Elektrofahrzeugen in Energiesysteme inklusive Batteriewechselkonzept, Deutschland (07/2009 – 09/2011)
- Hamburg goes green, Hamburg, Deutschland
- Modellregion München, Deutschland (07/2009 – Mitte 2011)
- Modellregion Rhein-Ruhr, Deutschland (06/2009 – 07/2011)
- WA EV Trial – Australia's first Electric Vehicle Trial, Australien
- Harz.EE-mobility – Harz, Sachsen-Anhalt
- Smart Wheels – Aachen, Nordrhein-Westfalen
- MeRegioMobil – Stuttgart, Karlsruhe, Baden-Württemberg
- eE-Tour Allgäu – Allgäu, Bayern

2.4.2 Durchdringungsszenarien von Elektrofahrzeugen in Österreich

Zur Berechnung der zukünftigen Durchdringungsszenarien sind die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit elektrifizierter Antriebstechnologien und die politischen Rahmenbedingungen von größter Bedeutung. Als Schlüsselfaktoren stellen sich die Batteriekosten und die Kraftstoffpreise heraus.

Um die Verbreitung elektrische Antriebssysteme der Pkw Flotte anzugeben wurden die Ergebnisse einer modell-basierten Analyse herangezogen [48]. Das dort eingesetzte Modell kombiniert ein Bottom-up Modell der Österreichischen Pkw-Flotte mit Top-down Ansätzen, anhand derer, Veränderungen in der Nachfrage nach der Energiedienstleistung Pkw-Transport modelliert wurden. Mit dem Modell wurden Szenarien unterschiedlicher politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingung für den Zeitraum 2010-2050 entwickelt. Tabelle 2.4.1 zeigt die Ergebnisse für die Jahre 2020, 2030 und 2050.

Tabelle 2.4.1: Anzahl der elektrischen bzw. teilelektrischen Fahrzeugen in Ö in den Jahren 2020, 2030 und 2050 je nach politischen Rahmenbedingungen und Benzinpreise [48]

Fahrzeugtyp ²⁴	2020		2030		2050	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
BEV	1.184	11.678	112.481	1.114.013	1.150.878	4.252.916
BEV + REX	2.829	9.261	96.078	318.957	569.006	883.376
PHEV	16.173	42.286	257.556	414.456	204.175	945.432
SUMME	20.186	63.225	466.115	1.847.426	1.924.059	6.081.724

2.4.3 Erfüllbarkeits-Szenarien (Techn. Parameterdefinition für Variationen)

Für folgende Erfüllbarkeitsanalysen wurden die im Projekt SEM gesammelten 31 Fahrtenmuster der ausgewählten Probanden (siehe Abschnitt 2.1.2) herangezogen. Als Input dienten die elektrischen Leistungsverbrauchswerte (gemäß Abschnitt 2.2.4) und das Standprofil aller Fahrzeuge.

2.4.3.1 Parameterdefinition

Die technische Machbarkeit einzelner Fahrtenmuster hängt von folgenden drei wesentlichen Parametern ab (siehe Abbildung 2.4.1). Die Kombination aller muss für den Fahrtypus stimmen. In manchen Fällen, aber nicht allgemein, kann ein Parameter durch einen anderen teilweise ersetzt werden. Zum Beispiel kann ein großangelegter Ladestellenausbau die erforderliche Batteriegröße minimieren. Fährt man jedoch eine lange Strecke an einem Stück, so ist eine entsprechende Batteriekapazität notwendig. Eine Fahrtunterbrechung zum Zweck des Ladens wird im Kapitel 2.5 genauer analysiert. Hierfür wären Schnellladestellen entlang der Wegstrecke oder eine Substitution des Weges durch andere Verkehrsmittel erforderlich. Im Folgenden wird die Methodik der Parameterdefinitionen näher beschrieben.

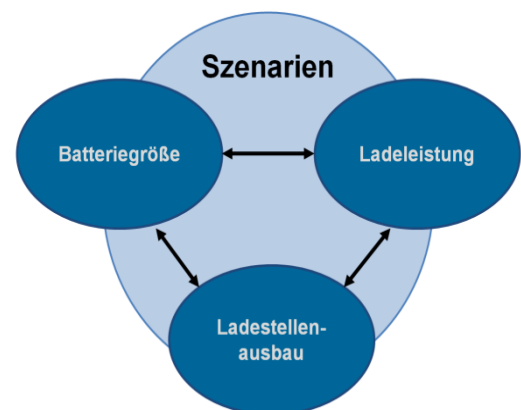


Abbildung 2.4.1: Technische Parameter der Erfüllbarkeit

Methodik

Alle vorhandenen Fahrtenmuster werden entsprechend den Variationen einzeln simuliert. Entscheidend hierbei ist die Erfüllbarkeit der gesamten Fahrtenmuster unter den definierten Voraussetzungen. Die Parameter Batteriegröße, Ladeleistung und Ladestellenausbau werden wie in Tabelle 2.4.2 dargestellt variiert. Der Ladestellenausbau ist gemäß den Befragungskriterien (siehe Abschnitt 2.3.2) in Ladestellenort und -art unterteilt worden.

²⁴ BEV = Batterie Electriv Vehicle, REX = Range Extender und PHEV = Plug-In Hybrid Electric Vehicle

Tabelle 2.4.2: Übersicht der Parameterdefinitionen

Batteriegröße	Ladeleistung	Ladestellenort	Ladestellenart
kWh	kW	-	-
16,8	3,68	Zuhause	Kein Straßenrand und Andere
25,2	11	Zuhause + Arbeitsplatz	Alle
33,6	22	Zuhause + Arbeitsplatz + Freizeit + Besuche	
50,4		Alle deklarierten Standorte (ohne unbekannt)	

Die Variationen der Parameter ergeben somit 96 verschiedene Szenarien. Die Ergebnisse der Analysen in Hinsicht Machbarkeit und Sensitivität werden im folgenden Kapitel näher beschrieben.

2.4.3.2 Erfüllbarkeit und Sensitivitätsanalyse

Aufbauend auf der vorhergehenden Definition der Parameter wurde im ersten Schritt eine Sensitivitätsanalyse für die Einflussgrößen Ladeleistung, Ladestellenausbau und Batteriegröße durchgeführt. Der Ladestellenausbau untergliedert sich dabei in Orte der Standplätze, dies entspricht der räumlichen Lage, wo Ladeinfrastruktur zur Verfügung steht, und in Arten des Standplatzes, wie z.B. Straßenrand oder privater Stellplatz. Als Output der Analyse wurde die Erfüllbarkeit der Mobilität gewählt, dieser Begriff wird im Folgenden näher erläutert.

Erfüllbarkeit der Mobilität

Durch die GPS-Logger konnte für jeden der 33 SEM-Probanden²⁵ die gefahrenen Routen mit dazugehörigen Geschwindigkeitsverläufen über den gesamten Betrachtungszeitraum aufgezeichnet werden. Aus diesen hat der Projektpartner AIT mit einem speziellen Fahrzeugmodell ermittelt, welchen Leistungsverlauf ein Elektromotor besitzen muss, um diese Strecken zu bewältigen²⁶. Die Energie dafür muss von der Batterie erbracht werden. In diesem Zusammenhang wird die Erfüllbarkeit der Mobilität gewährleistet, wenn die Batterie im gesamten Betrachtungszeitraum niemals die untere SOC-Grenze („State of Charge“ = Ladezustand) erreicht. Dabei wird der SOC-Verlauf maßgeblich von der richtigen Wahl der definierten Parameter beeinflusst.

²⁵ Auf Grund von fehlerhaften Datensätzen wurden schlussendlich 31 Fahrzeuge ausgewählt und simuliert.

²⁶ Der Verbrauch von Nebenaggregaten (wie Klimaanlage) wurde im Projekt SEM bewusst vernachlässigt.

MATLAB-Modell und Sensitivitätsanalyse

Für die Berechnung der Erfüllbarkeit wurde, mit Hilfe der Simulationssoftware MATLAB, ein Modell entwickelt, das den durchgängigen SOC-Verlauf jedes einzelnen Fahrzeuges für den gesamten Betrachtungszeitraum ermittelt. Für die Sensitivitätsanalyse wurde keine zusätzliche Unterbrechung von Fahrten zum Laden implementiert. Dies wird im Zusammenhang mit Schnellladung berücksichtigt (siehe Kapitel 2.5.2). Als Eingangsgrößen des Modells dienten die definierten Parameter. Es wurden alle 96 verschiedenen Szenarien auf die Erfüllbarkeit der Mobilität überprüft. Die eingestellten Parameter je Szenario gelten für alle Fahrzeuge in gleichem Maße. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen sind in Abbildung 2.4.2 ersichtlich. Die kleinen grauen Punkte stellen die Ergebnisse der einzelnen Variationen dar, die großen blauen die Mittelwerte. Der Einfluss eines Parameters ist einerseits durch den Verlauf der Mittelwerte gegeben und andererseits durch die Streuung der einzelnen Variationen.

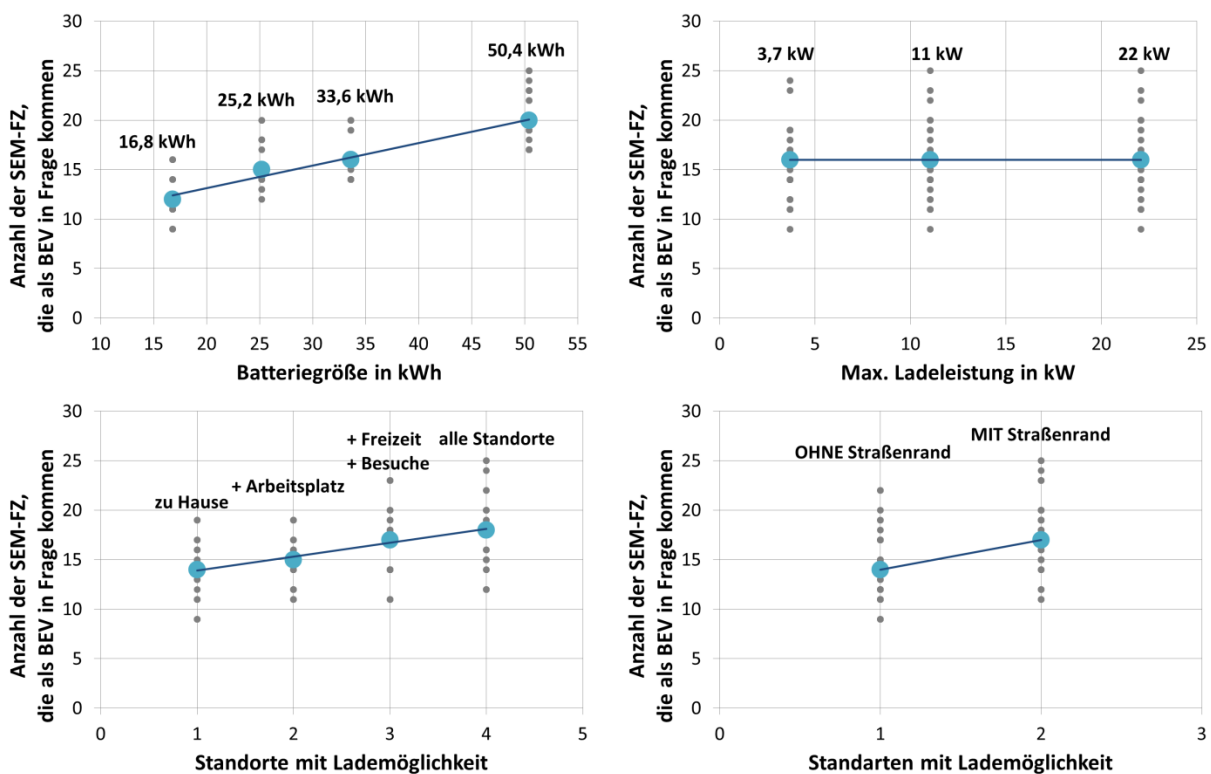


Abbildung 2.4.2: Sensitivitätsanalysen bezüglich verschiedener Parameter (96 Szenarien, 31 EVs)

Am Beispiel Ladeleistung sieht man deutlich, dass die Erfüllbarkeit bei allen drei Leistungen im Mittel konstant bleibt. Zusätzlich ist die Streuung der Punkte relativ groß, deshalb kann auf einen geringen Einfluss der Ladeleistung auf die Erfüllbarkeit der Mobilität geschlossen werden. Als Ergebnis der Parametervariation ist festzuhalten, dass eine maximale Anschlussleistung von 3,7 kW (~230 V, 16 A, einphasig) bei Laden ohne Wegunterbrechung ausreicht und Leistungen bis 22 kW (~230 V, 32 A, dreiphasig) keinen weiteren Vorteil in Bezug auf die Erfüllbarkeit der Mobilität bringen. Hingegen steigt die Anzahl der Fahrzeuge, die ihre Fahrten bewältigen, ohne im Verlauf eines Weges nachladen zu müssen, mit Vergrößerung der Batteriekapazität deutlich an. Die Batteriegröße hat eindeutig den stärksten

Einfluss auf die Erfüllbarkeit. Das zeigt sich durch die geringe Streuung der einzelnen Variationen. Beim Parameter des Ladestellenausbaus steigt die Erfüllbarkeit ebenfalls mit der Höhe des Ausbaugrades. Dies gilt im gleichen Maße für den Ort als auch für die Art des Standplatzes. Jedoch ist die Streuung stärker als beim Parameter Batteriegröße. Gesamt betrachtet erfüllen je nach Parametervariation minimal 9 (29 %) und maximal 25 (80 %) der 31 Fahrzeuge ihre Fahrprofile. Die restlichen sechs Fahrzeuge besitzen zumindest eine Fahrt im Betrachtungszeitraum, die mehr als 50,4 kWh an Energie benötigt und somit die größte Batteriekategorie überschreitet.

Um weitere Aussagen in Bezug auf Ladeinfrastruktur und Erfüllbarkeit der Mobilität machen zu können wurden im Arbeitspaket 5 (siehe Kapitel 2.5) zusätzliche Analysen durchgeführt. Dort wurden ferner Schnellladung und Wegsubstitution betrachtet.

2.4.4 Szenarienentwicklung: Einflussfaktoren für Nutzernachfrage bezüglich E-Mobilität

Gegenstand der folgenden Arbeitspakete ist auch die Definition verschiedener Zukunftsszenarien für eine emissionsfreie, elektrische Mobilität, die den Rahmen für die Forschungsarbeit im Bereich des Energiebedarfs, der Versorgungsinfrastruktur, der Fahrzeuganfordernisse, der verkehrspolitischen Rahmenbedingungen und Nutzerbedürfnisse in Bezug auf elektrische Mobilität im motorisierten Personenverkehr darstellt. Die Szenarienentwicklung zielt darauf ab, ein umfassendes Zukunftsbild für den Energieverbrauch im Straßenverkehr unter Berücksichtigung der komplexen Abhängigkeiten und Anforderungen unterschiedlichster Aspekte zu geben. Für die Szenarienentwicklung werden daher unter anderem folgende Aspekte berücksichtigt:

- Technische Entwicklung von E-Autos
- Siedlungsstrukturen (ländliche, urbane, sub-urbane Gebiete),
- Demografische Zusammensetzung,
- Verkehrspolitische Rahmenbedingungen (z. B. „Umweltzonen“, Road-Pricing mit reduzierten Gebühren für E-Mobilität, THG-Abgaben etc.),
- Gesellschaftspolitische Rahmenbedingungen (z.B. Werthaltungen bezüglich Umwelt etc.),
- Wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen (Energiepreise etc.)

2.4.4.1 Angebot am Fahrzeugmarkt

- Fahrzeugtyp (Größenklasse, Art [Sportwagen, Kombi, SUV])
 - o Höchstgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp
 - o Beschleunigung/PS in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp
 - o Ausstattung
 - o Design/Image
- Reichweite in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp
- Anschaffungskosten in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp
- Betriebskosten von E-Autos in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp

- Kosten für Steuern, Versicherung
- Service-/Reparaturkosten (Batterielebensdauer, Zuverlässigkeit, Sicherheit)
- Komfort im Umgang mit Elektromobilität
 - o Wartungsintervalle
 - o Batterieentsorgung
 - o Bequemlichkeit Ladevorgang/-dauer

2.4.4.2 Angebot der Infrastruktur

- Bereitstellung von Lademöglichkeiten:
 - o zu Hause,
 - o am Arbeitsplatz,
 - o an sonstigen öffentliche und privaten Parkplätzen
- Werkstätten für Service und Reparatur

2.4.4.3 Anreize für Kauf und Verfügbarkeit von E-Autos

Kaufanreize

Wesentliches Entscheidungselement für oder gegen die Anschaffung eines E-Autos ist der – derzeit hohe – Kaufpreis. Erwartet wird eine Verbilligung der Komponenten, insbesondere der Batteriekosten, infolge Weiterentwicklung durch Wettbewerb, weiters werden Marketingmaßnahmen wie Leasingmodelle für E-Autos die Entscheidung für E-Autos beeinflussen. Steuerungsmöglichkeiten abseits der Hersteller sind:

- Steuernachlass NOVA, evtl. „negative Steuer“
- Kaufprämie (wie in USA, FR etc.)
- Versicherungsnachlass

Tabelle 2.4.3: Maßnahmen zur Stimulierung von Kaufanreizen von E-Pkw

	Art der Maßnahme				
	rechtlich & regulativ, organisatorisch	finanziell	bauliche Anlage	Information	Andere
Förderung für den Kauf und/oder das Leasing von E-Fahrzeugen, Vorteile Versicherung		x		x	
Steuerliche Vergünstigungen		x		x	

Verfügbarkeitsanreize

AutobesitzerInnen können in der Regel jederzeit über ihr Fahrzeug verfügen. Für GelegenheitsautofahrerInnen oder AutokaufverweigererIn bieten Car-Sharing-Angebote oder Mietfahrzeuge Mobilität bei Einsparung des einmaligen Kaufpreises und der Versicherungsbeiträge, Kfz-Steuern und gegebenenfalls Wartungs- bzw. Reparaturkosten an.

E-Autos mit ihrem derzeit hohen Kaufpreis können im Rahmen von Car-Sharing-Angeboten oder als Mietwagen interessant sein für potenzielle NutzerInnen, die ein E-Auto wegen des hohen Kaufpreises nicht kaufen können oder wollen, die Technologie aber nützen und unterstützen wollen, oder die vor dem Kauf Testfahrten durchführen wollen.

Tabelle 2.4.4: Maßnahmen zur Stimulierung von Verfügbarkeitsanreizen für E-Pkw

	Art der Maßnahme				
	rechtlich & regulativ, organisatorisch	finanziell	bauliche Anlage	Information	Andere
E-Fahrzeug-Vermietung				x	x
Angebote für E-Fahrzeug-Sharing				x	x

Bereitstellung von Alternativen

Neben fiskalischen Steuerungsmöglichkeiten bestehen abseits der Hersteller noch weitere Förderungsmöglichkeiten, wie Vorteile für die Nutzung des öffentlichen Verkehrs (z. B. gratis ÖPNV-Jahreskarte, siehe Modellregion VLOTTE Vorarlberg) und Vergünstigungen bei der Fahrzeugmietung „konventioneller“ Fahrzeuge für längere Fahrten.

2.4.4.4 Organisatorische und bauliche Maßnahmen für fließenden und ruhenden Verkehr

Organisatorische und bauliche Maßnahmen für den fließenden und ruhenden Verkehr, die E-Mobilität fördern, sind in nachfolgender Tabelle zusammen gefasst. Die Umsetzbarkeit beziehungsweise die Wirksamkeit der genannten Maßnahmen sind größtenteils stark (x) oder sehr stark (xx) von dem Anteil der E-Fahrzeuge an der Gesamtflotte abhängig.

Tabelle 2.4.5: Organisatorische und bauliche Maßnahmen zur Förderung der E-Mobilität

		Art der Maßnahme				
		rechtlich & regulativ, organisatorisch	finanziell	bauliche Anlage	Andere	nur für beschränkten Flottenanteil
Fließender Verkehr	Eigene Fahrstreifen für E-Fahrzeuge	x		x		x
	Mitbenutzung von Busfahrstreifen	x				xx
	Mitbenutzung von Fahrstreifen für mehrfach besetzte Fahrzeuge (mbK)	x				xx
	Mitbenutzung von bemauteiten Fahrstreifen für mehrfach besetzte Fahrzeuge (mbK)	x				xx
	Ausnahme von Zufahrtsbeschränkungen (Umweltzonen, etc.)	x				
	Ausnahme / Reduktion von Staugebühren	x				xx
	Ausnahme von Road-pricing / Reduktion Gebührenhöhe	x				xx
Ruhender Verkehr	Reservierte Stellplätze in der Innenstadt auf öffentlichem Grund	x				xx
	Reservierte Stellplätze in öffentlichen Garagen (Innenstadt, Park&Ride-Standorte, Bahnhöfe, etc.)	x				xx
	Ausnahme von Parkgebühren bzw. reduzierte Tarife in Parkzonen auf öffentlichem Grund	x	x			xx
	Ausnahme von Parkgebühren bzw. reduzierte Tarife in Parkzonen in öffentlichen Garagen	x	x			xx
	Keine Zeitbeschränkungen in Kurzparkzonen	x				xx

2.4.4.5 Informations- und bewusstseinsbildende Maßnahmen

Maßnahmen zur Informations- und Bewusstseinsbildung können die Nutzerakzeptanz von Elektrofahrzeugen fördern.

Tabelle 2.4.6: Informations- und bewusstseinsbildende Maßnahmen zur Förderung der E-Mobilität

	Art der Maßnahme				
	rechtlich & regulativ, organisatorisch	finanziell	bauliche Anlage	Information	Andere
generelles Marketing für E-Fahrzeuge				x	
individuelles Marketing				x	

2.4.4.6 Sonstige Einflüsse / externe Einflüsse

- Preisentwicklung fossiler Treibstoffe
- THG-Emissionsabgaben auf Treibstoffe/Energie, THG-Emissionshandel

2.4.4.7 Verkehrspolitische Restriktionen und Einschränkungen für Nicht-E-Fahrzeuge

Verkehrszonen mit Zufahrtsbeschränkungen für bestimmte Pkw-Fahrzeugklassen und -größen, Zeiten sowie Verkehrsarten bzw. generell für Nicht-E-Fahrzeuge können die Verkehrsmittelwahl von Pkw-LenkerInnen dahingehend beeinflussen, elektrisch angetriebene Fahrzeuge zu nutzen. Mögliche Maßnahmen, um die E-Mobilität indirekt zu fördern sind in Tabelle 2.4.7 dargestellt.

Tabelle 2.4.7: Restriktionen und Einschränkungen für Nicht-E-Fahrzeuge

	Art der Maßnahme					
	rechtlich & regulativ	finanziell	infrastrukturell	organisatorisch	Information	Andere
Generelle Einfahrtsverbote bzw. zeitliche Beschränkungen für die Innenstadt (Umweltzonen)	x			x	x	
Staubbemaufung in der Innenstadt	x	x		x	x	
Einführung von mbK-Fahrstreifen	x		x	x	x	
Einführung von bemaufeten mbK-Fahrstreifen	x		x	x	x	
Preisanhebung für Benzin und Diesel	x	x			x	
CO ₂ -Zertifikathandel für den Verkehrssektor	x	x		x	x	
Parkplatzbewirtschaftungspflicht für Parkplätze auf privatem Grund	x	x		x	x	

Die Erkenntnisse aus AP4 fließen in AP6 und AP7 ein. Einerseits werden Szenarien im Rahmen der Nutzerbefragung erstellt. In AP7 erfolgt die ganzheitliche Betrachtung unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien. In AP6 und AP7 zeigt sich, ob bzw. wie stark einige der genannten Aspekte Elektromobilität fördern.

2.4.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus VLOTTE zeigen, dass Elektromobilität in gewerblichen Fuhrparks ohne viel Umstellung jetzt schon möglich ist, der reale Fahrverbrauch bei rund 20 kWh/100 km liegt und die ZEBRA-Batterietechnologie nur für VielfahrerInnen eine effiziente Lösung darstellt.

Die technischen Parameter der Erfüllbarkeit der Fahrten sind Batteriegröße, Ladeleistung und Ladestellenausbau (Ort und Art). Die Erfüllbarkeit wurde mittels eines MATLAB-Modells berechnet und bezieht die gesamte Beobachtungsdauer mit ein.

Die anschließende Sensitivitätsanalyse der Erfüllbarkeit ergibt, dass die Batteriegröße das wichtigste Kriterium darstellt. Hingegen spielt die größere Ladeleistung keine Rolle um die Erfüllbarkeit der Fahrten ohne zusätzliche Unterbrechung zu erhöhen.

Die Einflussfaktoren der Nutzernachfrage bezüglich E-Mobilität sind sehr vielschichtig und können in technische (Auto, Ladeinfrastruktur), demografische und siedlungsstrukturelle (urban, sub-urban und ländlich) Zusammenhänge sowie Verkehr-, Gesellschaft- und wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen strukturiert werden.

2.5 Energie- und Ladeinfrastruktur (AP5)

Um die Fahrprofile der Elektrofahrzeuge erfüllen zu können, wird im Regelfall ein Laden im niedrigen kW-Leistungsbereich angestrebt. Dieses Verfahren – als Normalladung bezeichnet – ist verträglich mit den Rahmenbedingungen des elektrischen Netzes und der Batterieeigenschaften. Dennoch kann mit diesem Ladeverfahren nur ein Teil der Fahrzeuge bedient werden. Es kann vorkommen, dass Fahrprofile aufgrund der großen Distanzen oder häufigen Einsatzes des Fahrzeugs in der Wegekette mit diesem Ladeverfahren kein Auslangen finden. Für diese Fälle sind Alternativen zu erheben, die ergänzend zur Normalladung in den engpassbehafteten Phasen, angewendet werden. Siehe dazu auch Abbildung 2.5.1.

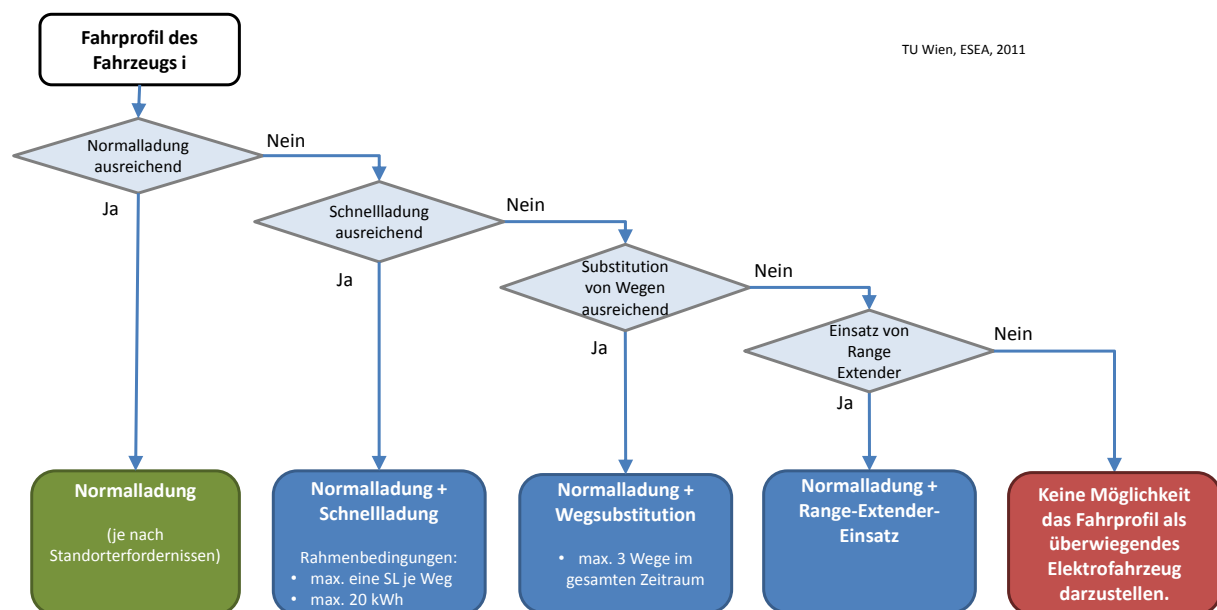


Abbildung 2.5.1: Konzeptionelle Darstellung von Hilfsmaßnahmen zusätzlich zur Normalladung

Mögliche Hilfsmaßnahmen zur Normalladung können sein:

Schnellladung²⁷: Entlang von Wegen wird die Fahrt max. einmal unterbrochen und in 15 Minuten eine Energiemenge von bis zu 20 kWh geladen. Dies bedarf eigener Ladestellen mit sehr hohen Ladeleistungen (>100 kW) und entsprechend verstärkter Netzanbindung. Auch das Fahrzeug muss mit einem solchen Schnellladezugang ausgestattet sein.

Wegsubstitution: Es treten im Fahrprofil nur wenige Wege auf, die eine Erfüllbarkeit mittels Normalladung übersteigen. Die NutzerInnen sind bereit, diese Wege mit anderen Verkehrsmitteln (Mietfahrzeug, Car-Sharing, öffentlichen Verkehrsmitteln, etc.) zu absolvieren. Ein hohes Maß an Wechselbereitschaft und Flexibilität sind erforderlich.

Einsatz eines Range-Extenders: In diesem Fall ist das Fahrzeug generell mit einem Range-Extender ausgeführt. Große Distanzen führen dazu, dass die Batterie in einen höheren

²⁷ In der Literatur werden oft Leistungen über ca. 10 kW als Schnellladung angeführt. Im Projekt SEM wird jedoch in weiterer Folge vor allem ein Leistungsbereich über 100 kW als Schnellladung bezeichnet.

Ladezustand zurückgeführt wird, in dem ein Generator mittels fossilen Treibstoffs benötigte Energie erzeugt.²⁸

Auch wenn die Hilfsmaßnahmen Schnellladung und Wegsubstitution alternativ zu einander darstellt sind, besteht die Möglichkeit einer Kombination. Welches Verfahren besser geeignet ist oder bevorzugt wird, hängt vielfach vom Nutzerverhalten und der Akzeptanz ab. Im Folgenden werden die Aspekte der Erfüllbarkeit der Fahrprofile mit den jeweiligen Ladeinfrastrukturgegebenheiten der Reihe nach dargestellt.

2.5.1 Erfüllbarkeit mit Normalladung

Da die Ergebnisse der Parametervariationen (siehe Kapitel 2.4.3.2) darauf hinweisen, dass höhere Anschlussleistungen von 11 kW bzw. 22,1 kW keine Vorteile bringen, wurden in weiterer Folge für die Normalladung ohne Wegunterbrechung 3,7 kW verwendet. In Tabelle 2.5.1 sind die eingestellten Parameter der verwendeten Batterietechnologie und des Ladesystems angeführt.

Tabelle 2.5.1: Verwendete Batterietechnologie und eingestellte Ladeparameter [49]

Parameter	Einstellung
Betrachtete Batterietechnologie	Lithium Ionen Polymer Batterie
Verwendetes Ladeverfahren	IUa - Ladung
Anschlussleistung der Ladestelle	3,7 kW
Wirkungsgrad des Ladesystems	90 %

Um herauszufinden, welche Standorte für den Ausbau von Ladeinfrastruktur relevant sind, wurden einige Analysen durchgeführt. Diese beinhalten die Berechnung der Erfüllbarkeit der Mobilität mit Hilfe des selbsterstellten MATLAB-Programms und berücksichtigt alle definierten Arten der Standplätze. Abbildung 2.5.2 stellt die Erfüllbarkeitsanalyse der einzelnen Standorte für den Fall dar, dass immer nur an einem Standort Ladeinfrastruktur ausgebaut ist. Der betrachtete Batteriebereich von 0 bis 100 kWh ist eher von modellhaftem Charakter und soll Tendenzen aufzeigen. Physikalisch liegen heutige Batteriekapazitäten je nach Fahrzeugtyp etwa im Bereich von 15 bis 35 kWh (in den folgenden Abbildungen durch zwei vertikale grün-gestrichelte Linien dargestellt).

Es zeigt sich, dass die Standorte „zu Hause“ und „Arbeitsplatz“ über alle betrachteten Batteriekapazitäten die größte Relevanz haben. Diese ist evident mit den Ergebnissen der Standortverteilung (vergleiche dazu Kapitel 2.3.2). Dort, wo die Fahrzeuge häufig und lange stehen, kann auch am meisten nachgeladen werden. Kombiniert man den wichtigsten Standort „zu Hause“ mit weiteren Standplätzen ergibt sich das Ergebnis aus Abbildung 2.5.3. Die untere Grenze stellen der Standort „zu Hause“ und die obere Grenze die Kombination aus allen definierten Standorten dar (siehe Tabelle 2.3.1 im Kapitel 2.3.2). Alle weiteren Kombinati-

²⁸ Diese Beschreibung ist stark vereinfacht. Genauere Informationen sind im Abschnitt 2.5.4 ersichtlich.

nen kommen dazwischen zu liegen, wobei zu Hause plus Arbeitsplatz nicht über alle Batteriegrößen die besten Ergebnisse liefern.

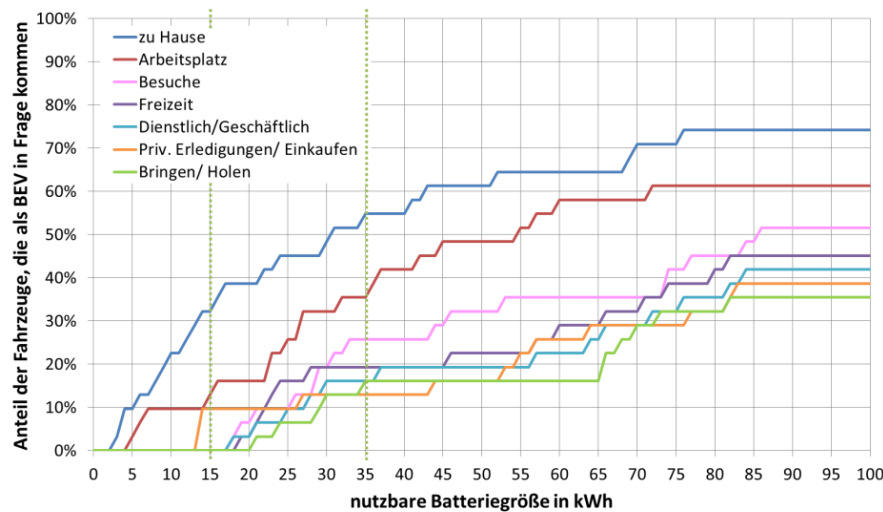


Abbildung 2.5.2: Erfüllbarkeitsanalyse für einzelne Standorte

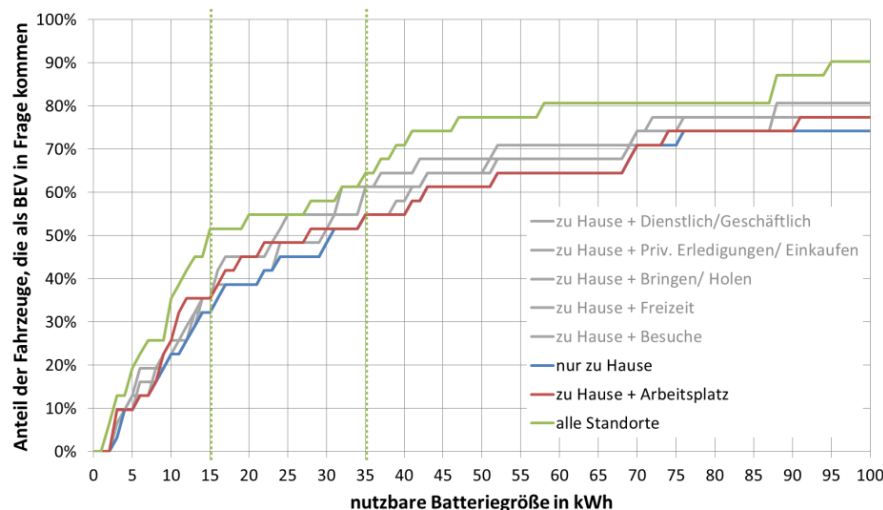


Abbildung 2.5.3: Erfüllbarkeitsanalyse für kombinierte Standorte

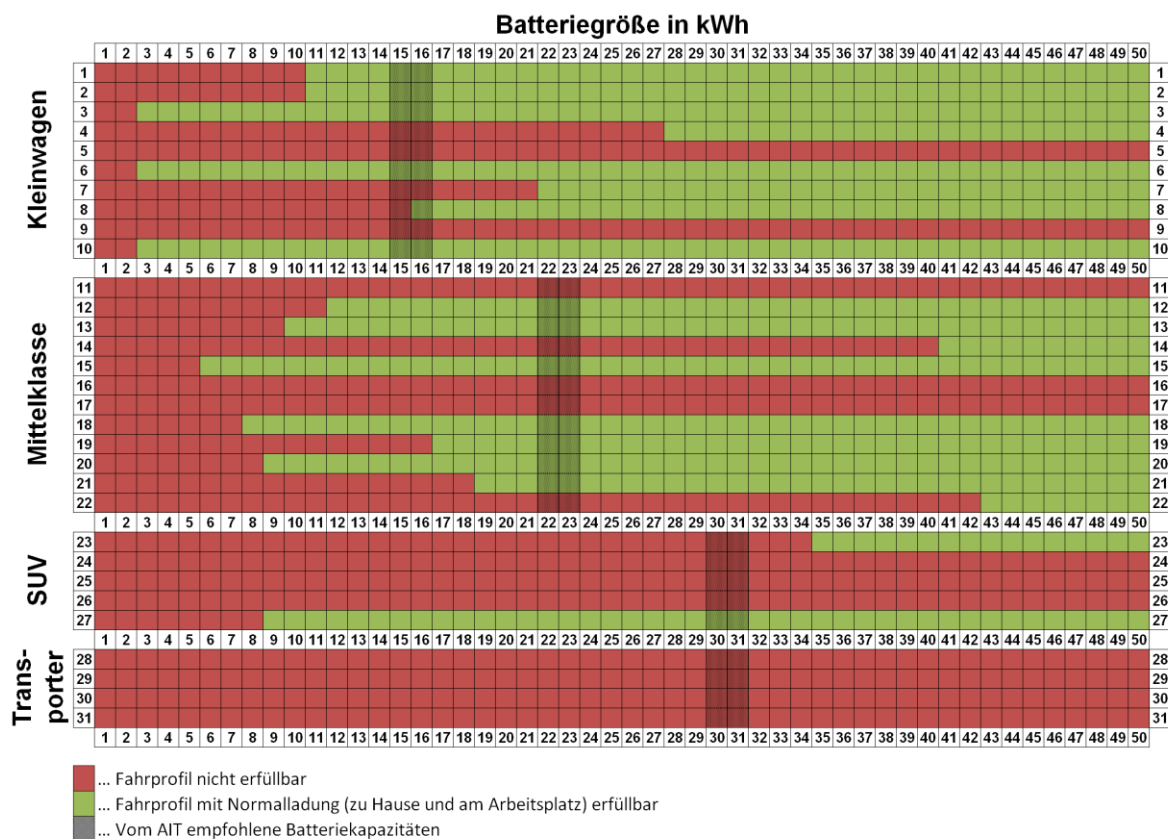
Splittet man das Erlebnis für Szenario „zu Hause + Arbeitsplatz“ aus Abbildung 2.5.3 über alle SEM-Fahrzeuge auf, ergibt sich eine Erfüllbarkeit der Mobilität, wie sie in Abbildung 2.5.4 ersichtlich ist. Wobei in grün jene Bereiche gekennzeichnet sind, in denen die Batteriekapazität zur Erfüllung der Mobilität ausreicht.

Der Projektpartner AIT hat im Projekt SEM pro Fahrzeugkategorie eine technisch plausible Batteriekapazität festgelegt. Diese sind in Tabelle 2.5.2 aufgelistet und in Abbildung 2.5.4 als grau-hinterlegte Bereiche dargestellt. Zählt man für diese Batteriegrößen die Anzahl der Fahrzeuge – deren Fahrprofile erfüllbar sind – zusammen, so ergibt sich bei einer Ladeinfrastruktur-Ausbaustufe „zu Hause und Arbeitsplatz“ eine Erfüllbarkeit von 45 %. Für Kleinwa-

gen und Mittelklasse-Fahrzeuge alleine ergibt sich sogar ein Wert von 59 %. Hingegen treten bei den Fahrzeugklassen Transporter und SUV vermehrt Schwierigkeiten auf, da sie schon alleine durch das höhere Gewicht (Masse Kleinwagen zu Transporter = 1 zu 2²⁹) zu mehr Problemen bei der Umstellung auf E-Fahrzeuge und in weiterer Folge zu einer geringeren Erfüllung der Mobilität führen. Vergleiche dazu Abbildung 2.5.4.

Tabelle 2.5.2: Unterschiedliche Fahrzeugtypen und gewählte Batteriegrößen

Fahrzeugtyp	Batteriekapazität
Kleinwagen	15,5 kWh
Mittelklasse	22,1 kWh
Sport Utility Vehicle (SUV)	31,0 kWh
Transporter	31,0 kWh



**Abbildung 2.5.4: Erfüllungsanalyse mit Normalladung für jedes Fahrzeug einzeln
(Laden zu Hause und am Arbeitsplatz)**

²⁹ Vom Projektpartner AIT ermittelt (siehe Abbildung 2.2.11).

Wird die Erfüllbarkeitsanalyse auch auf die Datensätze der Mobilitätsbefragung NÖ 2008 [31] angewendet, kommt es zu deutlich höheren Anteilen an Fahrzeugen, die als BEV in Frage kommen - siehe dazu Abbildung 2.5.5. Diese Aussage liegt in der Tatsache begründet, dass die Datensätze aus NÖ auf einer Stichtagserhebung beruhen und somit jeder Datensatz nur einen einzelnen Werktag beinhaltet. Bei den SEM-Fahrzeugen, mit einem durchgängigen Betrachtungszeitraum von etwa drei Wochen, ist die Wahrscheinlichkeit viel höher, dass zumindest ein zu langer Weg bzw. eine zu lange Wegekette auftritt (siehe Kapitel 2.3.1). Man kann pauschal sagen, dass längere Betrachtungszeiträume die Realität konkreter widerspiegeln.

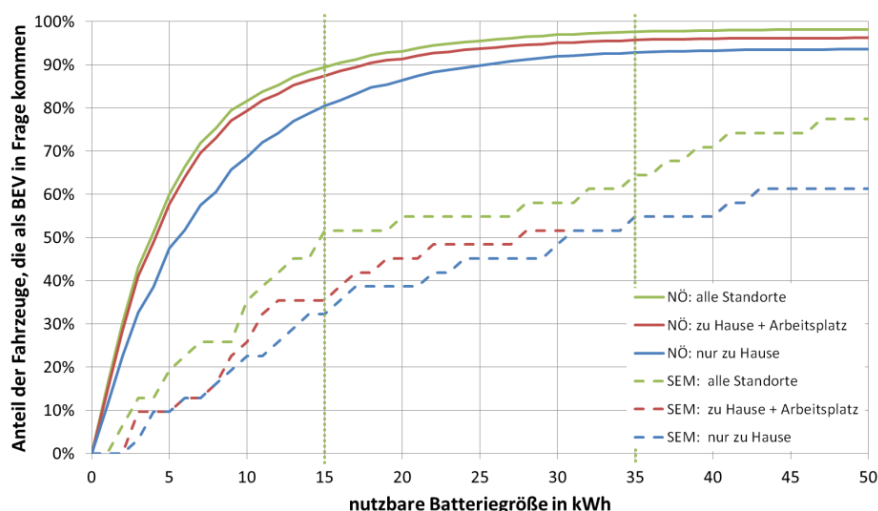


Abbildung 2.5.5: Vergleich: Erfüllbarkeitsanalyse SEM und NÖ 2008 [31]

2.5.2 Erfüllbarkeit mit Schnellladung

Die bislang nicht erfüllbaren Fahrprofile werden dahin gehend untersucht, ob mit wenigen Schnellladungen am Tag je Fahrzeug ihr Fahrverhalten elektrisch erfüllbar werden. Da die Schnellladung im Gegensatz zum Normalladen entlang eines Weges auftritt und mit einer Fahrtunterbrechung zu rechnen ist, sind Rahmenbedingungen festgelegt, die eine Nutzerakzeptanz für lange Strecken erwarten lassen. Weiters werden Überlegungen dargelegt, wie ein Schnellladenetzwerk für das hochrangige Straßennetz verteilt für Österreich vorliegen müsste (siehe Abschnitt 2.5.5).

Für Schnellladesysteme sind einige Aspekte zu berücksichtigen:

- 1) Die Netzanbindung dieser leistungsintensiven Anlagen sollte durch Standardkomponenten erfolgen können. Ortnetztransformatoren besitzen die Leistungsgrößen 630 kVA bzw. 800 kVA.
- 2) Bei Schnellladung treten auch deutlich höhere Wirkungsgradverluste auf, diese sind bei der Anschlussleistung mit zu berücksichtigen.
- 3) Die Zeit der Fahrtunterbrechung für eine Schnellladung muss im akzeptierbaren Maße bleiben. 15 Minuten werden dafür angenommen.

- 4) Ein Schnellladevorgang kann bis zu ein standardisiertes Energiepaket von 20 kWh umfassen und dadurch von einer Batteriegröße unabhängig (abgesehen davon, dass die Batteriekapazitäten größer des Energiepakets sein müssen) erfolgen.

2.5.2.1 Methodik der Szenariendefinition

Für ein Laden von 20 kWh in 15 Minuten sind bei unterschiedlichen Ladewirkungsgraden folgende Ladeleistungen netzseitig erforderlich:

Tabelle 2.5.3: Erforderliche Ladeleistungen bei unterschiedlichen Wirkungsgraden

	Eta = 0,9	Eta = 0,7	Eta = 0,6
Ladezeit 15 min, Energienmenge 20 kWh	89 kW	114 kW	133 kW

Da der Wirkungsgrad für Schnellladesysteme derzeit noch nicht bekannt ist und nur auf vereinzelte mündliche Quellen beruht, wird für diese Analyse ein Worst-Case abgeschätzt und ein Wirkungsgrad von 0,6 herangezogen.

An einem Schnellladestandort soll die Möglichkeit zur Ladung mehrerer Fahrzeuge gleichzeitig bestehen.

Tabelle 2.5.4: Variation der gleichzeitig schnellladenden Fahrzeuge je Standort

	3 Fahrzeuge	4 Fahrzeuge	5 Fahrzeuge	6 Fahrzeuge
20 kWh, 15 min, eta = 0,7	343 kW	457 kW	571 kW	686 kW
20 kWh, 15 min, eta = 0,6	400 kW	533 kW	667 kW	800 kW

Es erscheint sinnvoll die Auswahl auf 4 Fahrzeuge zu legen (bei gleichzeitigem Laden 533 kW) und eine eigene Ortsnetzstation 630 kVA dafür vorzusehen. Es bleibt eine Reserve der Belastbarkeit bzw. die Möglichkeit einen geringen Anteil zusätzlicher Verbraucher anzuschließen.

2.5.2.2 Ergebnisse

Es wurde untersucht, welche Auswirkung Schnellladung – unter den zuvor definierten Rahmenbedingungen³⁰ – auf die Erfüllung der Mobilität besitzt. Abbildung 2.5.6 zeigt die Erfüllung für die Szenarien „zu Hause“ und „alle Standorte“ für verschiedene Batteriekapazitäten. Im Batteriebereich von 15 bis 35 kWh ergeben sich, verglichen mit Normalladung ohne Wegunterbrechung, die höchsten Verbesserungsraten.

³⁰ Es ist erlaubt, eine Schnellladung pro Weg durchzuführen. Die Ladeleistung beträgt 133 kW, der Wirkungsgrad 60 %, sodass 80 kW auf die Batterie wirken.

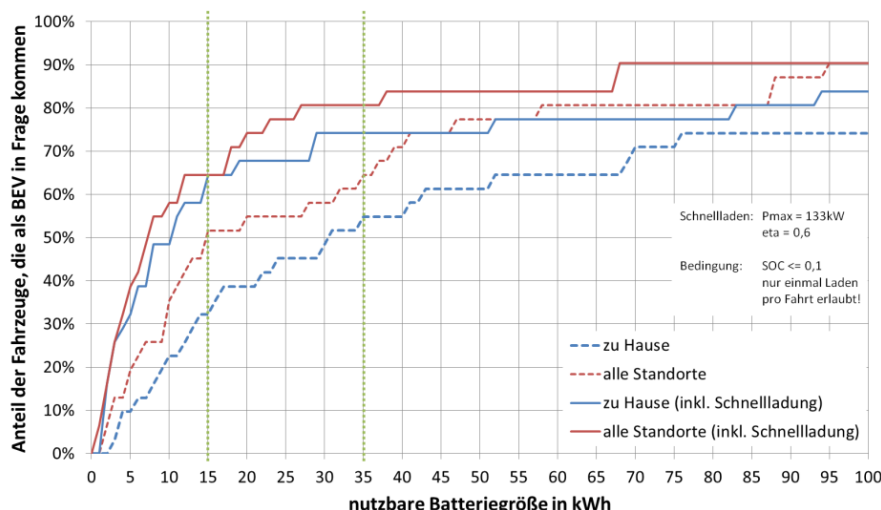


Abbildung 2.5.6: Erfüllbarkeitsanalyse für verschiedene Standorte und inklusive Schnellladung

In Abbildung 2.5.7 ist die Erfüllbarkeitsanalyse für jedes einzelne Fahrzeug mit Laden zu Hause und am Arbeitsplatz dargestellt. Die roten Felder geben die Bereiche an, in denen die Erfüllbarkeit nicht gegeben ist. Vor allem die SUVs und Transporter, welche auf Grund des hohen Fahrzeuggewichts (wie schon zuvor erwähnt), aber auch auf Grund der durchschnittlich höheren Kilometerleistungen³¹, einen größeren Energiebedarf besitzen, bewältigen ihre Wege – trotz größerer Batteriekapazität und Schnellladung – vermehrt nicht. Dies zeigt eindeutig, dass vor allem Kleinwagen und Fahrzeuge der Mittelklasse für die Elektromobilität geeignet sind.

Werden die Anzahl der Fahrzeuge aus dem grau-hinterlegter Bereich von Abbildung 2.5.7 – deren Fahrprofile erfüllbar sind – zusammengezählt, so ergibt sich beim Szenario „zu Hause + Arbeitsplatz“ in Kombination mit Schnellladung eine Erfüllbarkeit von 68 %. Dies stellt eine Verbesserung von 13 %, im Vergleich zum Grundszenario „nur Normalladen“, dar. Für Kleinwagen und Mittelklasse-Fahrzeuge alleine ergibt sich ein Wert von 82 %.

³¹ Die im Projekt SEM mittels GPS-Logger analysierten Fahrzeugkategorien besitzen durchschnittlich folgende Kilometerleistungen je Kalendertag: Kleinwagen und Mittelklasse: 34,7 km, SUV: 65,5 km und Transporter: 72,1 km.

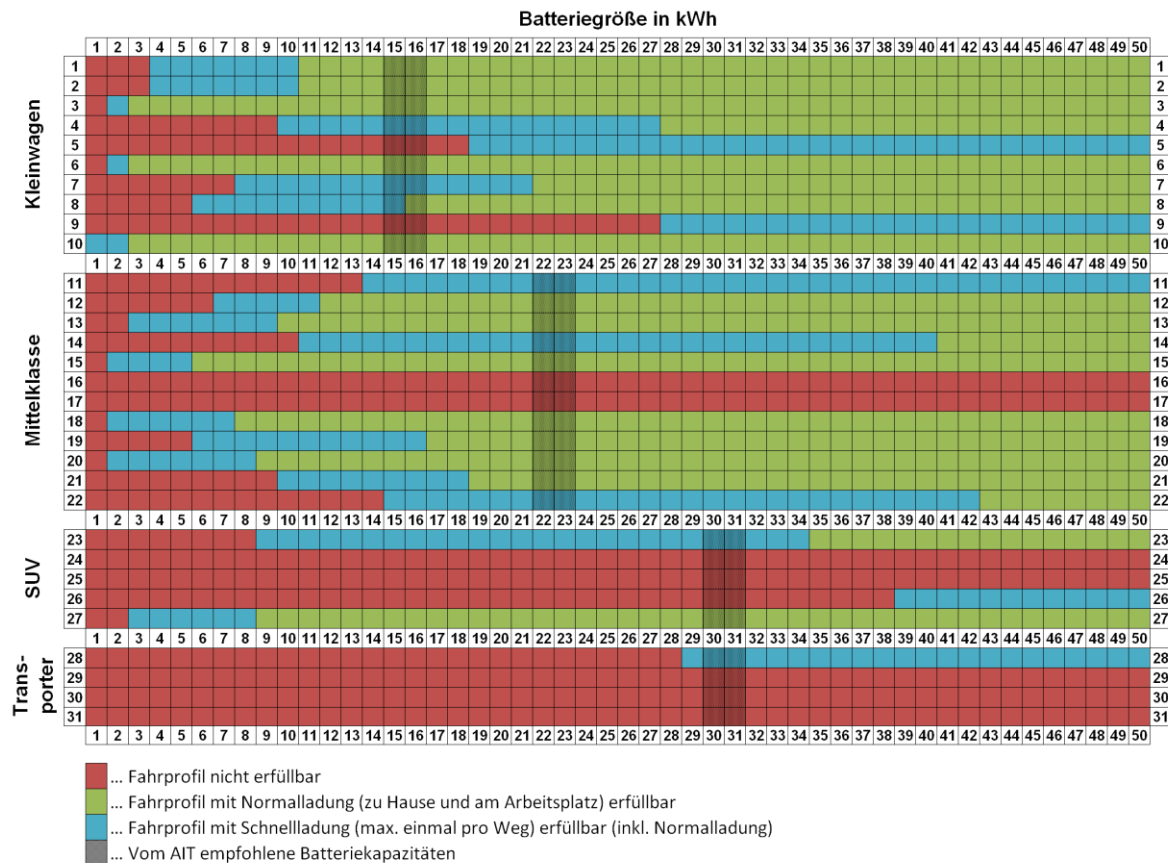


Abbildung 2.5.7: Erfüllbarkeitsanalyse mit Schnellladung für jedes Fahrzeug einzeln (Normalladen zu Hause und am Arbeitsplatz)

2.5.3 Erfüllbarkeit mit Wegsubstitution

Als letzte Variante wurde untersucht, welchen Einfluss Wegsubstitutionen auf die Erfüllbarkeit der Mobilität haben. Dabei sind jene Fahrzeuge betrachtet worden, die bei Normalladung und unter Verwendung von fahrzeugtypischen Batteriegrößen ihre Fahrprofile nicht erfüllen. Folgende Rahmenbedingungen wurden festgelegt:

- maximal drei Wegeketten pro Fahrzeug werden im Betrachtungszeitraum von rund 3 Wochen substituiert.
- Die ersetzten Wegeketten beginnen und enden stets zu Hause.
- Es wurden die problematischen Wegeketten ersetzt.
- Mögliche Ersatzwege zum Bahnhof bzw. zur Autovermietung werden nicht berücksichtigt.

Bei der Ermittlung der maximal drei zu ersetzenden Wegeketten wurde darauf geachtet, wann und wofür die Fahrten genutzt wurden. Es ergab sich ein eindeutiges Bild. Die energetisch stärksten Wegeketten befinden sich vor allem an Wochenenden und besitzen hauptsächlich den Zielzweck Besuch und Freizeit.

Das Ergebnis der Erfüllbarkeitsanalyse mit Wegsubstitution für Laden zu Hause und am Arbeitsplatz ist in Abbildung 2.5.8 dargestellt. Unter den gewählten Rahmenbedingungen kann die Erfüllbarkeit im Vergleich zur Normalladung ohne Wegunterbrechung um 29 % auf insgesamt 74 % gesteigert werden. Für Klein- und Mittelklasse-Fahrzeuge alleine ergibt sich eine Erfüllbarkeit von 86 %.

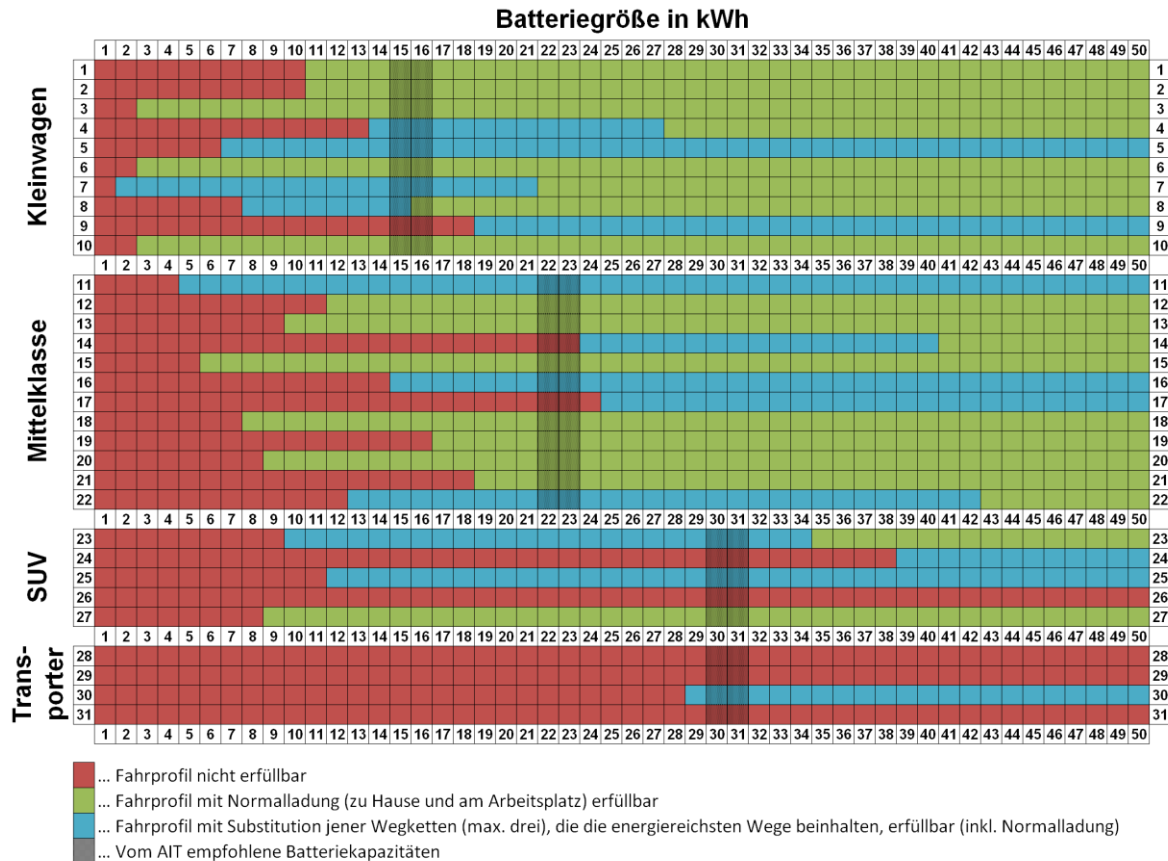


Abbildung 2.5.8: Erfüllbarkeitsanalyse mit Wegsubstitution für jedes Fahrzeug einzeln (Laden zu Hause und am Arbeitsplatz)

Werden Schnellladung und Wegsubstitution unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen miteinander verglichen, kann man nicht pauschal für alle Fahrzeuge aussagen, dass die Wegsubstitution die bessere Variante ist. Dies gilt nur für Fahrprofile, in denen einzelne sehr lange Wege vorkommen, die mit einer einzigen Schnellladung nicht überwunden werden können. Besitzt jedoch ein Fahrprofil mehr als drei Wege, kann dieses vielleicht noch mit einer Schnellladung pro Weg bewältigt werden, aber auf Grund der Anzahl der langen Wege mit der Variante Wegsubstitution nicht mehr.

2.5.4 Thermische Erfüllbarkeit

Bei der thermischen Batteriesimulation wurden folgende Lade Strategien bei gleichbleibender Batteriegröße pro Fahrzeug getestet und durchsimuliert (Abbildung 2.5.9):

- 1) Reiner elektrischer Betrieb des Fahrzeuges ohne Schnellladung und Range Extender, nur mit Normalladung (Ladeleistung 3,15 kW, Anschlussleistung: 3,7 kW) dort wo laut Standortanalyse³² auch Ladung möglich ist.
- 2) Reiner elektrischer Betrieb mit Normalladung, aber wenn der SOC Wert der Batterie unter 0.01 fällt, wird angehalten und 15 Minuten mit 80 kW geladen (Schnellladung).
- 3) Reiner elektrischer Betrieb mit Normalladung, Schnellladung, und Range Extender. Die Betriebsstrategie des Range Extenders war so definiert, dass bei einem SOC-Wert von 0.2 der Ladevorgang beginnt, und bei SOC von 0.15 dann die volle Leistung des Range Extenders ansteht.
- 4) Reiner elektrischer Betrieb mit Normalladung und integrierten Range Extender.



Abbildung 2.5.9: Strom-, SOC- und Temperaturprofil bei „Schnellladungstest“

2.5.4.1 Ergebnisse und Interpretation Kleinwagen (KW)

In Abbildung 2.5.10 sind die Simulationsergebnisse für die Fahrzeugklasse Kleinwagen dargestellt. In der Spalte Antrieb steht ob das Fahrzeug über den kompletten Simulationszyklus (alle Simulationstage) rein elektrisch betrieben werden könnte (nur Normalladung), oder ob die Batteriekapazität für das Fahrprofil nicht ausreicht. „Gefahrene Tage“ ist die Anzahl durchgehender Tage, von denen Messwerte vorhanden sind. In der Spalte „Tage mit Schnellladung“ sind jene Tage mit implementierter Schnellladung nachsimuliert, welche rein elektrisch nicht zu bewerkstelligen wären. „Tage mit Schnellladung und Range Extender“ heißt, dass die nicht rein elektrisch zu fahrenden Tage mit integrierter Schnellladung und Range Extender nachsimuliert wurden. In der letzten Spalte „Tage mit RE“ sind die Tage angeführt, die rein elektrisch nicht gefahren werden können und deshalb als Hilfsmittel einen Range Extender eingebaut haben.

KW 5 bräuchte implementierte Schnellladung und einen Range Extender um alle seine Wege erfüllen zu können. Schaffen würde KW 5 die Fahrdistanzen auch, wenn zusätzlich mit Schnellladung geladen werden würde (ohne Range Extender). Allerdings würde in diesem Szenario die Batterietemperatur über 55°C steigen, was über der erlaubten Betriebstemperatur liegt. Wenn in KW 5 nur ein Range Extender eingebaut wäre (ohne Schnellladung), wäre es Batterietemperaturtechnisch ebenfalls nicht möglich alle benötigten Fahrwege zu absolvieren.

Fahrzeug KW 9 würde zwar alle Fahrdistanzen mit Schnellladung oder Schnellladung und Range Extender schaffen, die in der Batterie entstehenden Temperaturen würden aber auf unzulässige Werte steigen. Bei KW 9 sind die benötigten Leistungen zu hoch, um mit einer Batteriekapazität von etwa 15 kWh alle Fahrten zu bewerkstelligen. Um auch diese Wege-

³² Geladen wird an allen definierten Standorten (siehe Tabelle 2.3.1, links)

ketten fahren zu können wäre es möglich eine größere Batterie einzubauen (Gewicht, Kosten, ...) oder einen leistungsstärkeren Range Extender zu verwenden.

	Antrieb	Batteriekapazität (kWh)	Gef. Tage (Tage)	RE Leistung (kW)	Tage mit Schnellladung (-)										Tage mit Schnellladung und RangeExtender (-)										Tage mit RE (-)									
KW 1	elektrisch	15,5	29																															
KW 2	elektrisch	15,5	18																															
KW 3	elektrisch	15,5	20																															
KW 4	elektrisch	15,5	20																															
KW 5	SL+RE	15,5	25	15	Tag 16 17 24 T°C 59 59 57 SL 2 2 2										Tag 16 17 24 T°C 51 53 50 SL 1 1 1																			16, 17, 24
KW 6	elektrisch	15,5	21																															
KW 7	elektrisch	15,5	21																															
KW 8	elektrisch	15,5	35																															
KW 9	nicht möglich	15,5	34	15	Tag 11 18 34 T°C 62 71 52 SL 2 2 1										Tag 11 18 34 T°C 53 58 26 SL 1 1 0																			11, 18, 34
KW 10	elektrisch	15,5	11																															

Abbildung 2.5.10: Simulationsergebnisvergleich Kleinwagen

2.5.4.2 Ergebnisse und Interpretation Mittelklasse (MK)

Bei den Mittelklassefahrzeugen Abbildung 2.5.11 könnten 8 von 12 Fahrzeugen alle ihre Wege rein elektrisch zurücklegen. Nur MK 1 schafft einen Tag nicht. Hätte dieses Fahrzeug einen Range Extender, oder wäre Schnellladung oder Schnellladung und Range Extender zulässig, könnte auch dieses elektrische Fahrzeug alle Wegeketten erfüllen. Dies wäre auch der Fall für die Fahrzeuge MK 6 und MK 12. Unabhängig davon, welche Ladestrategie angewendet werden würde, sie könnten diesen einen kritischen Tag bewerkstelligen. Nur bei MK 7 ist zu beachten, dass dieses bei Verwendung von Schnellladung 4 Ladevorgänge bräuhete (4x15min Zeitverlängerung). Bei Schnellladung und Range Extender wären die Distanzen mit diesem Fahrzeug fahrbar.

	Antrieb	Batteriekapazität (kWh)	Gef. Tage (Tage)	RE Leistung (kW)	Tage mit Schnellladung (-)										Tage mit Schnellladung und RangeExtender (-)										Tage mit RE (-)									
MK 1	SL, SL+RE, RE	22,1	22	25	Tag 11 T°C 45 SL 2										Tag 11 T°C 23 SL 0																			11
MK 2	elektrisch	22,1	22																															
MK 3	elektrisch	22,1	28																															
MK 4	elektrisch	22,1	19																															
MK 5	elektrisch	22,1	35																															
MK 6	SL, SL+RE, RE	22,1	21	25	Tag 16 17 T°C 46 47 SL 1 2										Tag 16 17 T°C 27 26 SL 0 0																			16, 17
MK 7	SL+RE	22,1	32	25	Tag 23 29 31 T°C 43 48 51 SL 1 4 4										Tag 23 29 31 T°C 25 27 46 SL 0 0 2																			23, 29, 31
MK 8	elektrisch	22,1	21																															
MK 9	elektrisch	22,1	27																															
MK 10	elektrisch	22,1	13																															
MK 11	elektrisch	22,1	22																															
MK 12	SL, SL+RE, RE	22,1	33	25	Tag 22 T°C 47 SL 1										Tag 22 T°C 28 SL 0																			22

Abbildung 2.5.11: Simulationsergebnisvergleich Mittelklassefahrzeug

2.5.4.3 Ergebnisse und Interpretation SUV

In Abbildung 2.5.12 sind die Simulationsergebnisse von der Fahrzeugklasse SUV dargestellt. Bei diesen relativ großen Fahrzeugen und einer Batteriekapazität von 31 kWh könnten nur 2 von 5 Fahrzeugen rein mit Normalladung alle Fahrdistanzen erreichen. Für die Reichweitenverlängerung bei SUV 2 und SUV 3 wäre ein Range Extender und zusätzlich die Möglichkeit der Schnellladung zu implementieren, um alle Zyklen fahren zu können (nur Schnellladung wäre zu wenig). Bei SUV 4 würde es reichen, nur Schnellladung zuzulassen.

		Antrieb	Batterie- kapazität (kWh)	Gef. Tage (Tage)	RE Leistung (kW)	Tage mit Schnellladung										Tage mit Schnellladung und RangeExtender										Tage mit RE					
						(-)										(-)										(-)					
SUV 1	SUV	elektrisch	31.0	22		Tag	2	3	9	15	17	18					Tag	2	3	9	15	17	18								
SUV 2		SL+RE	31.0	20	36	T°C	35	34	41	34	34	35					T°C	25	23	35	23	23	24								2, 3, 9, 15, 17, 18
						SL	2	1	3	1	1	1					SL	0	0	1	0	0	0								
SUV 3		SL+RE	31.0	20	36	Tag	15	16									Tag	15	16												15, 16
						T°C	42	42									T°C	38	37												
					SL	5	5									SL	2	2													
SUV 4		SL, SL+RE	31.0	25	36	Tag	4	5	9	10	11	15	18	19	23	24	Tag	4	5	9	10	11	15	18	19	23	24				4, 5, 9, 10, 11, 15, 18, 19, 23, 24
						T°C	34	40	38	39	28	39	37	38	36	35	T°C	23	32	32	31	28	37	29	32	29	26				
SUV 5		elektrisch	31.0	21		SL	1	1	1	1	0	2	2	1	1	1	SL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0				

Abbildung 2.5.12: Simulationsergebnisvergleich SUV

2.5.4.4 Ergebnisse und Interpretation Transporter (TR)

Bei der Fahrzeugklasse der Transporter Abbildung 2.5.13 könnte kein einziges Fahrzeug ohne zusätzliche Ladungen (Schnellladung, Range Extender) die gemessenen Strecken bewerkstelligen. TR 1 und TR 4 bräuchte zumindest einen Range Extender, für TR 2 wäre ein Range Extender und Schnellladung notwendig. Tr 3 könnte grundsätzlich seine Wegstrecken schaffen, aber durch die Anzahl an Schnellladungen und dadurch resultierende Zeitverzögerung wird dieses Fahrprofil als „nicht möglich“ bewertet.

		Antrieb	Batterie- kapazität (kWh)	Gef. Tage (Tage)	RE Leistung (kW)	Tage mit Schnellladung (-)										Tage mit Schnellladung und RangeExtender (-)										Tage mit RE (-)				
						Tag	8	10	15	16	22	23	29	30		Tag	8	10	15	16	22	23	29	30						
TR 1	Transporter	SL, SL+RE, RE	31.0	31	36	T°C	36	34	35	35	35	36	35	36	35		T°C	27	25	25	25	25	25	25	26	26				8, 10, 15, 16, 22, 23, 29, 30
						SL	1	1	1	1	1	1	1	1		SL	0	0	0	0	0	0	0	0						
TR 2		SL+RE	31.0	27	36	Tag	2	3	9	10							Tag	2	3	9	10									2, 3, 9, 10
						T°C	34	42	35	36							T°C	26	39	26	36									
TR 3		nicht möglich	31.0	22	36	SL	1	4	1	1						SL	0	2	0	1										
						Tag	12	13	14	19						Tag	12	13	14	19										12, 13, 14, 19
						T°C	44	43	46	29						T°C	41	41	42	29										
						SL	12	7	6	0						SL	6	4	3	0										
TR 4		SL+RE, RE	31.0	31	36	Tag	17	24	29	31						Tag	17	24	29	31										17, 24, 29, 31
						T°C	35	24	37	33						T°C	25	24	24	23										
						SL	2	0	9	1						SL	0	0	0	0										

Abbildung 2.5.13: Simulationsergebnisvergleich Transporter

2.5.4.5 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Aus den Simulationsergebnissen folgt, dass 55 % der FahrerInnen mit ihren Fahrzeugen alle ihre gewünschten Wege rein elektrisch zurücklegen können. Werden die Fahrzeugsimulationen erweitert, indem Schnellladung integriert wird, steigt die Anzahl an Personen die ihren Fahrbedarf decken können auf 70 % an. Ob Schnellladung oder ein Range Extender implementiert ist, hat ähnliche Auswirkung auf die Fahrzeugreichweiten, und dadurch auf Erfüllung der geforderten Wege oder nicht. Bei zwei Fahrzeugen wurde festgestellt, dass diese mit den betrachteten Simulationsszenarien ihre Ziele nicht erreichen würden. Bei diesen könnte man die Batterie vergrößern oder einen leistungsstärkeren Range Extender benutzen.

Der Vergleich zwischen den verschiedenen Fahrzeugtypen und Ladestrategien ist in Abbildung 2.5.14 dargestellt.

Schlussfolgerungen sind, dass die Batterie (Kapazität, Masse, Leistung, ...) eine wesentliche Rolle bei der Auslegung von Elektrofahrzeugen spielt. Grundsätzlich gibt es wenig thermische Probleme mit der Batterie (Schnellladung). Je größer und schwerer ein Fahrzeug gebaut ist, desto schwieriger ist die Elektrifizierung und desto eingeschränkter sind die Anwendungsmöglichkeiten (Reichweite).

	Elektrisch	Schnellladung	Schnellladung & Range-Extender	Range-Extender
KW 1	OK			
KW 2	OK			
KW 3	OK			
KW 4	OK			
KW 5			OK	
KW 6	OK			
KW 7	OK			
KW 8	OK			
KW 9				
KW 10	OK			
MK 1		OK	OK	OK
MK 2	OK			
MK 3	OK			
MK 4	OK			
MK 5	OK			
MK 6		OK	OK	OK
MK 7			OK	
MK 8	OK			
MK 9	OK			
MK 10	OK			
MK 11	OK			
MK 12		OK	OK	OK
SUV 1	OK			
SUV 2			OK	
SUV 3			OK	
SUV 4		OK	OK	
SUV 5	OK			
TR 1		OK	OK	OK
TR 2			OK	
TR 3				
TR 4			OK	OK
Summe:	18	5	11	5

Abbildung 2.5.14: Simulationsergebniszusammenfassung hinsichtlich thermischer Belastung

2.5.5 Schnellladeinfrastruktur im hochrangigen Straßennetz Österreichs

Die in Abschnitt 2.5.2 dargestellte Form der Schnellladung steigert die Erfüllbarkeit vor allem der Freizeitfahrten. Daher wird in diesen Analysen von keiner täglichen Benutzung der Schnellladeinfrastruktur ausgegangen. Im ersten Schritt werden deswegen nur das hochrangige Straßennetz (Autobahn und Schnellstraße) und wichtige Straßenzüge genauer betrachtet. Ziel dieses Kapitels ist es, eine Größenordnung der minimal notwendigen Anzahl an Schnellladestationen sowie deren möglichen Aufteilung in Österreich zu erarbeiten.

2.5.5.1 Dimensionierungsüberlegungen

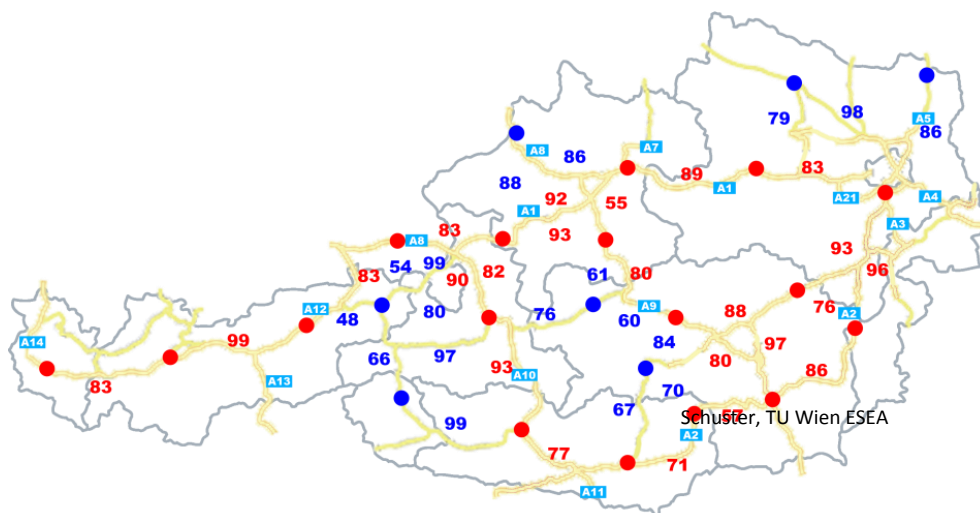
Mit dem Konzept der Schnellladung aus Abschnitt 2.5.2 werden je Ladevorgang 20 kWh in die Fahrzeugbatterie geladen. Bei einem derzeit realistischen Verbrauch ohne Aufladeverluste von 20 kWh/100 km ergibt dies eine Reichweite von 100 km. Werden im Fahrzeug zusätzlich Verbraucher wie Klimaanlage oder Heizung eingeschaltet und fährt die LenkerInnen mit hoher Geschwindigkeit (140 km/h) so kann sich der Verbrauch auf rund 28 kWh/100 km erhöhen. Die Reichweite reduziert sich damit auf 70 km. Die Schnellladestellen dürfen daher max. 100 bzw. 70 km voneinander entfernt sein. Beide Aspekte werden im Folgenden für Österreich näher betrachtet.

Die Analyse der Schnellladeinfrastruktur wird nur beispielhaft und ohne Optimierungsalgorithmen für das hochrangige Straßennetz Österreichs im folgenden Kapitel durchgeführt.

2.5.5.2 Durchdringungsvarianten für Österreich

Die Entfernungen wurden mit der Funktion „Route berechnen“ von „Google maps“ [50] ermittelt. Dieses Berechnungstool verwendet vorzugsweise das hochrangige Straßennetz (Autobahn und Schnellstraßen) und wichtige Straßenzüge unter Berücksichtigung der zeitlich oder von der Länge her kürzesten Verbindung. Wurde von „Google maps“ mehr als eine Route vorgeschlagen, so wurde immer jene mit der kürzesten Distanz gewählt.

Die folgenden Ergebnisse stellen Abschätzungen einer möglichen Realisierung dar.



**Abbildung 2.5.15: Möglicher Plan von Schnellladestationen für Österreich (100km)
(eigene Darstellung auf Grundlage von [51] und [52])**

Wie in Kapitel 2.5.5.1 beschrieben, dürfen die Schnellladestationen unter Idealbedingungen max. 100 km entfernt sein. Platziert man am hochrangigen Straßennetz in Österreich Schnellladestationen, welche max. 100 km entfernt voneinander sind, so benötigt man 17 Einrichtungen. Mit 7 weiteren Schnellladestationen werden auch sonst wichtige Straßenzüge sowie Grenzgebiete mit eingeschlossen. Eine denkbare Aufteilung gibt Abbildung 2.5.15. Die Zahlen in beiden Abbildungen geben jeweils die Entfernung zwischen den Lademöglichkeiten in km an.

Bei einem erhöhten Verbrauch verringert sich die Reichweite der rein elektrischen Fahrzeuge. Abbildung 2.5.16 zeigt eine mögliche Schnellladestelleninfrastruktur für das hochrangige österreichische Straßennetz mit max. Entfernungen zwischen den Ladepunkten von 70 km. Unter diesen Bedingungen sind 26 Schnellladestationen für das hochrangige Straßennetz und weitere 12 für sonst wichtige Straßenzüge sowie Grenzgebiete notwendig.

Bei beiden Ausprägungen ist jeweils eine Schnellladestation in Deutschland („Großes Deutsches Eck“) zu errichten, da sonst Tirol via Autobahn nicht erreicht werden können.

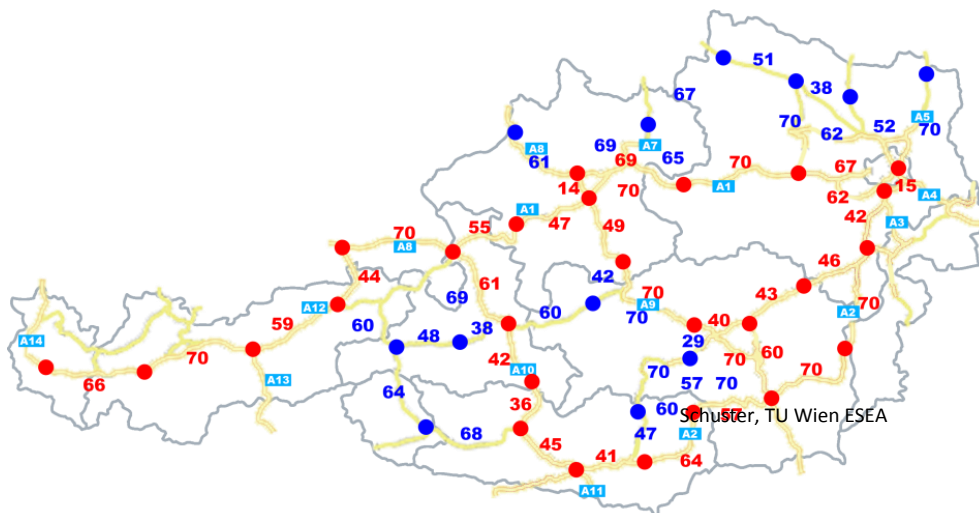


Abbildung 2.5.16: Möglicher Plan von Schnellladestationen für Österreich (70km)
(eigene Darstellung auf Grundlage von [51] und [52])

Wie in Abschnitt 2.5.4 beschrieben ist, kann die mehrmalige Schnellladung innerhalb eines Weges (z.B. Wien-Salzburg) für derzeitige Elektroautos aus thermischen Gründen nicht möglich sein. Für Distanzen, bei denen eine Zwischenladung ausreicht (100-200 km), erscheint der Plan der Schnellladeinfrastruktur durchaus sinnvoll.

Die Anzahl der jeweils benötigten Ladeplätze einer Schnellladestation muss in weiteren Analysen noch bestimmt werden. Diese ist vor allem abhängig von der Marktdurchdringung mit Elektroautos, der Multimodalität der FahrerInnen sowie der Kundenakzeptanz. Darüber hinaus kann sich die Anzahl der benötigten Schnellladestationen mit dem Nutzungsgrad stark erhöhen.

2.5.6 Kostenanalyse der Ladeinfrastruktur

Die Kostenanalyse wurde mittels vertiefender Literaturrecherche in den bereits bestehenden Modellregionen, nationalen und internationalen Artikeln sowie Präsentationen durchgeführt (siehe [53] – [58]). Die Vergleichbarkeit wird erschwert, da in den verschiedenen Literaturquellen unterschiedliche Kostenpunkte betreffend die Ladeinfrastrukturen angegeben sind. Daher wird im Folgenden kurz auf die möglichen Kostenarten eingegangen; anschließend werden die Kostenhöhen betrachtet.

2.5.6.1 Kostenarten

Die Kostenarten einer elektrischen Ladestation sind vielfältig und können in erster Linie in Investitionskosten und laufende Kosten unterteilt werden. Die Investitionskosten können wiederum in folgende Komponenten gegliedert werden:

- Hardware der Stromstelle (Zertifizierung, Steckdosen, Gehäuse, Schutzvorrichtungen, Bildschirm, Bezahlinheit etc.)
- Errichtung der Stromstelle und ev. Parkmöglichkeit (Arbeitszeit, Markierung des Parkplatzes etc.)

- Netzanschluss inkl. Errichtung (Netzzutritts-, Netzbereitstellungsentgelt, Grabungsarbeiten, Zählermontage, Rundsteuerempfänger, Verdrahtung etc.)

Die laufenden Kosten entstehen durch:

- Standplatzkosten (Parkplatzgebühren, Schneeräumung etc.)
- Wartungskosten der Stromstelle
- Netzanschluss (Zählergebühr, Rundsteuerempfänger etc.)

Da bei den wenigsten Kostenangaben in den Literaturquellen auf die detaillierte Aufstellung aller betrachteten Positionen eingegangen wird, ist meist anzunehmen, dass hauptsächlich nur die Hardwarekosten der Stromstellen angegeben werden.

2.5.6.2 Kostenhöhen

Durch die vielen Variationen der betrachteten Kostenpunkte, sowie meist schwer definierbaren laufenden Kosten der Ladeinfrastruktur, werden folgend nur die Hardwarekosten der Stromstellen verglichen.

Die Stromstellen werden meist nach Anschlussart (Privat, Halböffentlich und Öffentlich³³) und Anschlussleistung (3,7 kW; 11 kW; 22 kW; 44 kW und mehr) klassifiziert. Weiteres kosten-sensitives Kriterium ist die Art der Abrechnung (ohne oder mit Abrechnungssystem), welches einen geschätzten Unterschied von rund 500,- Euro ausmacht [58].

Abbildung 2.5.17 zeigt die Gegenüberstellung der Hardwarekosten der Stromstellen je Anschlussart und -leistung. Der Trend über alle Ladestationsarten steigt exponentiell mit der maximalen Ladeleistung je Autoanschlusspunkt. Bei sehr hohen Leistungen (> 44 kW) ist die Kostenabschätzung schwierig, da ev. erforderliche Transformatorausbauten sehr starken Einfluss haben. Um eine wirtschaftlich notwendige Auslastung der Ladeinfrastruktur zu erreichen, werden flächendeckend eher niedrige Ladeleistungen bis max. 22 kW und optional einzelne Schnellladesysteme mit sehr kurzer Stehdauer interessant. Schnellladestationen benötigen eine hohe Fluktuation und zusätzlich zum Energiepreis einen Leistungspreis, um die relativ hohen Investitionskosten zu amortisieren.

Der Kostenunterschied zwischen privatem und halböffentlichem Anschluss ist gering und kann im Großen und Ganzen auf das Abrechnungssystem zurückgeführt werden. Hingegen besitzt der öffentliche Anschluss schon bei gleicher maximaler Ladeleistung höhere Investitionskosten und im Allgemeinen auch größere laufende Kosten. Schnellladungen (> 22 kW) werden laut dieser Literaturrecherche nur mehr mit öffentlichen Anschlüssen angeboten.

³³ Ein halböffentlicher Stellplatz hat i. d. R. eine Zutrittskontrolle (z.B.: Schranken) und ist bspw. in Park&Ride-Anlagen und bei Supermärkten vorhanden. Im Gegensatz dazu besitzt ein privater Stellplatz eine Zutrittsbeschränkung (mit Schlüssel oder dgl.) und ein öffentlicher Platz keines von beiden.

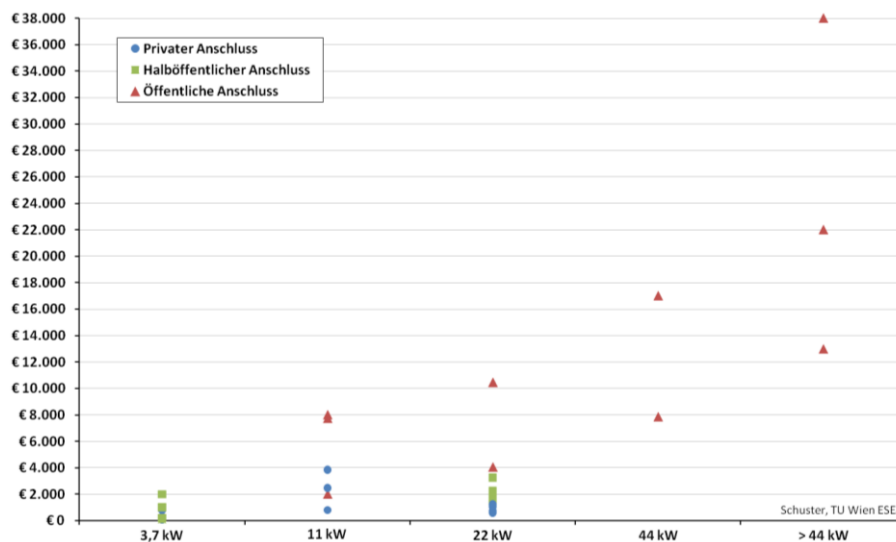


Abbildung 2.5.17: Gegenüberstellung der Hardwarekosten der Ladestellen je Anschlussleistung und Anschlussart (Literaturrecherche [53] – [58])

2.5.7 Zusammenfassung

Das Kapitel behandelt die Erfüllbarkeit von Fahrprofilen jeder Fahrzeugkategorie ausgehend von Normalladung für mehrere Varianten der Ladeinfrastruktur. Zusammenfassend kann eine Auswertung der Erfordernisse für die Ladeinfrastruktur der unterschiedlichen Fahrzeuge vorgenommen und in eine Übersicht (Tabelle 2.5.5) gebracht werden.

- Kleinwagen und Mittelklasse-Fahrzeuge können zu einem sehr hohen Anteil mit Normalladung ihre Fahrprofile erfüllen. Unter Zuhilfenahme von Schnellladung oder Wegsubstitution kann ein weiterer gewichtiger Anteil erfüllt werden. Diese beiden Fahrzeugklassen eignen sich sehr gut als Elektrofahrzeuge.
- Große Fahrzeuge (SUV, Transporter) können im Regelfall die Fahrprofile nicht mit Normalladung, aber auch bei Unterstützung durch Schnellladung und Wegsubstitution nur in beschränktem Maße elektrisch erfüllen. Transporter und SUV führen alleine schon durch das höhere Gewicht zu mehr Problemen bei der Umstellung auf E-Fahrzeuge und in weiterer Folge zu einer geringeren Erfüllbarkeit der Mobilität. Ein vollelektrischer Betrieb dieser Klassen ist primär nicht zielführend.
- Range Extender in erwähnter Betriebsweise können bei dieser Stichprobe nur in der Mittelklasse und bei den Transportern Verbesserungen in der Erfüllbarkeit erzielen.
- Einzeln betrachtet haben die Standorte „zu Hause“ und „Arbeitsplatz“ die größte Relevanz, sodass sich an diesen Orten Ladeinfrastruktur bezahlt macht. Wird Ladeinfrastruktur an verschiedensten Standorten ausgebaut, werden auch einzelne Freizeiteinrichtungen eine energetisch wesentliche Rolle einnehmen. Flächendeckende und wahllos errichtete Ladeinfrastruktur ohne Kombination mit Wegzwecken ist energetisch nicht zielführend.

Tabelle 2.5.5: Anteil des Erfüllbarkeit der jeweiligen Fahrzeugklasse mit entsprechender Ladeinfrastruktur

	Normal-ladung	Normalla-dung + Schnellla-dung	Normalladung + Wegsubstitu-tion	Normalladung + Range Ex-tender	nicht elektrisch
	zu Hause + Arbeits-platz	max. 1 mal pro Weg	max. 3 Wege-ketten	<i>Laden an allen Standorten</i>	Minimum
Kleinwagen (15,5 kWh)	60 %	80 %	90 %	80 %	10 %
Mittelklasse (22,1 kWh)	58 %	83 %	83 %	92 %	8 %
SUV (31,0 kWh)	20 %	40 %	60 %	40 %	40 %
Transporter (31,0 kWh)	0 %	25 %	25 %	50 %	50 %

2.6 Nutzer- und Marktpotenzial, verkehrs- und umweltrelevante Auswirkungen (AP6)

Verschiedene nationale Entwicklungsstrategien thematisieren das Thema Elektromobilität - in Österreich ist das der Nationale Einführungsplan Elektromobilität, in Deutschland die Nationale Entwicklungsstrategie Elektromobilität. Ihnen liegt eine vornehmlich angebotsorientierte Sichtweise zugrunde. Unbeantwortet bleiben eine Reihe von Fragen in Hinsicht auf die Nachfrageseite: Welche Produkteigenschaften werden von potenziellen Kunden vorausgesetzt, wie hoch ist ihre Zahlungsbereitschaft? Mit welchen begleitenden Maßnahmen kann der Absatz von Elektroautos gefördert werden, wie stark ist der Einfluss des Preises fossiler Treibstoffe? Sind die formulierten Ziele nicht nur aus Sicht der Technologieentwicklung sowie der Produzenten erreichbar, sondern decken sie sich auch mit den Bedürfnissen der Nachfrage am Fahrzeugmarkt? Ziel des AP 6 ist die Entwicklung eines geeigneten Modelles zur Abschätzung der Kaufnachfrage, um damit diese Fragen zu beantworten und das Nutzer- und Marktpotentials von Elektroautos abschätzen zu können.

Die gegenwärtig am Pkw-Markt angebotenen Elektroautos entsprechen in vielen Produkteigenschaften nicht den herkömmlichen Pkw, als Folge davon sind die Verkaufszahlen gering. Der Elektroautobestand am gesamten Pkw-Bestand betrug im Jahr 2010 0,008 Prozent [71]. Die Analyse aktueller Verkaufszahlen ist daher zur Beantwortung der forschungsleitenden Frage des Arbeitspakets nicht zielführend. Statt dessen ist eine die Bedürfnisse der NutzerInnen berücksichtigende Technik aus der Verkehrsnachfragemodellierung und dem betrieblichen Marketing zur Erschließung hypothetischer Märkte anzuwenden.

2.6.1 Analyse des Nutzer- und Marktpotenzials

2.6.1.1 Methodische Vorgehensweise

Die Analyse des Nutzer- und Marktpotenzials erfolgte auf Basis einer Stated-Response-Befragung ([60], [61]), bei der Verhalten oder Einstellungen der Befragten in hypothetischen Situationen in Rahmen von Wahlexperimenten erfasst werden. Dabei sind die Rahmenbedingungen der Entscheidungssituationen und die Eigenschaften der zur Wahl stehenden Alternativen genau definiert. Die Analyse der Entscheidungen der Befragten ermöglicht die Bestimmung der wahlentscheidenden Faktoren wie Produkteigenschaften, Rahmenbedingungen und soziodemographischen Faktoren. Es gibt verschiedene Ausgestaltungsoptionen einer Stated-Response-Befragung. In der SEM-Befragung wurde eine Stated-Choice-Befragung, nämlich die Kauf- und Nutzungsauswahl einer aus mehreren Alternativen, als auch eine Stated-Ranking-Befragung (Rangreihung mehrerer Alternativen) vorgenommen [73].

Die valide Beurteilung der verfügbaren Wahlalternativen durch die Befragten setzt für den Befragten plausible Rahmenbedingungen voraus. Daher wurde der Befragung eine Recherche der aktuellen Bedingungen und möglicher künftiger Entwicklungen in der Automobilbranche (herkömmlicher Pkw, Hybrid, Elektroauto) vorgeschaltet, um Annahmen für die künftige technische Entwicklung zu erarbeiten. Diese beinhalten das in den nächsten 15 Jahren zu

erwartende Angebot an Elektroautos und ihrer Produkteigenschaften samt vorzuhaltender Infrastruktur und verkehrspolitische Rahmenbedingungen zur Förderung der Elektromobilität.

2.6.1.2 Zielsetzung und Konzeption der Befragung

In der durchgeführten Stated-Response-Befragung wurden der Pkw-Kauf und die Verkehrsmittelwahl für Pkw-Fahrten des Werktags-, Urlaubs- und Wochenendverkehrs anhand von hypothetischen Experimenten untersucht. Ziel der Kaufexperimente ist es, die kaufrelevanten Eigenschaften der Produkte und des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens sowie Ansprüche ihrer Käufer unter realitätsnahen Marktbedingungen zu identifizieren. In den Pkw-Kaufexperimenten wählen die Befragten entsprechend ihrer Präferenzen einen von drei Pkw (Abbildung 2.6.1).

Nr. 1a	Auto-Kauf	Pkw Nr. 2	Kontakt-ID 2131610	Auskunftgeber/in
Stellen Sie sich vor, Sie kaufen sich ein Auto. Für welches der folgenden Autos – das ihrem eigenen Entsprechende oder ein Anderes - würden Sie sich entscheiden?				
Annahme: Flächendeckende Ladeinfrastruktur für Elektromobilität vorhanden. Ladevorgang zu Hause: mit herkömmlichem Stromanschluss.				

Reichweite bei Vollladung bzw. Volltanken Kaufpreis Leistung Umweltbelastung (Herstellerangabe) Tank-/Ladedauer für 100 km in Stunden Laufende Kosten je 100 km (Energie/Treibstoff, Steuer, Reparatur, Versicherung)	Ihr Pkw: VW Golf Kombi Benzin/Diesel	Alternative: VW Golf Kombi Elektro	Alternative: VW Golf Kombi Hybrid
	km	km	km
	Euro	Euro	Euro
	PS	PS	PS
	Gramm CO ₂ /km	Gramm CO ₂ /km	Gramm CO ₂ /km
	Übliche Dauer	Std	Wie Diesel/Benzin-Pkw
	Euro/100 km	Euro/100 km	Euro/100 km
IHRE WAHL ☐ Keines	☐	☐	☐
Ihre Wahlreihenfolge der Autos:	1 2 3	1 2 3	1 2 3
Bitte begründen Sie Ihre Wahl			

Abbildung 2.6.1: Befragungsformular für ein Kaufexperiment

Zur Wahl stehen jeweils ein Elektro-, ein Hybrid- und ein herkömmliches Fahrzeug. Die Fahrzeuge unterscheiden sich in bis zu sieben Produkteigenschaften (Attribute): Kaufpreis, Reichweite, Umweltauswirkungen, Motorleistung, Lade-/Tankdauer, laufende Kosten³⁴ pro 100 km, jährliche laufende Kosten, Lebensdauerkosten (Summe aus Kaufpreis und in sieben Jahren anfallenden laufenden Kosten). Entscheidet sich die befragte Person für ein Elektroauto, ist dies nach gegenwärtigem Stand der Technik mit Anpassungen des Mobilitätsverhaltens verbunden. Tagesfahrten mit einer hohen Gesamtfahrleistung können mit Elektroautos nicht oder nur unter Komforteinbußen durchgeführt werden. In dem Verkehrsmittelwahllexpe-

³⁴ Verbrauchskosten und Kosten für Versicherung, Reparatur, Steuern.

riment werden diese Restriktionen aufgedeckt, das Ausmaß der Nutzung von Elektroautos abgeschätzt und die Kaufentscheidung für Elektroautos hinterfragt und gegebenenfalls korrigiert.

Zur Abschätzung des Marktpotentials von Elektroautos wurde im Verkehrsmittelwahlexperiment erhoben, welches Verkehrsmittel (Alternativen: Elektroauto, herkömmlicher Pkw, Öffentliche Verkehrsmittel, Mietwagen, Sonstiges) nach dem Kauf eines Elektroautos auf langen Tagesfahrten, die die Reichweite von Elektroautos überschreiten können, verwendet wird. Die Alternativen unterschieden sich in den Fahrkosten, der Fahrtdauer sowie der notwendigen Anzahl und Dauer der Fahrtunterbrechungen für Umsteigen für öffentliche Verkehrsmittel oder Nachladen der Batterie. In diesem Zusammenhang wurde auch erhoben, ob das Aufzeigen der Nutzungsrestriktionen Auswirkungen auf die Kaufentscheidung hat. Um die Realitätsnähe der Kaufentscheidungen sicherzustellen, wurde die Befragung auf die jeweiligen Bedürfnisse der Befragten individualisiert. Basis der Kaufentscheidungen sind der aktuelle Bestand-Pkws des befragten Haushaltes bzw., sofern konkrete Kaufabsichten bestehen, der Wunsch-Pkw. Die Befragung zur Verkehrsmittelwahl basiert auf den durchgeführten Tagesfahrten mit einer Gesamtfahrleistung von über 150 Kilometern, die mit einem Bestands-Pkw durchgeführt wurden.

Dieses Vorgehen erfordert ein zweistufiges Befragungsschema (Abbildung 2.6.2). Zunächst erfolgt eine telefonische Kontaktaufnahme mit den Zielpersonen, in der Angaben zum Pkw-Bestand, zu Pkw-Kaufabsichten und zu Pkw-Fahrten erhoben werden. In der zweiten Befragungsstufe werden Haushaltsinterviews (Face-to-Face Interviews) durchgeführt, in denen allgemeine Fragen zur Elektromobilität behandelt und die Pkw-Kauf- und Verkehrsmittelwahlexperimente durchgeführt wurden. Dabei sind möglichst alle Haushaltsmitglieder anwesend, da solche Kaufentscheidungen in der Regel gemeinsame Entscheidungen eines Haushaltes sind.

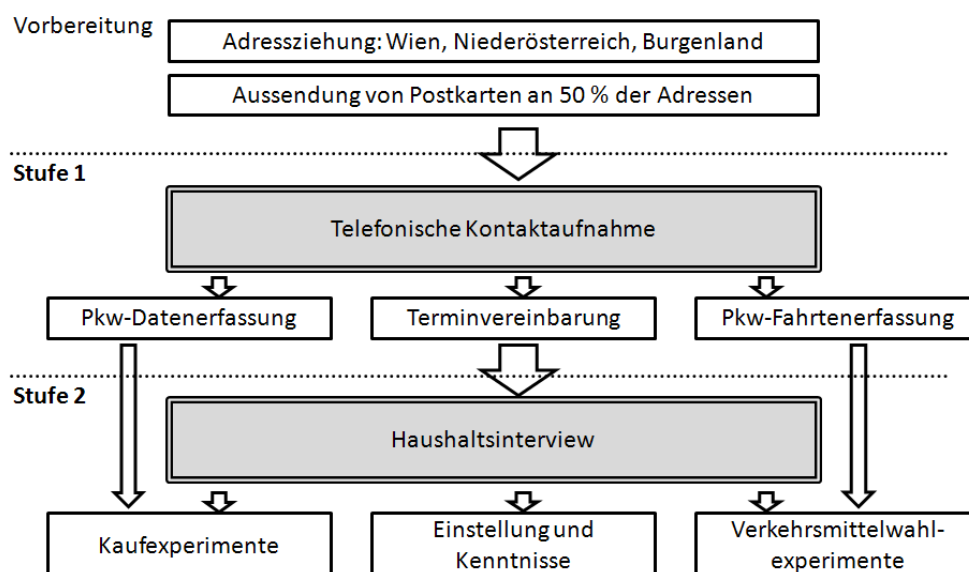


Abbildung 2.6.2: Interviewablauf der mehrstufigen Befragung

2.6.1.3 Ausgestaltung der Pkw-Kaufexperimente

In Pkw-Kaufexperimenten wird der Bestands- bzw. Wunsch-Pkw als eine der drei Alternativen zur Wahl gestellt (Referenz-Pkw, im Beispiel aus Abbildung 2.6.1, der Pkw in der linken Spalte). Die Attribute für diesen Pkw werden – mit Ausnahme der drei Attribute bzw. Variablen zu den laufenden Kosten, die auf Grundlage des Verbrauchs und der Jahresfahrleistung berechnet werden – direkt aus dem Telefoninterview übernommen. Für jedes Attribut der beiden Alternativen werden die den Befragten zur Wahl gestellten Ausprägungen mittels vier Veränderungsfaktoren festgelegt, von denen für jedes Attribut und Experiment jeweils einer zufällig gewählt wird. Multipliziert mit der konkreten Ausprägung des Referenz-Pkws ergeben sie die alternativenspezifischen Attribute. Bei der Konzeption der Attributfaktoren (Festlegung der zulässigen Bandbreite der Werte) sowie bei der konkreten Wahl der Faktoren für ein Kaufexperiment sind verschiedene Phänomene zu berücksichtigen: Die statistischen Analysen der Wahlentscheidungen erfordern unkorrelierte Alternativen, das heißt, dass alle möglichen und auch plausiblen Attributausprägungen zur Sicherstellung einer ausreichenden Orthogonalität vertreten sein müssen. Die Auswahl der Attributausprägungen soll daher zufallsbasiert erfolgen. Für die Abschätzung des Marktpotentials gilt, dass die Ober- und Untergrenzen der in den Kaufexperimenten verwendeten Attributausprägungen, wie technische Standards, Kosten, Reichweite etc., den Bereich vorgeben, in dem Prognosen zur Marktentwicklung zulässig sind. Eine Extrapolation über diesen Bereich hinaus ist nicht sinnvoll. Im Bezug auf die Elektroautos bedeutet dies, dass die in den Kaufexperimenten angebotenen Fahrzeuge – um Vorhersagen treffen zu können – über Produkteigenschaften verfügen müssen, die weit über aktuelle technische Standards hinausreichen. Beides, die Zufallsauswahl und die Breite der Produkteigenschaften, kann aus der Sicht der Befragten inplausible Kaufexperimente bedingen, was die Qualität der Erhebung deutlich einschränkt. Unter diesen Gesichtspunkten ist die Bandbreite der möglichen Attributausprägungen so festgelegt, dass inplausible Kombinationen der Attributausprägungen ausgeschlossen sind. Innerhalb dieses Rahmens erfolgt die Auswahl der Attributausprägung zufallsgestützt.

Für jeden Bestands- bzw. Wunsch-Pkw werden acht Kaufexperimente durchgeführt. Diese können in drei Gruppen unterteilt werden:

- Die **erste Gruppe** besteht aus einem Grundexperiment und zwei aufbauenden Kaufexperimenten. In dieser Gruppe liegt der Fokus auf der Aufbereitung der Kostenattribute der zur Wahl stehenden Autos in unterschiedlichen Darstellungsformen [66]. Die Höhe der Kostenattribute wird dabei nicht verändert, sondern nur jeweils in anderer Form angegeben.
 - Im Grundexperiment werden als Kosteninformation die variablen Betriebskosten pro 100 Kilometer angegeben.
 - Das danach folgende Kaufexperiment basiert auf den identischen Alternativen, zusätzlich werden die auf ein Jahr kumulierten variablen Betriebskosten angegeben. Sie errechnen sich aus der Jahresfahrleistung des Bestands-Pkws und den alternativenspezifischen laufenden Kosten pro 100 Kilometer.
 - Im dritten Kaufexperimente werden anstelle der jährlichen laufenden variablen Kosten die Kosten über die gesamte durchschnittliche Besitzdauer der zur Wahl

stehenden Autos angegeben. Die Kostenattribute werden dabei nicht verändert, sondern nur in anderer Form angegeben, die sich aus der Summe des Kaufpreises und der in einem Zeitraum von sieben Jahren als durchschnittlicher Besitzzeitraum des Autos anfallenden laufenden Kosten ergeben.

- Im Grundexperiment der **zweiten Gruppe** werden den Alternativen zum Bestands- bzw. Wunsch-Pkw neue Attributausprägungen zugewiesen. In dieser Gruppe, die aus vier Kaufexperimenten besteht, werden einzelne Rahmenbedingungen der Kaufentscheidung geändert. Es wird die Wirkung einer Kaufprämie für Elektroautos, des Treibstoffpreisanstieges sowie von Änderungen des Verkehrssystems thematisiert. Letzteres sind eine Parkgebührenbefreiung, die freie Einfahrt in Umweltzonen, Gutscheine für Bahnfahrten und die Mitbenützung von Busfahrstreifen für Elektroautos. Die alternativenspezifischen Attribute, die nicht durch die Rahmenbedingung verändert werden, sind in allen Kaufexperimenten dieser Gruppe gleich. Diese veränderten Rahmenbedingungen gelten nur für jeweils ein Kaufexperiment und wirken nicht kumulativ.
- Die **dritte Gruppe** besteht aus einem Kaufexperiment, wobei den Probanden drei Elektroautos zur Wahl gestellt werden.

Um Rangfolgeneffekte auszuschließen, wurde die Anordnung der Alternativen in den Interviews, die Anordnung der Attribute in den Gruppen, die Reihenfolge der zweiten und dritten Gruppe und die Reihenfolge der Kaufexperimente innerhalb der zweiten Gruppe zufällig variiert. In jedem Kaufexperiment werden jeweils zwei Entscheidungen getroffen. Zunächst entscheidet der/die Befragte, welches der drei angebotenen Fahrzeuge den eigenen Präferenzen am meisten entspricht. Alternativ ist es auch möglich, keines der Fahrzeuge zu wählen („Stated-Choice Technik“). In einer zweiten Stufe werden die Befragten gebeten, die Kaufwahrscheinlichkeit zu reihen („Stated-Ranking Technik“). Kaufexperimente, in denen keines der Fahrzeuge gewählt wurde, wurden in der statistischen Analyse nicht weiter berücksichtigt.

Für jeden Bestands-Pkw werden bis zu drei **Verkehrsmittelwahlexperimente** durchgeführt. Voraussetzung ist die Wahl eines Elektroautos in einem Kaufexperiment der ersten oder zweiten Gruppe. Die Verkehrsmittelwahlexperimente basieren auf dem Verkehrsverhalten an Tagen mit einer Tagesfahrleistung über 150 Kilometer, die im Telefoninterview erhoben wurden. Erfasst wurde der jeweils letzte Werktag, Tag eines Wochenendes und Urlaubstag mit Pkw-Tagesfahrleistung innerhalb der letzten zwölf Monate vor dem Telefoninterview. Unter der Annahme, diese berichteten Tagesfahrten erneut durchzuführen, wurden die Befragten im Verkehrsmittelwahlexperiment gebeten, verschiedene Verkehrsmittel gemäß der Präferenz ihrer Nutzung zu reihen. Zur Wahl standen ein im Haushalt verfügbarer herkömmlicher Pkw, ein Elektroauto, ein öffentliche Verkehrsmittel oder ein Mietwagen. Es gab zudem die Option der offenen Antwort. Vorab wurde erfasst, ob die einzelnen Verkehrsmittel für die gegebene Fahrt objektiv verfügbar sind und fallweise auch genutzt werden. Andernfalls wurden sie von der Wahl ausgeschlossen. Im Gegensatz zum Kaufexperiment sind im Verkehrsmittelwahlexperiment die alternativenspezifischen Attribute für die Alternativen „öffentliches Verkehrsmittel“ und „Sonstiges“ nicht vorgegeben. Hier werden die Befragten gebeten, die Attributausprägungen nach ihren Kenntnisstand anzugeben. Die zu Grunde liegende Annahme ist, dass für die Nutzung des Öffentlichen Verkehrs die subjektive Einschätzung

der Kosten und der Fahrtdauer für die Entscheidungsfindung relevanter ist, als die objektiven Werte. Die Attributausprägungen der Alternative „Sonstiges“ richten sich nach der spezifischen Antwort des Befragten, beispielsweise bei Fahrtverzicht oder geänderter Zielwahl und sind daher vorher nicht festlegbar.

Die Länge der Fahrtdauer des Pkws mit herkömmlichem Antrieb wird entsprechend den Angaben aus dem Telefoninterview angesetzt, auf die des Mietwagens wird ein konstanter Zeitfaktor für die Mietmanipulation aufgeschlagen. Die Kosten des Pkws mit herkömmlichem Antrieb und des Mietwagens werden auf Basis des Standardverbrauch, eines Fixkostenanteil und der Tagesfahrleistung berechnet. Für den Mietwagen wird eine Kostenpauschale zugeschlagen. Die Attributausprägungen des Elektroautos bezüglich Fahrtdauer und Kosten werden basierend auf dem Referenzwert des Bestands-Pkw in geringem Ausmaß zufällig variiert. Da die untersuchte Fahrt die Reichweite des Elektroautos übersteigt, wird die für eine Nachladung erforderliche Ladedauer in Form von Fahrtunterbrechungen berücksichtigt, wobei die Ladeleistung und damit die Dauer der Fahrtunterbrechungen zufällig variiert werden. Die Anzahl und Dauer der Fahrtunterbrechungen beträgt für den herkömmlichen Pkw mit fossilem Treibstoff und den Mietwagen null.

2.6.1.4 Zielgruppe, Sample und Gewichtung

Zielpersonen der Befragung sind dauerhaft in Österreich lebende Personen mit Pkw-Führerschein, die einen Pkw besitzen oder konkrete Pkw-Kaufabsichten haben. Eine durchgeführte Tagesfahrt mit mehr als 150 Kilometern ist keine Voraussetzung. Die Befragung wurde zwischen Januar und April 2011 durchgeführt. Erhebungsregion ist die Ostregion mit den Bundesländern Wien, Niederösterreich und Burgenland. Die Auswahl der Zielpersonen erfolgte in einer geschichteten Stichprobe. Die Schichten wurden durch die Einwohnerverteilung der drei Bundesländer und innerhalb der Bundesländer Niederösterreich und Burgenland durch die Aufteilung der Einwohner auf die Bezirkstypen der Wohnsitzgemeinden festgelegt. Innerhalb der Schichten wurden telefonbuchbasierende Zufallsstichproben gezogen. Die Verteilung der Interviews auf die Region sind in Abbildung 2.6.3 dargestellt.

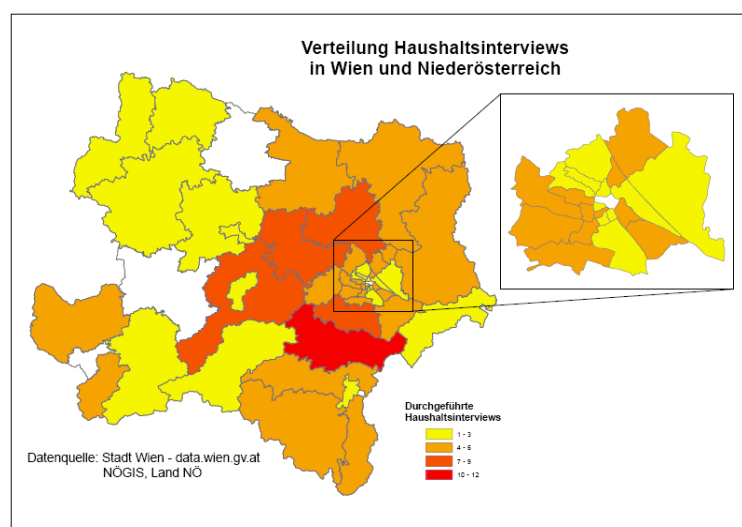


Abbildung 2.6.3: Erhebungsregion (ohne Burgenland)

Insgesamt wurden 1.947 Zielpersonen kontaktiert. 891 Personen gehören zum qualitätsneutralen Ausfall. Dabei handelt es sich um Personen, die trotz mehrmaligem Kontaktversuch nicht erreicht wurden oder keinen Pkw besitzen. Die Rücklaufquote bezieht sich daher auf 1.056 Personen. In Abbildung 2.6.4 sind die Kategorien der Rücklaufquote angegeben. Über die Hälfte der Zielpersonen verweigerte das Telefoninterview, knapp ein Viertel war zum Telefoninterview bereit, verweigerte aber den zweiten Interviewtermin. In der Folge ergibt sich eine Rücklaufquote von 17 Prozent der bereinigten Stichprobe, was für ein zweistufiges Verfahren und einem Haushaltsinterview von einer Länge von über einer Stunde als zufriedenstellend zu beurteilen ist.

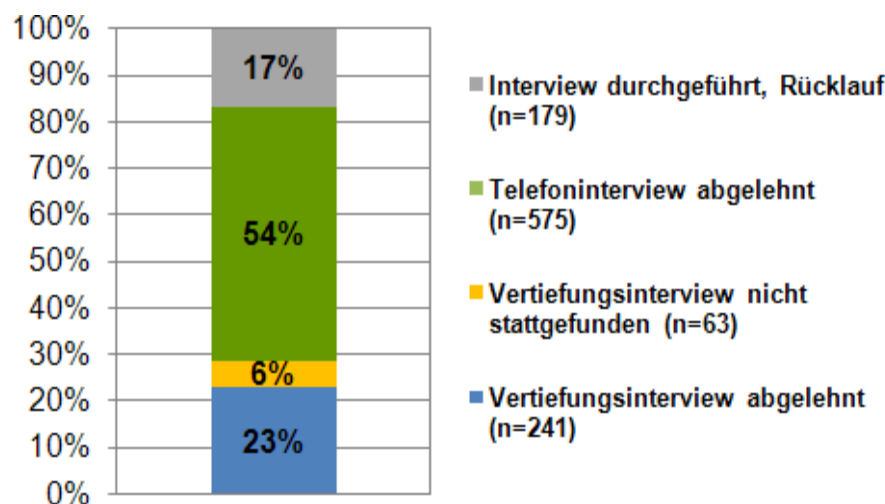


Abbildung 2.6.4: Kategorien der personenbezogenen Bruttostichprobe ohne qualitätsneutralem Ausfall und Rücklaufquote

Insgesamt nahmen 220 Personen aus 179 Haushalten an der Befragung teil. Für 273 Pkws wurden insgesamt 2.115 Kaufexperimente durchgeführt. Zu 183 erhobenen Fahrten liegen vollständig durchgeführte Verkehrsmittelwahlexperimente vor. Der Datensatz wurde gewichtet. Gewichtungseinheit sind Personen, Gewichtungsvariablen die höchste abgeschlossene Schulbildung (drei Klassen), das Alter (vier Klassen), das Geschlecht und der Bezirkstyp des Wohnortes (drei Klassen). Die Sollverteilung wurde dem Bundesverkehrswegeplan Österreich 1995 entnommen [1]. Die Veränderungen der soziodemographischen Sollverteilung seit 1995 wurden mit Daten von der Statistik Austria für das Bezugsjahr 2010 der Analyse berücksichtigt. Die Personengewichte variieren zwischen 0,4 und 2,5 [70].

2.6.1.5 Deskriptive Auswertung

Neben den Kaufexperimenten wurden in den Interviews Kenntnisse, Einstellungen und Meinungen zum Themenkomplex Elektromobilität ermittelt. Die Frage nach der prinzipiellen Kaufbereitschaft eines Elektroautos wurde zu Beginn und zum Ende des Interviews gestellt (Abbildung 2.6.5). Zu Beginn gaben 81 Prozent der Befragten an, sich einen Elektroautokauf prinzipiell vorstellen zu können. Zum Ende des Interviews lag dieser Anteil bei 85 Prozent. Die Beschäftigung mit dem Thema und die Aufklärung über technische Möglichkeiten und Entwicklungspfade erhöht offensichtlich die prinzipielle Kaufbereitschaft. Den Kauf eines

elektrobetriebenen Kleinwagens mit geringer Sitzplatzanzahl, in der Befragung wurde die Anzahl der Sitzplätzen mit weniger als vier vorgegeben, würden nur 31 Prozent der Befragten einen Kauf in Betracht ziehen. Von den Personen, die in Wien wohnen, würden 38 Prozent ein solches Auto kaufen. Das Elektroauto als kleines Stadtauto mit begrenzter Sitzplatzanzahl findet bei der primären Zielgruppe somit einen deutlich größeren Zuspruch. Es ist allerdings festzustellen, dass diese globale Abfrage der Kaufbereitschaft ein weitaus größeres Kaufpotential vorgibt, als es tatsächlich unter realistischen Bedingungen realisierbar ist. Deshalb bildet eine generelle Abfrage der Kaufbereitschaft auch nur ein „generelles Potential“ ab [62], das eine gewisse Kaufbereitschaft signalisiert, aber kaum Rückschlüsse auf ein tatsächlich realisierbares Kaufpotential (sogenanntes „Stichtagpotential“) unter konkreten Bedingungen ermöglicht. Das im Zuge des Projektes SEM entwickelte Kaufnachfragemodell bildet dieses Stichtagpotential für Elektroautos unter konkret definierten Bedingungen ab und ist deshalb auch weitaus kleiner als das generelle Potential.

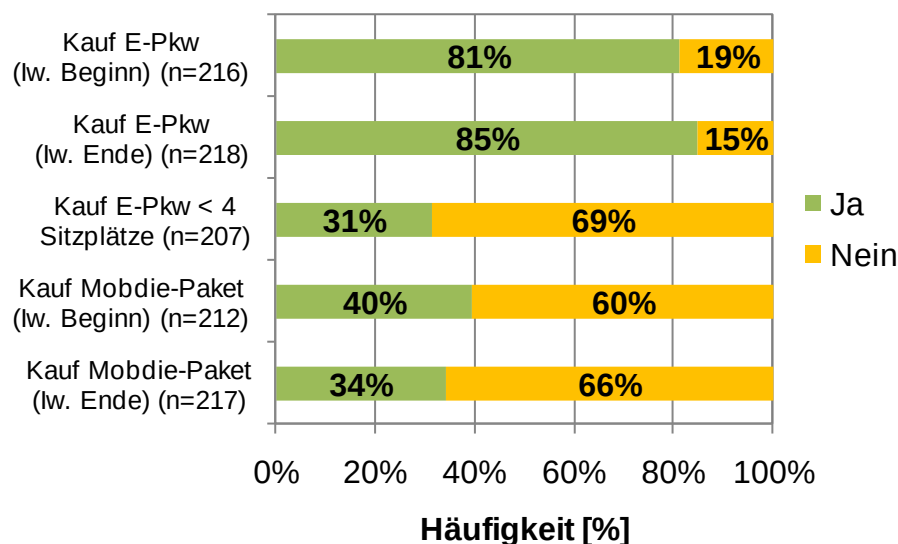


Abbildung 2.6.5: Kauf eines Elektroautos – Einstellungen und Meinungen zu verschiedenen Angeboten mit elektrischer Mobilität³⁵

Im Zuge der Debatte um die Einführung von Elektroautos werden neue Mobilitätskonzepte diskutiert. Eine Möglichkeit besteht im Kauf sogenannter Mobilitätsdienstleistungspakete als Tür-zu-Tür-Mobilitätsangebot: in diesem Fall werden „Mobilitätsdienstleistungspakete“ angeboten und über Mobilitätsgutscheine vertrieben, die zur Nutzung von Mobilitätsdienstleistungen einschließlich der Nutzung von Elektroautos berechtigen. Beispielsweise werden für eine Fahrt zunächst Bus und Bahn genutzt, am Bahnhof erfolgt der Umstieg auf ein Elektroauto, das am Zielort an eine Ladestation angeschlossen wird und dort von anderen Personen genutzt werden kann. Die Frage nach der prinzipiellen Kaufbereitschaft für derartige Mobilitätsdienstleistungspakete, die für Reisen mit einer Reichweite über der Reichweite von Elektro-

³⁵ Antworten zum Interviewbeginn (lw. Beginn) und zum Interviewende (lw. Ende), Mobdie-Paket steht für Mobilitätsdienstleistungspaket.

autos eine Lösung darstellen, wurde zu Beginn und am Ende des Interviews gestellt. 40 Prozent der Befragten konnten sich zu Beginn des Interviews den Kauf eines solchen Mobilitätsdienstleistungspakets vorstellen, nach dem Interview lag dieser Wert mit 25 Prozent um 15 Prozentpunkte niedriger.

Die Befragten wurden im Interview um eine Schätzung gebeten, über welche Reichweite marktgängige Elektroautos verfügen und welche Reichweite sie für den Kauf eines Elektroautos voraussetzen. Im Schnitt gehen die Befragten von einer Reichweite marktgängiger Elektroautos von 186 km aus, Kaufinteresse setzt eine Reichweite im Durchschnitt von 357 km voraus. Das zeigt einerseits einen geringen Informationsstand über die derzeit vorhandene technische Leistungsfähigkeit von Elektroautos und andererseits, dass die AutolenkerInnen sich bezüglich der erwünschten Reichweite an jener herkömmlicher Autos orientieren, allerdings durchaus zu Abstrichen bereit sind. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2.6.6 dargestellt. Für die Personen (n=46) auf oder unter der diagonalen Linie ist die geschätzte Reichweite zumindest so groß wie die von Ihnen erwartete Reichweite. Allerdings überschätzen viele dieser Personen die Reichweite aktueller Elektroautomodelle. Ebenfalls eingezeichnet ist die Linie für 150 km Reichweite, die annähernd dem Status Quo der Technik entspricht. 40 Personen (21 Prozent) gaben eine geringere benötigte Reichweite an. Folglich meinten sechs Personen, dass eine Reichweite von maximal 150 km kein Kaufhindernis mehr darstellt, gingen aber von geringeren Reichweiten im Status Quo aus. Diese Personen könnten als Zielgruppe für Marketingmaßnahmen besonders geeignet sein. Erhöht sich die Reichweite auf 200 km, genügt dies den Anforderungen von 34 Prozent der Befragten.

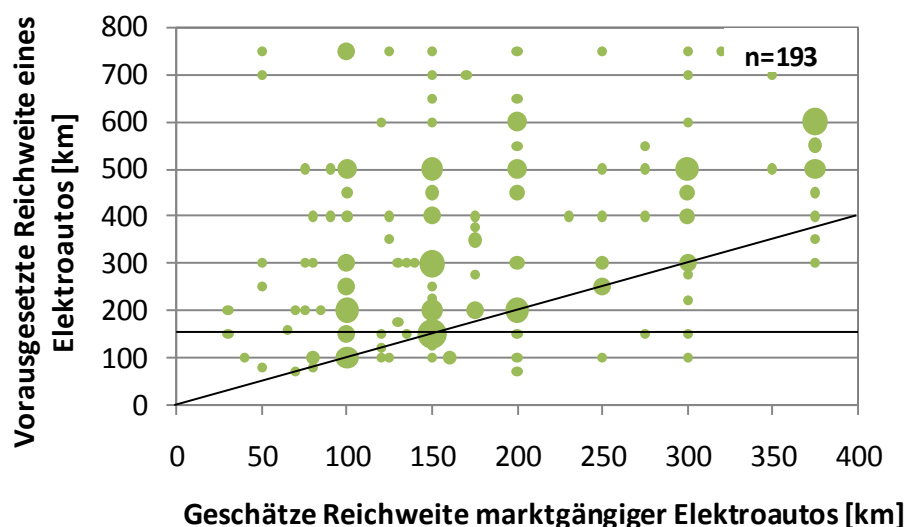


Abbildung 2.6.6: Geschätzte und erforderliche Reichweite von Elektroautos³⁶

Die deskriptive Auswertung der Kaufs- und der Verkehrsmittelwahlexperimente ist nur beschränkt aussagekräftig, da sie nur Meinungen ohne ausreichende Informationen über die Konsequenzen für den betroffenen Verkehrsteilnehmer abfragen und nicht die Ergebnisse

³⁶ der Kreisdurchmesser steht für die Anzahl der Beobachtungen

von den Ausprägungen der alternativenspezifischen Attribute abhängen. Sie geben aber einen Überblick über das generelle Potential. Zur einführenden Übersicht sind die Ergebnisse der Experimente in den Abbildung 2.6.7 dargestellt.

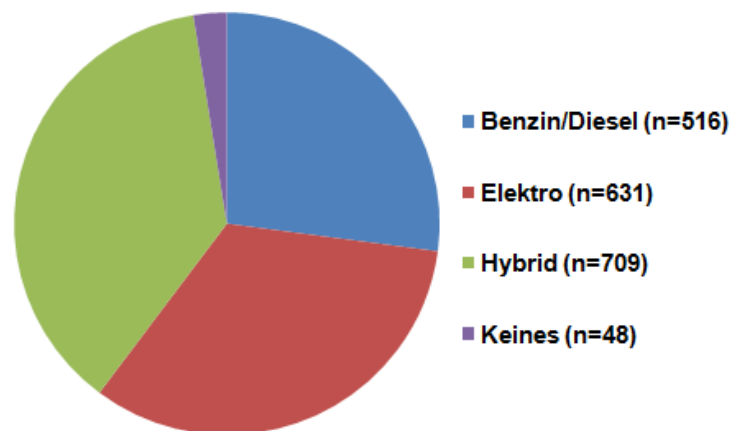


Abbildung 2.6.7: Ergebnis der durchgeführten Pkw-Kaufexperimente – Wahlwahrscheinlichkeit für den hypothetischen Kauf eines Autos nach Antriebsart³⁷

Die Kaufexperimente – ohne Berücksichtigung der Experimente, in denen nur Elektroautos zur Wahl standen – zeigen eine hohe Akzeptanz von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechniken (Abbildung 2.6.7). Präferiert werden Fahrzeuge mit Hybridantrieb. Elektroautos werden häufiger gewählt als Fahrzeuge mit herkömmlichem Antrieb. Dieses Ergebnis ist trotz der aktuellen Absatzzahlen am österreichischen Fahrzeugmarkt nachvollziehbar, da die alternativenspezifischen Attribute teilweise deutlich besser sind als der gegenwärtig am Markt verfügbare Stand der Technik.

Wenn die Jahres- und Lebensdauerkosten für Autos mit fossilem Treibstoffanstieg den Befragten bewusst gemacht werden, steigt die Kaufwahrscheinlichkeit von Elektroautos. Änderungen der Kaufentscheidungen können direkt auf die geänderten Bedingungen zurückgeführt werden. In Tabelle 2.6.1 und Tabelle 2.6.2 sind die Ergebnisse der durchgeführten Kaufexperimente in aggregierter Form dargestellt.

In der ersten Gruppe der Kaufexperimente zeigt sich eine gewisse Persistenz der Kaufentscheidungen. Durch die Bekanntgabe der Jahreskosten ändern sich die Entscheidungen nur in wenigen Fällen. Offensichtlich werden die Jahreskosten von den Befragten bereits im ersten Kaufexperiment berücksichtigt oder sie werden als vergleichsweise irrelevant erachtet. Die Lebensdauerkosten – die laufenden Kosten über den durchschnittlichen Besitzzeitraum des Autos ergänzt um den Kaufpreis – bewirken eine häufigere Wahl des Elektroautos. Insgesamt ist der Effekt der Kosteninformationen gering.

³⁷ Anmerkung: dieses Ergebnis entspricht nicht dem heutigen Kaufpotential des Jahres 2010, da in den Kaufexperimenten auch Eigenschaften der Elektroautos, z.B. der Reichweite, vorgegeben wurden, die erst in der ferneren Zukunft erreichbar erscheinen, um eine valide Abbildung der zukünftigen Kaufverhaltens im zu erstellenden Kaufnachfragemodell zu ermöglichen

Tabelle 2.6.1: Wirkung der Kosteninformationen in der ersten Gruppe der Kaufexperimente auf die Kaufwahrscheinlichkeit nach Antriebsart

	Wahlwahrscheinlichkeit nach Antriebsart				
	Benzin/Diesel	Elektro	Hybrid	Keine	N: Anzahl der durchgeführten Kaufexperimente
Referenzexperiment	33 %	28 %	37 %	2 %	268
Kaufexperiment 2: Jahreskosten	33 %	29 %	36 %	3 %	267
Kaufexperiment 3: Lebensdauerkosten	30 %	31 %	36 %	3 %	267

Tabelle 2.6.2: Wirkung der Änderungen der Rahmenbedingungen in der zweiten Gruppe auf die Kaufwahrscheinlichkeit nach Antriebsart

	Wahlwahrscheinlichkeit nach Antriebsart				
	Benzin/Diesel	Elektro	Hybrid	Keine	N: Anzahl der durchgeführten Kaufexperimente
Referenzexperiment	30 %	29 %	40 %	2 %	277
Kaufprämie	25 %	38 %	35 %	2 %	274
Änderung im Verkehrssystem	26 %	31 %	41 %	2 %	276
Treibstoffpreisanstieg	13 %	47 %	36 %	4 %	275

Das Referenzexperiment der zweiten Gruppe ist das vierte Kaufexperiment. 30 Prozent der gewählten Pkw haben einen konventionellen Antrieb, 29 Prozent einen Elektroantrieb (Tabelle 2.6.2). Jede der geänderten Rahmenbedingungen erhöht die Wahrscheinlichkeit, das Elektroauto zu wählen. Besonders stark wirkt sich ein Treibstoffpreisanstieg aus – mit zunehmendem Treibstoffpreis steigt die Wahrscheinlichkeit, ein Elektroauto zu kaufen, stark an (Abbildung 2.6.8). Die Änderung der Rahmenbedingungen des Verkehrssystems durch z.B. die Erlaubnis, Busfahrstreifen mit einem Elektroauto benutzen zu dürfen entfaltet nur wenig Wirkung.

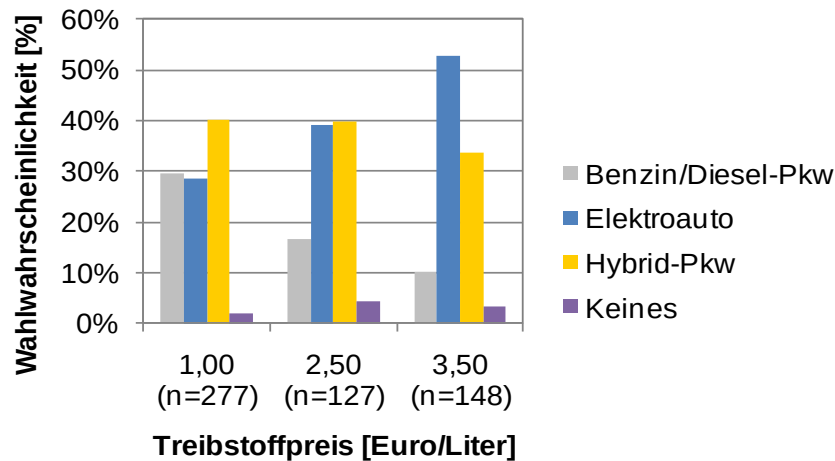


Abbildung 2.6.8: Pkw-Kaufwahrscheinlichkeit nach Antriebsart in Abhängigkeit von der Höhe des Treibstoffpreises

Für viele Fälle kann eine große Konstanz der Kaufentscheidung derart festgestellt werden, dass in aufeinanderfolgenden Kaufexperimenten für einen Pkw dieselbe Antriebsart des Neuwagens gewählt wird. Für 17 Pkw wird in jedem Kaufexperiment der ersten beiden Gruppen ein Pkw mit herkömmlichem Antrieb, für 40 Pkw einer mit Hybrid-Antrieb und für 32 Pkw einer mit Elektroantrieb gewählt. Für vier Pkw wird in jedem Kaufexperiment die Alternative „Keines“ gewählt, das bedeutet, dass keine der angebotenen Kaufalternativen in Frage kommt. Acht Haushalte entschieden sich in jedem Kaufexperiment der ersten beiden Gruppen für ein Fahrzeug mit herkömmlichem Antrieb, 18 Haushalte für ein Elektroauto, 13 Haushalte für einen Hybridwagen und zwei Haushalte für keine der angebotenen Alternativen. Dies kann als Hinweis auf die Anwendung von Heuristiken zur Überwindung der Komplexität der Antworten oder als ausgeprägte Präferenz einer Antriebsart interpretiert werden. Wenn in einem Kaufexperiment – mit Ausnahme des Kaufexperiments der dritten Gruppe, bei welcher nur Elektroautos zum Kauf standen – die Elektroauto auf ein Elektroauto fiel, wurde sofern mit dem entsprechenden Pkw durchgeführte Tagesfahrten die Reichweite eines Elektroautos von über 150 km überschreiten, ein Verkehrsmittelwahlexperiment durchgeführt. Insgesamt liegen 183 Interviews vor. Für 29 Prozent der Fahrten wird angegeben, die Fahrtunterbrechungen zum Nachladen der Batterien in Kauf zu nehmen und das Elektroauto zu nutzen. Annähernd jede zweite Fahrt würde mit einem herkömmlichen Pkw unternommen werden. Die anderen Antwortalternativen sind deutlich seltener.

Tabelle 2.6.3: Ergebnis der Verkehrsmittelwahlexperimente (n=183 Fahrten)

	Elektroauto	Herkömmlicher Pkw	Mietwagen	ÖV	Sonstiges
Gewähltes Verkehrsmittel	29,0 %	48,6 %	3,3 %	14,8 %	4,4 %
Änderung der Kaufentscheidung = ja	11,3 %	53,9 %	83,3 %	33,3 %	62,5 %

Im Anschluss an die Verkehrsmittelwahlexperimente, die den Befragten die Restriktionen bei der Nutzung eines Elektroautos nach derzeitigem Stand der Reichweite aufzeigen, konnten

die Befragten die Kaufentscheidung revidieren. 40 Prozent der Befragten entschieden sich für diese Option. Das sind überdurchschnittlich häufig diejenigen Personen, die aufgrund der Nutzungsrestriktionen für die langen Tagesfahrten den herkömmlichen Pkw, den Mietwagen oder sonstige Alternativen gewählt haben. Dieses Ergebnis zeigt, dass das derzeitige Informationsniveau über die technische Leistungsfähigkeit des Elektroautos nicht auf hohem Niveau liegt.

2.6.1.6 Statistisches Modellkonzept für eine diskrete Pkw-Kaufentscheidung

Zur Beschreibung des Pkw-Kaufverhaltens wurde eine diskrete Entscheidungsanalyse (Discrete-Choice Analysis) durchgeführt. Diese basiert auf der empirischen Erhebung des hypothetischen Entscheidungsverhaltens für den Autokauf. Der diskreten Wahlentscheidungsanalyse liegt die Annahme eines den subjektiven Nutzen maximierenden Verhaltens der Probanden zu Grunde. Das heißt, die befragten Personen entscheiden sich für jene Alternative, die ihnen den höchsten subjektiven Nutzen bietet. Der Nutzen einer Alternative setzt sich aus einer deterministischen und einer stochastischen Komponente zusammen (Formel 1).

Formel 1: Nutzenfunktion einer Alternative für das multinomiale Logit-Modell

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad \text{mit}$$

$$V_{in} = \beta_i + \sum_L \beta_{il} X_{inl} + \sum_M \beta_{mi} Y_{nm}$$

i	Alternative
j	Alle Alternativen
l	Alternativenspezifische Variable
m	Alternativenunspezifische Variable
n	Individuum
U_{ni}	Subjektiver Nutzen von i für n (=Nutzenfunktion, generalisierte Kostenfunktion)
V_{ni}	Deterministische Nutzenkomponente der Alternative i für Individuum n ε_{ni} Stochastische Nutzenkomponente (nicht erklärbare Heterogenität)
β_i	Konstante Nutzenkomponente der Alternative i
β_{il}	Koeffizient für den Beitrag der alternativenspezifischen Variable l zum Nutzen der Alternative i
X_{inl}	Ausprägung der alternativenspezifischen Variable l bei Alternative i und Individuum n
β_{mi}	Koeffizient für den Beitrag der alternativenunspezifischen Variable m zum Nutzen der Alternative i
Y_{nm}	Ausprägung der erklärenden, aber alternativenunspezifischen Variable m bei Individuum n
L	Anzahl der Attribute (erklärende alternativenspezifische Variable)
M	Anzahl der erklärenden alternativenunspezifischen Variable

Der deterministische Nutzenbestandteil umfasst die Wirkung der in das Modell aufgenommenen Variablen, der stochastische Nutzenbestandteil alle nicht beobachteten Nutzenbestandteile. In den deterministischen Nutzenbestandteil fließen alternativenspezifische Attribute und alternativenunspezifische Variable ein. Attribute unterscheiden sich für die untersuchten Alternativen, in den Kaufexperimenten ist dies beispielsweise die Reichweite oder der Kaufpreis. Alternativenunspezifische Variable, die nicht mit den Alternativen variieren, sind beispielsweise Alter oder Geschlecht der befragten Person. Der Nutzen der einzelnen Alternativen wird mit einem multinominalen Logit-Ansatz (MNL-Modell, Formel 2) zueinander in Bezug gesetzt. Damit wird die Wahlwahrscheinlichkeit der gegebenen Alternativen berechnet. Diese ist unter der Annahme möglich, dass der stochastische Nutzen gumbelverteilt verteilt ist, möglich.

Formel 2: Wahlwahrscheinlichkeit einer Alternative im MNL-Modell

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}}$$

P_{ni} Wahrscheinlichkeit, dass Individuum n Alternative i wählt

Die Güte eines Modells wird anhand seines Erklärungsgehalts bewertet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei vielen Güteindikatoren der Einbezug weiterer Variablen mathematisch zwangsläufig eine Erhöhung des Erklärungsgehalts bewirkt. Der Einbezug vieler erklärender Variablen hat aber auch aus verschiedenen Überlegungen Nachteile: Modelle mit sehr vielen Variablen sind schwieriger in ihrer Handhabung, mit zunehmender Anzahl der Variablen steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Multikollinearität. Bei Modellen mit einer großen Anzahl von Variablen steigt die Wahrscheinlichkeit, Variablen in das Modell aufzunehmen, die tatsächlich in keinem Wirkungszusammenhang mit der zu erklärenden Variable stehen oder aufgrund von Multikollinearität falsche Koeffizientenschätzer ergeben. Deshalb ist es notwendig, eine Balance für die Anzahl der einbezogenen Variablen zu finden.

Die Bewertung der Güte verschiedener Modelle gestaltet sich anders als bei der linearen Regression. Das bekannte Bestimmtheitsmaß R^2 ist bei der logistischen Regression nicht anwendbar. Die gebräuchlichen Güteindikatoren basieren auf der Maximum-Likelihood-Funktion. Die verwendeten Güteindikatoren enthalten einen Güteabschlag für die Anzahl der ins Modell einbezogenen Variablen. Üblich sind

- **Korrigiertes McFadden- R^2 :** Basiert auf dem Verhältnis der LogLikelihood-Funktion (LL_{Modell}) des berechneten Modells zu der des Nullmodells ($LL_{\text{Nullmodell}}$). Das Nullmodell ist das Modell, das als erklärende Variable nur die alternativenspezifischen Konstanten enthält. Dabei wirkt die Anzahl der Variablen P güterreduzierend. Eine weitere Variable wird nur berücksichtigt, wenn die Verbesserung der LogLikelihood-Funktion des Modells größer als eins ist. Beim korrigierten McFadden- R^2 gibt ein Wert von 0,2-0,4 eine gute Treffsicherheit an, wobei 1,0 einer vollständigen Erklärung der Varianz und 0 keiner Erklärung entspricht. Das korrigierte McFadden- R^2 berechnet sich wie folgt: $\text{Korrigiertes McFadden-}R^2 = 1 - (LL_{\text{Modell}} - P) / LL_{\text{Nullmodell}}$.

- **Bestimmtheitsmaß R^2_x :** Diese Bestimmtheitsmaß ist relative Reaktion des Fehlerterms des Nullmodells durch den des untersuchten Modells. Es ist wie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression interpretierbar. Es berechnet sich (Vermunt & Magidson, 2005):

$$R^2_x = (\text{Fehlerterm}_{\text{Nullmodell}} - \text{Fehlerterm}_{\text{Untersuchtes Modell}}) / \text{Fehlerterm}_{\text{Nullmodell}}$$
- **Bayessche Informationskriterium BIC:** Im BIC wird der LogLikelihood-Wert des Modells mit einem Strafterm kombiniert. Der Strafterm enthält neben der Anzahl der Variablen P auch die Anzahl der Stichprobenwerte N und „bestraft“ bei gegebener Stichprobengröße zusätzlich aufgenommene Variable. Je kleiner das BIC ist, desto geeigneter ist das Modell

$$\text{BIC} = \text{LL}_{\text{Modell}} + P * \ln(N)$$
- **Anteil der richtig vorhergesagten Entscheidungen:** Das berechnete Modell wird auf den Berechnungsdatensatz – oder besser einen Kontrolldatensatz – angewendet. Danach werden die mit dem Modell vorhergesagten Entscheidungen und die tatsächlichen Entscheidungen der Befragten als Verhältniswert der richtig vorhergesagten Entscheidungen ausgedrückt. Dieses Gütemaß schwankt zwischen null und 100 Prozent.

Für SEM wurden als Voraussetzungen für die Aufnahme einer Variablen in ein Modell ein signifikanter Einfluss der Variable auf dem Signifikanzniveau von einem Prozent gemessen am p-Wert, eine Verbesserung des BIC und eine plausible Wirkrichtung in Bezug auf das Vorzeichen angesetzt. Die Modellberechnung wurde mit dem Programm Latent Gold durchgeführt [72].

In der **Datenaufbereitung** wurden etwa 800 Variablen aufbereitet und umfangreiche Plausibilitätsprüfungen durchgeführt. Alle alternativenspezifischen Attribute wurden in nichtlineare Variable transformiert, um auch nichtlineare Wirkungen auf die Wahlentscheidung abbilden zu können. Durchgeführt wurden logarithmische, quadratische und Wurzeltransformationen sowie die relativen Abweichungen der Alternativenattribute zu denen des herkömmlichen Fahrzeugs berechnet. Die Datenaufbereitung wurde mit den Programmen MsExcel, MsAccess und SPSS durchgeführt. Um die Anzahl der zu untersuchenden Modelle zu verringern, wurden umfangreiche Korrelationsanalysen durchgeführt. Die Wahrscheinlichkeit eines signifikanten Einflusses einer alternativenspezifischen Variablen ist umso höher, je stärker sie mit der abhängigen Variablen korreliert. Für alternativenunspezifische Variable muss der untersuchte Datensatz in gewählte und nicht-gewählte Alternativen getrennt werden. Es gilt, dass signifikante Einflüsse umso wahrscheinlicher sind, je größer die Unterschiede der Korrelationen der alternativenunspezifischen Variablen mit den alternativenspezifischen Konstanten sind. Werden nicht signifikante Zusammenhänge ausgeschlossen, reduziert sich die Anzahl der zu überprüfenden Modelle deutlich. In der praktischen Umsetzung wurde ein in MsExcel programmiertes Korrelations-Tool verwendet, das vom Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur entwickelt wurde.

2.6.2 Untersuchte Modellvarianten des Pkw-Kaufs

Die in einem Modell zur Beschreibung des Pkw-Kaufs implementierbaren Variablen können in drei Gruppen unterteilt werden:

- (1.) alternativenspezifische Attribute der Pkw-Alternativen,
- (2.) soziodemographische, alternativenunspezifische Variablen und
- (3.) Einstellungen und Meinungen der Probanden.

Alle drei Gruppen von Variablen beeinflussen den Pkw-Kauf, abhängig von den Pkw-Eigenschaften und Präferenzen bezüglich der Antriebstechnologien. Beispielsweise ist anzunehmen, dass Personen mit hohen Jahresfahrleistungen (Variable der 2. Gruppe) häufiger einen Pkw mit herkömmlichen Antrieb wählen, während Personen, die sich als sensibel für Belange der Umwelt bezeichnen (Variable der 3. Gruppe) überproportional oft Elektroautos wählen werden.

Für die Anwendung des Modells zum Pkw-Kauf ist die Unterscheidung in die drei Gruppen relevant, da es die Übertragbarkeit der Ergebnisse determiniert. Das Modell mit alternativenspezifischen Attributen (1.) kann auf jeden repräsentativ ausgewählten Datensatz mit Pkw-Daten übertragen werden, der die entsprechenden Attribute enthält. Für die Übertragung der Variablen der zweiten Gruppe werden zusätzlich Angaben zu soziodemographischen Variablen der Person, des Haushalts, der Wohnsitzgemeinde, zur Pkw-Nutzung und zu verfügbaren Pkws verwendet. Diese Daten können zumindest teilweise aus Einwohnerdaten der öffentlichen Statistik abgeleitet werden. Die Anwendung eines Modells mit Variablen der dritten Gruppe erfordert Primärerhebungen, da die einzelnen Variablen, die als Antwort auf konkrete Fragestellungen gewonnen werden, in dieser Form nicht in der öffentlichen Statistik vorliegen. Im Folgenden wird für jede Gruppe der Variablen jenes Modell vorgestellt, welches den höchsten Erklärungsgehalt liefert.

Bei Modellrechnungen und Anwendungen, die sich auf andere Zeiträume als den Analysezeitraum beziehen ist zu überlegen, inwieweit sich die Ergebnisse der Analyse in Form der Regressionskoeffizienten, die eine Art der „Gewichtung“ der Einflussfaktoren bzw. Variablen für die Kaufentscheidung darstellen, nicht mit der Zeit verändern. Grundsätzlich ist das anzunehmen, aus pragmatischen Gründen und aufgrund eines Mangels an anderen Erkenntnissen wird in der Regel aber ein zeitstabiles Verhalten angenommen. Das ist auch im Projekt SEM der Fall.

2.6.2.1 Pkw-Kaufnachfragemodell mit alternativenspezifischen Attributen

Das Modell mit alternativenspezifischen Attributen ergibt ein korrigiertes Pseudo- R^2 von 0,1. Mit dem Modell kann mehr als jede zweite Entscheidung richtig vorhergesagt werden (Tabelle 2.6.4).

Die Koeffizienten der Nutzenfunktion sind in Tabelle 2.6.5 aufgelistet. Alle in den Kaufexperimenten verwendeten Variablen haben einen höchstsignifikanten Einfluss auf die Wahlentscheidung auf dem Signifikanzniveau von einem Prozent (p-Wert). Allerdings beeinflussen nicht alle Attribute den alternativenspezifischen Nutzen jeder Alternative. Die Variablen fließen in unterschiedlichen funktionalen Transformationen ein (Transf.), um nichtlineare Bezie-

hungen abzubilden. Bei logarithmischen und Wurzeltransformationen ($x'=\ln(x)$ bzw. $x'=\sqrt{x}$) liegt ein abnehmender Grenznutzen bzw. degressive Grenzkosten der Variablen vor, bei einer quadratischen Transformation ($x'=x^2$) steigender Grenznutzen bzw. progressive Kosten.

Tabelle 2.6.4: Güteindikatoren des Kaufnachfragemodells mit alternativenspezifischen Attributen

Güteindikator	
Korr. Pseudo- R^2	0,10
R^2_x	0,13
Anteil richtig vorhergesagter Entscheidungen	53 %
BIC	3717,45

Tabelle 2.6.5: Ergebnis der diskreten Entscheidungsanalyse des Kaufnachfragemodells mit alternativenspezifischen Attributen

			Koeffizient der Variablen für Alternative (Antriebsart)...			
Variable	Transf.	Einheit	Benzin/ Diesel	Elektro	Hybrid	p-Wert
Konstante	-	-	3,720	-4,882	1,162	< 0,01
Reichweite RW	$\ln(RW)$	km	0	0,726	0	< 0,01
Ladedauer LD	LD^2	h/100 km	0	- 0,038	0	< 0,01
Laufende Kosten/100 km LK	$\ln(LK)$	€/100 km	- 2,691	0	0	< 0,01
Laufende Kosten/100 km LK	$\ln(LK)$	€/100 km	0	- 1,053	0	< 0,01
Laufende Kosten/100 km LK	$\ln(LK)$	€/100 km	0	0	- 1,801	< 0,01
Jährliche laufende Kosten JLK	-	€/Jahr	- 0,0002	- 0,0002	- 0,0002	< 0,01
Lebensdauerkosten LDK	$\sqrt{LDK}$	€	- 0,021	- 0,021	- 0,021	< 0,01
Umweltbelastung UB	UB^2	g·CO ₂ /100 km	0	- 0,00002	0	< 0,01
Kaufpreis KP	$\sqrt{KP}$	€	- 0,028	0	- 0,028	< 0,01
Kaufpreis KP	$\sqrt{KP}$	€	0	- 0,018	0	< 0,01
Motorleistung LS	$\sqrt{LS}$	PS	0,333	0	0,333	< 0,01
Motorleistung LS	$\sqrt{LS}$	PS	0	0,211	0	< 0,01

Die Nutzenfunktion für den Kauf des Elektroautos ergibt sich damit folgendermaßen:

$$U_{EPkw} = -4,882 + 0,726 * \ln(RW) - 0,038 * LD^2 - 1,053 * \ln(LK) - 0,0002 * JLK - 0,021 * \sqrt{LDK} - 0,00002 * UB^2 - 0,018 * \sqrt{KP} + 0,211 * \sqrt{LS}$$

Die alternativenspezifischen Konstanten der Funktion beschreiben einen inhärenten Nutzen- zu- oder Abschlag auf die Alternative unter Berücksichtigung der Wirkung der anderen Attribute. Damit stehen sie für Eigenschaften der Alternative, die nicht durch die in der Nutzenfunktion aufgelisteten Attribute erklärt werden, aber aus der Sicht der NutzerInnen vorhanden sind. Wird die Wirkung aller anderen Attribute nicht berücksichtigt, erhält das Elektroauto einen Nutzenabschlag von 4,882, der Pkw mit herkömmlichem Antrieb und das Hybridauto werden häufiger gewählt.

Die **Reichweite** [km] beeinflusst den Nutzen des Benzin/Diesel- und des Hybridautos nicht. Die Befragten antizipieren eine Reichweite dieser Fahrzeuge in einem Größenbereich oberhalb der eigenen Anforderungen, so dass die Reichweite für diese Fahrzeuge nicht als kaufrelevant erachtet wird. Für Elektroautos ist dies anders, den Befragten ist die Problematik der begrenzten Reichweiten der Elektroautos mehr oder weniger bewusst. Der Nutzen des Elektroautos und damit seine Kaufwahrscheinlichkeit steigen mit zunehmender Reichweite. Die Reichweite geht logarithmiert in die Nutzenfunktion ein, es liegt ein abnehmender Grenznutzen vor, das heißt, steigende Reichweiten erhöhen den Nutzen nicht proportional.

Die **Ladedauer** [h/100km] wirkt ebenfalls nur auf den Nutzen des Elektroautos. Der Nutzenkoeffizient ist negativ, mit zunehmender Ladedauer sinkt der Nutzen des Elektroautos. Der Nutzen sinkt mit der zweiten Potenz der Ladedauer, das heißt, hohe Ladedauern werden als überproportional nutzenmindernd aufgefasst.

Für die Eigenschaft „**laufende Kosten**“ [€/100km] enthält das Modell für jede Alternative einen spezifischen Koeffizienten. Laufende Kosten gleicher Höhe wirken bei Pkw mit herkömmlichem Antrieb am stärksten nutzensenkend, bei Elektroautos am wenigsten. Dies hängt nicht mit den niedrigeren Verbrauchskosten des Elektroautos zusammen, sondern verstärkt ihre Wirkung zusätzlich: Im Status Quo sind die laufenden Kosten des herkömmlichen Pkws am höchsten, gleichzeitig ist der Koeffizient in absoluten Zahlen am größten. Dadurch sinkt der Nutzen des herkömmlichen Pkws stärker als der der anderen Pkws. Im Gegensatz dazu werden die **jährlichen laufenden Kosten** [€/100km] und die **Lebensdauerkosten** [€/100km] (=Kaufpreis + 7*Jährliche laufende Kosten) nicht alternativenspezifisch unterschiedlich eingeschätzt.

In den vergleichsweise hohen alternativenspezifischen Koeffizienten für das Hybridauto und den herkömmlichen Pkw kommt ein weiterer Effekt zum Ausdruck: Wie die laufenden Kosten ist die **Umweltbelastung** [g·CO₂/100 km] für beide Fahrzeuge im Wesentlichen eine Funktion des Treibstoffverbrauchs. Folglich liegt Multikollinearität vor, daher sollten nicht beide Effekte im Modell berücksichtigt werden. Aufgrund der Stärke des Einflusses (abgebildet über den p-Wert) werden im vorliegenden Modell die laufenden Kosten berücksichtigt. Der direkte Zusammenhang zwischen laufenden Kosten und Umweltbelastung ist für Elektroautos schwächer ausgeprägt; es wird eine eigene Variable mit Koeffizient für Elektroautos geschätzt. Die Umweltbelastung ist wie die Ladedauer mit negativem Vorzeichen und quadriert in der Nutzenfunktion enthalten. Wird ein Elektroauto mit elektrischer Energie betrieben, bei

dessen Produktion viel CO₂ freigesetzt wird, wie z.B. bei Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen, sinkt die Kaufbereitschaft. Offensichtlich liegt ein Trade-Off vor: Die potentiellen Käufer sind bereit, die spezifischen Nachteile eines Elektroautos in Kauf zu nehmen, sofern das Fahrzeug bezüglich seiner CO₂-Emissionen sparsam ist.

Für den **Kaufpreis** [€] und die **Motorleistung** [PS] werden jeweils spezifische Koeffizienten für das Elektroauto geschätzt und gemeinsame Koeffizienten für die beiden anderen Fahrzeugarten.³⁸ Die Koeffizienten des Kaufpreises und der Motorleistung von Elektroautos sind kleiner als die der beiden anderen Fahrzeuge. Bei gleichem Kaufpreis der drei Fahrzeuge würde das Elektroauto – ohne Berücksichtigung der anderen Variablen – häufiger gekauft werden. Anders formuliert stiftet ein Elektroauto, wenn alle anderen Faktoren nicht berücksichtigt werden, auch bei einem mehr als doppelt so hohen Preis für den Käufer denselben Nutzen wie ein anderes Fahrzeug.

2.6.2.2 Pkw-Kaufnachfragemodell mit Erweiterung um soziodemographische Variablen

Das bisher untersuchte Modell wird um soziodemographische Variable erweitert, um die Erklärungsqualität zu erhöhen. Dazu zählen alle beobachteten Eigenschaften der befragten Personen wie Geschlecht, Alter etc., des Haushaltes, wie Wohnort, Haushaltsgröße, Einkommen etc. und Eigenschaften des Bestands-Pkw des Haushalts (Verbrauch, Jahresfahrleistung, Marke...). In diese Gruppe fallen ebenfalls alle Methodeneffekte des Interviews, die bestmöglich zu identifizieren und letztendlich auszuschalten sind. Die Güteindikatoren dieses Modells zeigen einen deutlichen Zuwachs des Erklärungsgehaltes und damit der Modellgüte (Tabelle 2.6.6). Die Anzahl der richtig vorhergesagten Entscheidungen steigt, der BIC sinkt.

Tabelle 2.6.6: Güteindikatoren des Kaufnachfragemodells mit alternativenunspezifischen Variablen

Güteindikator	
Korrigiertes Pseudo-R ²	0,22
R ² _x	0,26
Anteil richtig vorhergesagter Entscheidungen	60 %
BIC	3394,91

Bezüglich der alternativenspezifischen Attribute gibt es Änderungen in der Höhe der Koeffizienten. Zudem werden für die Motorleistung und den Kaufpreis alternativenunspezifische Koeffizienten geschätzt (Tabelle 2.6.7). Mit Ausnahme der Umweltbelastung des Elektroautos, die linear und nicht mehr quadratisch eingeht, sowie der Lebensdauerkosten enthält das Modell dieselben Koeffizienten in denselben Transformationen.

³⁸ Die Zusammenfassung der alternativenspezifischen Attribute für die zwei Variablen erhöht die Zahl der Freiheitsgrade des Modells jeweils um eins, in der Folge sinkt der BIC-Schätzer wenn der Erklärungswert der zusammengefassten Variablen etwa gleich der Einzelvariablen ist.

Die alternativenunspezifische Variablen und ihre Koeffizienten sind in Tabelle 2.6.8 dargestellt. Die Variablen wurden nicht transformiert. Bei den meisten Variablen handelt es sich um Dummy-Variable, die die Ausprägungen „1“ (ja, trifft zu) bzw. „0“ annehmen können (Spalte D, Tabelle 2.6.8). Zusätzlich ist angegeben, ob es sich um Variable handelt, die Verzerrungen des Erhebungsverfahrens repräsentieren und zur Korrektur dieser Erhebungsfehler (Spalte B, Tabelle 2.6.8) verwendet werden.

Tabelle 2.6.7: Ergebnis der diskreten Entscheidungsanalyse des Kaufnachfragemodells mit alternativenunspezifischen Variablen (alternativenspezifische Attribute)

Alternativenspezifische Attribute			Koeffizient der Variablen für Alternative (Antriebsart)...			
Variable	Transf.	Einheit	Benzin/ Diesel	Elektro	Hybrid	p-Wert
Konstante	-	-	4,203	- 4,531	0,327	< 0,01
Reichweite RW	Ln(RW)	km	0	0,743	0	< 0,01
Ladedauer LD	LD ²	h/100 km	0	- 0,024	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	- 2,397	0	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	0	- 1,019	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	0	0	- 3,018	< 0,01
Jährliche laufende Kosten JLK	-	€/Jahr	- 0,0002	- 0,0002	- 0,0002	< 0,01
Lebensdauerkosten LDK	Ln(LDK)	€	- 2,309	- 2, 309	- 2, 309	< 0,01
Umweltbelastung UB	UB	g·CO ₂ / 100 km	0	- 0,004	0	< 0,01
Kaufpreis KP	$\sqrt{KP}$	€	- 0,022	- 0,022	- 0,022	< 0,01
Motorleistung LS	$\sqrt{LS}$	PS	0,274	0,274	0,274	< 0,01

Unter Außerachtlassung der in der verwendeten Nutzenfunktion korrigierten Methodeneffekte ergibt sich als Nutzenfunktion:

$$\begin{aligned}
 U_{EPkw} = & - 4,531 + 0,743 * \ln(RW) - 0,024 * LD^2 - 1,019 * \ln(LK) - 0,0002 * JLK - 2,309 * \\
 & \ln(LDK) - 0,004 * UB - 0,022 * \sqrt{KP} + 0,274 * \sqrt{LS} - 0,816 * PkwEW - 0,647 * PkKaKw - 0 \\
 & 011 * PkwKJ + 0,251 * PeBeTz - 0,013 * PeAge + 1,173 * PeCsh - 0,194 * HhEnk + 0,894 * \\
 & HhCarp
 \end{aligned}$$

Das Interviewdesign sah eine Reihe von Maßnahmen vor, um die Beeinflussungen der Interviewergebnisse durch die Interviewsituation und den Interviewablauf zu verhindern. Beispielsweise ist es möglich, dass die Befragten einzelne Fahrzeuge oder Attribute aufgrund

der Reihenfolge auf den Formularen stärker berücksichtigen. Grund für diese Positionseffekte dürften Heuristiken der befragten Personen sein: Die Fülle der Informationen der Interviewsituation verbunden mit der emotionalen Ausnahmesituation des Interviews bewirkt, dass Befragte verschiedene Techniken anwenden, um die Fülle der Informationen zu verringern und sich somit auf wenige Informationen konzentrieren. Die zufällige Reihung der Pkw und der Attribute führt dazu, dass dieser Effekte nicht für eine Alternative oder ein Attribut immer, für die anderen aber nie auftritt. Zudem ermöglicht die zufällige Reihung die mathematische Kontrolle und letztendlich Ausschaltung dieser Effekte.

Tabelle 2.6.8: Ergebnis der diskreten Entscheidungsanalyse des Kaufnachfragemodells mit alternativenunspecifischen Variablen (alternativenunspecifische Variable)

Alternativenunspecifische Variablen			Koeffizient der Variablen für Alternative (Antriebsart)...			p-Wert
Variable	D	B	Benzin/ Diesel	Elektro	Hybrid	
Positionseffekt Laufende Kosten = Position 1	D	B	- 0,356	- 0,172	0,528	< 0,01
Positionseffekt Reichweite = Position 1	D	B	- 0,548	0,370	0,178	< 0,01
Positionseffekt Benzin/Diesel-Pkw = Position 3	D	B	- 0,517	- 0,212	0,729	< 0,01
Wochentag des Telefoninterviews = Freitag	D	B	- 0,087	- 0,947	1,034	< 0,01
InterviewerIn = Nr.x	D	B	- 0,476	0,524	- 0,048	< 0,01
Pkw = Erstwagen PkwEW	D		0,199	- 0,816	0,618	< 0,01
Pkw = Kleinwagen PkKaKw	D		- 0,061	- 0,647	0,708	< 0,01
Pkw = Gekauft vor ... Jahren PkwKJ			- 0,042	- 0,011	0,052	< 0,01
Grad der Berufstätigkeit = Teilzeit PeBeTz	D		0,418	0,251	- 0,669	< 0,01
Alter der Zielperson PeAge			0,007	- 0,013	0,007	< 0,01
Nutzung von Carsharing PeCsh	D		- 0,531	1,173	- 0,642	< 0,01
Haushaltseinkommen HhEnk			- 0,005	- 0,194	0,200	< 0,01
Stellplatzart = Garage/Carport HhCarp	D		- 0,338	0,894	- 0,556	< 0,01

Insgesamt wurden drei höchstsignifikante **Positionseffekte** dieser Art ermittelt: Jeweils für die Reichweite und die laufenden Kosten, wenn diese an oberster Stelle des Formulars aufgeführt sind, sowie für den Benzin/Diesel-Pkw, wenn er die dritte (rechte) Alternative ist. Der Benzin/Diesel-Pkw wird, wenn er an der rechten Spalte positioniert ist, deutlich seltener gewählt als bei einer anderen Positionierung. Bei den Attributen gilt, dass das Fahrzeug, das in der jeweiligen Kategorie spezifische Vorteile hat – der Benzin/Diesel-Pkw bei der Reichweite und das Elektroauto bei den laufenden Kosten – einen Nutzenabschlag bekommt, wenn das Attribut an oberster Stelle aller Attribute steht. Offensichtlich werden die in der ersten Zeile aufgelisteten Attribute bei der Entscheidung weniger berücksichtigt als weiter unten aufgeführte.

Höchstsignifikante Methodeneffekte liegen auch vor, wenn das Telefoninterview an einem Freitag stattfand (Bevorzugung von Hybridautos) und wenn ein konkreter Interviewer (Interviewer Nr. x) das Interview durchführte (Bevorzugung von Elektroautos). Diese fünf Metho-

deneffekte (Spalte B, Tabelle 2.6.8) sind inhaltlich mit der Kaufentscheidung der Probanden nicht plausibel in Einklang zu bringen. Ihre Berücksichtigung in der Modellberechnung bewirkt, dass diese Effekte die Schätzung der Koeffizienten der anderen Variablen nicht beeinflussen. Für die Vorhersage der Wahlentscheidung sind sie ohne Belang und entfallen in den Nutzenfunktionen. Sie werden daher nur zur Korrektur der anderen Schätzer verwendet und nicht zur Vorhersage.

Die anderen Variablen sind in einen plausiblen Zusammenhang zur Wahlentscheidung der Befragten und bleiben im Modell enthalten. Das Kaufnachfragemodell enthält daher

- **personenspezifische Variablen:** Beispielsweise sinkt mit zunehmendem Alter die Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos. Personen, die Carsharing nutzen – was als Indikator für die Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Mobilitätskonzepten interpretiert werden kann – bevorzugen Elektroautos.
- **Eine Haushaltsvariable:** Mit steigendem Haushaltseinkommen wird zunehmend das Hybridauto gewählt.
- **Variable betreffend den Pkw,** zu dem das Kaufexperiment durchgeführt wurde: Gibt es für den Pkw einen privaten Garagen- oder Carport-Stellplatz, bekommt das Elektroauto einen Nutzenzuschlag. Hier dürfte ein Zusammenhang mit der Möglichkeit zur Errichtung der Ladeinfrastruktur bestehen. Ist der betrachtete Pkw der Erstwagen des Haushaltes, definiert als der Pkw mit der höchsten Fahrleistung, werden Hybridautos bevorzugt.

Für verschiedene Variablen ist kein signifikanter Einfluss auf die Wahlentscheidung oder keine ausreichende Verbesserung des BIC nachweisbar. Dies gilt beispielsweise für den höchsten Bildungsabschluss oder das Geschlecht der Zielperson, verschiedene Merkmale des Bestands-Pkws (Baujahr, Treibstoffverbrauch, Jahresfahrleistung) oder Variablen zum Haushalt (Bezirkstyp des Wohnortes, Haushaltsgröße).

2.6.2.3 Pkw-Kaufnachfragemodell mit Erweiterung um alle verfügbaren Variablen

Die Berücksichtigung aller verfügbaren Variablen erhöht den Erklärungsgehalt des Modells deutlich. Zu diesen Variablen gehören Kenntnisse um Elektromobilität, diesbezügliche Einstellungen und Meinungen und die Begründungen in den Kaufexperimenten. Das korrigierte Pseudo- R^2 steigt für dieses Modell von 0,22 auf 0,36, der Anteil der richtig vorhergesagten Entscheidungen um über zehn Prozentpunkte (Tabelle 2.6.9).

Tabelle 2.6.9: Güteindikatoren des Kaufnachfragemodells mit alternativenspezifischen Attributen, soziodemographischen Variablen und Variablen zu Einstellungen/ Meinungen

Güteindikator	
Korrigiertes Pseudo- R^2	0,36
R^2_x	0,42
Anteil richtig vorhergesagter Entscheidungen	71 %
BIC	2934,68

Es ergeben sich Änderungen in der Höhe der Koeffizienten der Attribute (Tabelle 2.6.10). Mit Ausnahme der Lebensdauerkosten des Pkws werden die Variablen in der gleichen Art der Transformation berücksichtigt.

Dieses Kaufnachfragemodell, das um Variablen zu Einstellungen und Meinungen ergänzt ist, enthält deutlich mehr alternativenunspezifische Variablen als die vorhergehenden Modelle (Tabelle 2.6.11). Neben den Variablen, die in dieser Modellstufe verfügbar sind, enthält das Modell zusätzlich die Variablen „Geschlecht der Zielperson“ und „Kinder im Haushalt vorhanden=ja“. Der Positionseffekt für die laufenden Kosten und die Variable zur Nutzung von Carsharing entfallen.

Tabelle 2.6.10: Ergebnis der diskreten Entscheidungsanalyse des Kaufnachfragemodells mit allen verfügbaren Variablen (alternativenspezifische Attribute)

Alternativenspezifische Attribute			Koeffizient der Variablen für Alternative (Antriebsart)...			p-Wert
			Benzin/ Diesel	Elektro	Hybrid	
Variable	Transf.	Einheit				
Konstante	-	-	4,579	- 4,222	- 0,357	< 0,01
Reichweite RW	Ln(RW)	km	0	0,790	0	< 0,01
Ladedauer LD	LD ²	h/100 km	0	- 0,031	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	-3,447	0	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	0	- 1,383	0	< 0,01
Laufende Kosten/ 100 km LK	Ln(LK)	€/100 km	0	0	- 2,696	< 0,01
Jährliche laufende Kosten JLK	-	€/Jahr	- 0,0002	- 0,0002	- 0,0002	< 0,01
Lebensdauerkosten LDK	$\sqrt{LDK}$	€	- 0,025	- 0,025	- 0,025	< 0,01
Umweltbelastung UB	UB	g·CO ₂ / 100 km	0	- 0,005	0	< 0,01
Kaufpreis KP	$\sqrt{KP}$	€	- 0,035	- 0,035	- 0,035	< 0,01
Motorleistung LS	$\sqrt{LS}$	PS	0,399	0,399	0,399	< 0,01

Tabelle 2.6.11: Ergebnis der diskreten Entscheidungsanalyse des Kaufnachfragemodells mit allen verfügbaren Variablen (alternativenunspezifische Variable)

Alternativenunspezifische Variablen			Koeffizient der Variablen für Alternative (Antriebsart)...			p-Wert
Variable	D	B	Benzin/ Diesel	Elektro	Hybrid	
Wochentag des Telefoninterviews = Freitag	D	B	0,253	- 1,049	0,795	< 0,01
Positionseffekt Reichweite = Position 1	D	B	- 0,554	0,469	0,085	< 0,01
Positionseffekt Benzin/Diesel-Pkw = Position 3	D	B	- 0,374	- 0,376	0,750	< 0,01
Wochentag des Telefoninterviews = Freitag	D	B	0,254	- 1,049	0,795	< 0,01
InterviewerIn = Nr.x	D	B	- 0,541	0,523	0,017	< 0,01
Pkw = Erstwagen PkwEW	D		0,156	-1,045	0,889	< 0,01
Pkw = Kleinwagen PkKaKw	D		- 0,374	- 0,187	0,561	< 0,01
Pkw = Gekauft vor ... Jahren PkwKJ			- 0,038	- 0,040	0,078	< 0,01
Pkw = Für lange Zeit kein Ersatz geplant PkwNie	D		0,197	- 0,611	0,414	< 0,01
Grad der Berufstätigkeit = Teilzeit PeBeTz	D		0,890	- 0,417	- 0,473	< 0,01
Geschlecht der Zielperson = männlich PeSex	D		0,560	- 0,691	0,131	< 0,01
Alter der Zielperson PeAge			0,015	- 0,023	0,008	< 0,01
Kinder im Haushalt vorhanden = ja KindDy	D		0,501	- 0,151	- 0,349	< 0,01
Haushaltseinkommen HhEnk			0,106	- 0,316	0,210	< 0,01
Stellplatzart = Garage/Carport HhCarp	D		- 0,424	0,927	- 0,503	< 0,01
Anzahl von mit Elektroautos durchgeführten Fahrten AnzFa			- 0,300	- 0,172	0,472	< 0,01
Bereitschaft, Fahrtpausen an die Erfordernisse des Elektroautos anzupassen = ja BPaA	D		- 0,292	0,677	- 0,386	< 0,01
Prinzipielle Kaufbereitschaft eines Elektroautos PKbE	D		- 1,105	1,283	- 0,178	< 0,01
Zumutbare Ladedauer, bis zu der der Kauf eines Elektroautos interessant ist ErfLa	D		- 0,111	0,075	0,036	< 0,01
Wurde für diesen Pkw bereits eine Verkehrsmittelwahl experiment durchgeführt = ja Vmsd	D		- 0,174	0,911	- 0,737	< 0,01
Wurde in einer für diesen Pkw durchgeführten Verkehrsmittelwahl experiment der Pkw-Kauf geändert = ja VmsKg	D		- 0,706	- 0,188	0,894	< 0,01
Begründung der Wahl in der Kaufexperiment = Zeitaufwand BegZa	D		0,203	- 0,727	0,524	< 0,01
Begründung der Wahl in der Kaufexperiment = Umweltschutz BegUs	D		- 1,195	1,254	- 0,060	< 0,01
Begründung der Wahl in der Kaufexperiment = Laufende Kosten BegLK	D		- 1,249	0,885	0,364	< 0,01

Werden die zu korrigierenden Methodeneffekte außer Acht gelassen, so erhält man als Nutzenfunktion für den Kauf eines Elektroautos:

$$U_{EPkw} = -4,222 + 0,790 * \ln(RW) - 0,031 * LD^2 - 1,383 * \ln(LK) - 0,0002 * JLK - 0,025 * \sqrt{LDK} - 0,005 * UB - 0,035 * \sqrt{KP} + 0,399 * \sqrt{LS} - 1,045 * PkwEW - 0,187 * PkKaKw - 0,040 * PkwKJ - 0,611 * PkwNie - 0,417 * PeBeTz - 0,691 * PeSex - 0,023 * PeAge - 0,151 * KindDy - 0,316 * HhEnk + 0,927 * HhCarp + 0,677 * BPaA - 0,172 * AnzFa + 1,283 * PKbE + 0,075 * ErfLa + 0,911 * Vmsd - 0,188 * VmsKg - 0,727 * BegZa + 1,254 * BegUs + 0,885 * BegLK$$

Das Modell enthält verschiedene Arten von Variablen:

- **Methodeneffekte:** Die Methodeneffekte für die Reichweite und die Positionierung des Benzin/Diesel-Pkws sowie für den Interviewer bleiben enthalten. Ebenfalls im Modell berücksichtigt ist die Dummy-Variable, die angibt, ob das Telefoninterview an einem Freitag durchgeführt wurde. Obwohl der Einfluss des Positionseffekts zu den laufenden Kosten weiterhin auf dem Signifikanzniveau von fünf Prozent signifikant ist, wird die Variable nicht berücksichtigt, da sie das BIC nicht verbessert.
- **Variablen, die den Pkw betreffen,** zu dem das Kaufexperiment durchgeführt wurde: Zusätzlich zu den Variablen „Erstwagen“, „Kleinwagen“ und „Kauf des Pkw vor ... Jahren“ wird eine Variable zur voraussichtlichen Besitzdauer des derzeitigen Pkws aufgenommen. Diese Dummy-Variable zeigt an, wann die Befragten die Absichten haben, ihren Pkw zu ersetzen. Es handelt sich um Personen, die aus verschiedenen Gründen – beispielsweise einer konservativen Grundhaltung in technischen Angelegenheiten oder finanziellen Restriktionen – ihren derzeitigen Pkw auf absehbare Zeit behalten wollen. Diese Personen wählen seltener das Elektroauto. Da die Variable eine Einstellung beschreibt, wurde sie erst in dieser Modellstufe berücksichtigt.
- **Personenvariablen:** Hinzugefügt wird die Variable „Geschlecht der Zielperson“. Männer bevorzugen Benzin/Dieselmotorenbetriebene Fahrzeuge und Hybridautos.
- **Haushaltsvariablen:** Das Vorzeichen des Koeffizienten des Haushaltseinkommens für den Kauf von Benzin/Diesel-Pkws ändert sich, der Effekt ist aber nur gering ausgeprägt. Hinzu kommt eine Dummy-Variable, die angibt, ob im Haushalt Kinder leben. Ist dies der Fall, werden Fahrzeuge mit herkömmlichem Antrieb bevorzugt. Es dürfte ein Zusammenhang mit hohen Ansprüchen an die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Fahrzeuges, eventuell auch bezüglich der wirtschaftlichen Verhältnisse des Haushalts bestehen.
- **Kenntnisse, Einstellungen und Einschätzungen:** Zu dieser Variablengruppe gehört die Bereitschaft, Fahrtunterbrechungen an die Erfordernisse des Elektroautos anzupassen. Personen, die dazu bereit sind, wählen wahrscheinlicher ein Elektroauto. Dies gilt auch für Personen, die die einführende Frage, ob sie prinzipiell den Kauf eines Elektroautos in Erwägung ziehen, bejahen (Variable „PKbE“). Eher zur Gruppe der Einschätzungen gehört die Frage nach der maximalen zumutbaren Ladedauer, bis zu der der Kauf eines Elektroautos in Betracht gezogen wird. Je höher diese zumutbare Ladedauer ist – umso geringer sind die Ansprüche der Befragten – desto eher wird ein Elektroauto gewählt. Eine weitere Variable berücksichtigt die Anzahl der Fahrten, die von der befragten Person bereits mit

Elektroautos durchgeführt wurden. Entgegen der Annahme ergibt sich kein positiver Koeffizient für die Alternative Elektroauto. Die Personen, die bereits mit einem Elektroauto gefahren sind, bevorzugen stattdessen Hybridautos. Inwieweit dies direkt mit negativen Erfahrungen bei der Nutzung oder eher mit einer ausgeprägten Pkw- und Technikaffinität und damit verbundenen Kenntnissen um existierende technische Restriktionen zusammenhängt, kann nur vermutet werden.

- **Intervieweffekte**, die keine Methodeneffekte sind (Variable „Vmsd“ und „VmsKg“): Das Interviewdesign sieht vor, dass sobald in einem Kaufexperiment ein Elektroauto gewählt wird, ein Verkehrsmittelwahlexperiment für Fahrten über 150 Kilometer Länge durchgeführt wird. Die Variable „Vmsd“ gibt an, ob für den betreffenden Pkw bzw. den betroffenen Befragten ein solches Experiment durchgeführt wurde. Ist dies der Fall, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass in den folgenden Kaufexperimenten ein Elektroauto gewählt wird. Dies wird im positiven Nutzenkoeffizienten ausgedrückt. Bei dieser Variablen handelt es sich einerseits um einen Positionseffekt und andererseits um einen Effekt für eine Verhaltenspersistenz und für die Präferenz für Elektroautos. Im Verkehrsmittelwahlexperiment wird erhoben, ob nach dem Aufzeigen der Nutzenrestriktionen von Elektroautos durch die beschränkte Reichweite – das entspricht einer zusätzlichen Information und Bewusstseinsbildung des Befragten trotzdem das Elektroauto gewählt wird. Personen, die ihre Kaufentscheidung revidieren (Variable „VmsKg“), wählen höchstsignifikant seltener in den darauf folgenden Kaufexperimenten ein Elektroauto. Es handelt sich somit um einen Informationseffekt um technische Restriktionen des Elektroautos, der die Wirkung des vorhergehenden Effektes „Vmsd“ mindert. Beide Variablen haben einen klaren inhaltlichen Bezug zur abhängigen Variablen und sind daher als Methodeneffekte auszuschließen.
- **Begründungen der Kaufentscheidung**: Drei Begründungen der Kaufentscheidungen wurden ins Modell aufgenommen. Zum einen eine Dummy-Variable, die angibt, dass die Wahl des Pkw mit Aspekten des Umweltschutzes begründet wurde. In diesem Fall wurde überwiegend das Elektroauto und vereinzelt das Hybridauto gewählt. Dies bewirkt einen Nutzenzuschlag für das Elektroauto. Zum Modell gehören auch die Begründung „Laufende Kosten“, die einen Nutzenzuschlag für das Hybrid- und das Elektroauto gibt und die Begründung mit verschiedenen Aspekten des Zeitaufwandes. Im letztgenannten Fall wird die Entscheidung mit den Eigenschaften der notwendigen Ladedauer, der unsicheren Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur oder der geringen Reichweite von Elektroautos begründet. Dies ergibt einen Nutzenzuschlag für die Alternativen Hybridauto und herkömmlicher Pkw.

Im Kaufnachfragemodell dieser dritten Stufe werden verschiedene Variable nicht berücksichtigt, teils weil sie keinen signifikanten Einfluss haben, teils weil ihre Berücksichtigung das BIC erhöht. Dazu gehört das Bildungsniveau der Befragten, verschiedene Variable zu Einschätzungen (beispielsweise zur Reichweite von Elektroautos) oder zu Erwartungen an Elektroautos (die erforderliche Reichweite, damit ein Kauf in Betracht gezogen wird) oder verschiedene Begründungen der Kaufentscheidung wie die prinzipielle Bevorzugung einer Antriebsart.

2.6.2.4 Modellvergleich

Die Erweiterung des Kaufnachfragemodells erhöhen den Erklärungsgehalt deutlich (Tabelle 2.6.12). Der Wert des Bayesschen Informationskriteriums sinkt von 3171,45 auf 2934,68, im Gegenzug erhöht sich das Korrigierte Pseudo- R^2 von 0,10 auf 0,36. Für die Vorhersage des Pkw-Kaufs in einem Kaufnachfragemodell wird daher das erweiterte dritte Kaufnachfragemodell verwendet.

Tabelle 2.6.12: Vergleich der Güteindikatoren der drei untersuchten Kaufnachfragemodelle für Elektroautos

Güteindikator	Kaufnachfragemodell enthält		
	Nur Pkw-Attribute	Attribute und soziodemographische Variablen	Alle verfügbaren Variablen
Korrigiertes Pseudo- R^2	0,10	0,22	0,36
Anteil richtig vorhergesagter Entscheidungen	53 %	60 %	71 %
BIC	3717,45	3394,91	2934,68

Alle identifizierten Einflüsse in den drei Modellen sind zumindest auf dem Signifikanzniveau von einem Prozent höchstsignifikant. Zufällige Übereinstimmungen mit der Kaufentscheidung sind daher unwahrscheinlich. Abgesehen von den Variablen, die erst in der dritten Modellstufe einbezogen wurden, gibt es auch bei den alternativenunspezifischen Variablen, Unterschiede zwischen der zweiten und der dritten Modellstufe. In der dritten Modellstufe entfällt der Positionseffekt für die Variable der laufenden Kosten und die Variable, die die Nutzung des Carsharings anzeigt. Dafür sind das Geschlecht der Zielperson und eine Dummy-Variable für das Vorhandensein von Kindern im Haushalt im Modell enthalten. Der Grund für diesen unterschiedlichen Einbezug der Variablen in den einzelnen Kaufnachfragemodellen liegt in der Multikollinearität in der dritten Modellstufe zwischen einzelnen zusätzlich aufgenommenen Variablen und den Variablen der zweiten Modellstufe. Somit erklären mehrere Variable denselben Sachverhalt, es kann aber nur eine diesbezügliche Variable ins Modell aufgenommen werden.

2.6.3 Entwicklung eines Kaufnachfragemodells

Zur Abbildung der Entwicklung des Fahrzeugmarktes wird ein Kaufnachfragemodell für das Kaufverhalten entwickelt. Es handelt sich um ein Individualverhaltensmodell, das auf dem im Haushaltsinterview erfassten Bestands-Pkws der Haushalte basiert. Zu jedem vorhandenen Pkw eines Haushaltes wird ein Elektro- und Hybridauto mit definierten Eigenschaften zur Auswahl hinzugefügt. Jede dieser individuellen Auswahl-situation ist mit den zugehörigen Personen- und Haushaltsvariablen verknüpft. Unter Vorgabe der zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. Bezugsjahr vorhandenen Eigenschaften der Elektro- und Hybridautos kann die Kaufwahrscheinlichkeit ermittelt werden. Auf dieser Grundlage kann unter Verwendung der kalibrierten Nutzenfunktion für jeden Pkw die spezifische Kaufwahrscheinlichkeit berechnet werden. Aggregiert und hochgerechnet über alle modellierten Auswahl-situationen einer gegebenen Stichprobe ergibt dies die mittlere Kaufwahrscheinlichkeit der Fahrzeuge, unter-

schieden nach den Antriebsarten. Das Kaufnachfragemodell wurde in MsExcel programmiert (Abbildung 2.6.9).

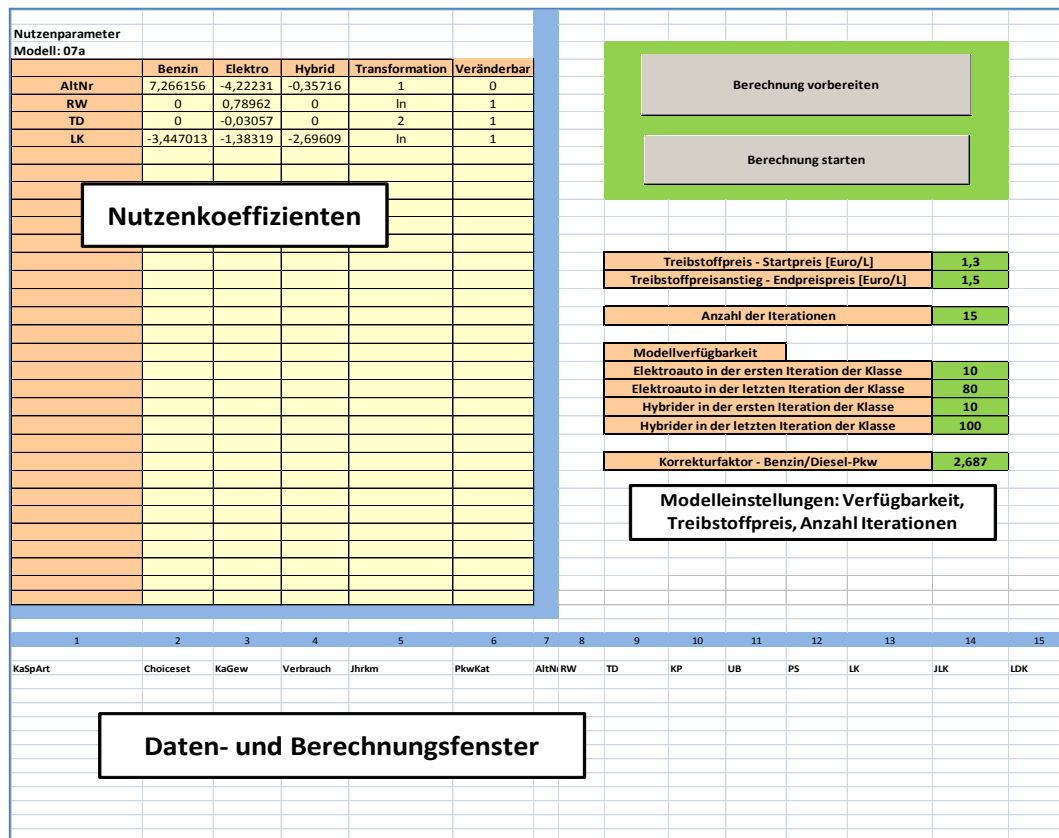


Abbildung 2.6.9: Aufbau und Eingabedaten des Kaufnachfragemodells

2.6.3.1 Funktionsweise des Kaufnachfragemodells und Modelleinstellungen

Mit dem Kaufnachfragemodell wird die Kaufwahrscheinlichkeit für Antriebsarten von Pkws berechnet. Output des Modells ist der relative Marktanteil der Fahrzeuge einer Antriebsart an den verkauften Neuwagen. Dieser wird für den Neuwagenmarkt und unterteilt nach Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit der in einem Bezugsjahr vorhandenen Fahrzeugeigenschaften der am Markt erhältlichen ausgegeben. Nicht abgebildet wird die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Pkw ersetzt wird, sondern bei beschlossenen Neukauf oder Ersatz eines bestehenden Pkws mit welcher Antriebsart er ersetzt wird. Befragte können nur einen Pkw aus derselben Fahrzeugkategorie wählen. Ein Wechsel der Fahrzeugkategorie wird daher nicht abgebildet.

Das Kaufnachfragemodell basiert auf der Nutzenfunktion des logistischen Modells der dritten Modellstufe (Kapitel 3.3). Für jede Variable der Nutzenfunktion wird im Kaufnachfragemodell als Ausgangsgröße der im Interview ermittelte konkrete Wert des Pkws, der Person oder des Haushaltes angesetzt. Im Kaufnachfragemodell kann die Ausprägung jeder der in der Nutzenfunktion enthaltenen Variablen verändert werden. Beispielsweise ist es möglich, den Kaufpreis von Hybridautos oder das Alter der Befragten zu verändern. Ebenso ist es möglich, den Treibstoffpreis zu erhöhen oder marktbeeinflussende Maßnahmen wie eine Kaufprämie zu berücksichtigen. Um die Entwicklungen von sich verändernden Ausprägungen der

Variablen im Zeitverlauf aufzuzeigen, wird der Neuwagenanteil für jedes Bezugsjahr schrittweise errechnen.

Ausgangsgröße der Ermittlung einer individuellen Kaufwahrscheinlichkeit ist der Bestands-Pkw, dabei handelt es sich ausnahmslos um **Diesel/Benzin**-betriebenen Pkws. Seine Eigenschaften werden aus dem Haushaltsinterview übernommen. Sie können verändert werden, um Entwicklungen der technischen Eigenschaften oder der Nutzerkosten nachzuvollziehen. Dazu müssen Zielwerte für das entsprechende Bezugsjahr definiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen der Pkws der Ausgangsstichprobe werden keine absoluten, sondern relative Zielwerte angegeben. In der verwendeten Nutzenfunktion des Kaufnachfragemodells sind für Pkws mit herkömmlichem Antrieb die Attribute „Kaufpreis“, „Motorleistung“ und die verschiedenen Varianten der „laufenden Kosten“ enthalten. Daher entfalten nur Veränderungen dieser Attribute Wirkungen für den Bestand-Pkw. Eine Besonderheit kommt den laufenden Kosten zu. Sie sind durch eine Änderung der Treibstoffkosten, eine Veränderung des Treibstoffverbrauchs und eine Änderung der Fixkosten wie Versicherungen und Reparaturkosten veränderbar. Diese drei Effekte können für den Bestands-Pkw angepasst werden. Die laufenden Kosten und die Lebensdauerkosten werden unter Berücksichtigung des konkreten Kaufpreises und der Jahresfahrleistung des Pkws entsprechend angepasst. Die verwendeten Angaben können aus der Haushaltsbefragung gewonnen werden oder durch zusätzliche Befragungen erweitert, aktualisiert oder für andere Untersuchungsgebiete erhoben werden.

Für jede Modellierung einer individuellen Wahlsituation ist ein **Hybridfahrzeug** als Wahlalternative enthalten. Seine Ausprägungen steht im Status Quo im relativen Verhältnis zu jenen des Bestand-Pkws. Diese relative Anpassung ermöglicht es, spezifische individuelle Einschätzungen der Befragten zu berücksichtigen. Wurde von einem Befragten beispielsweise die Reichweite des herkömmlichen Pkws verglichen mit den Herstellerangaben sehr gering eingeschätzt, dann wird im Modell angenommen, dass von diesem Befragten auch die Reichweite des Hybridautos gering eingeschätzt wird. Die Berücksichtigung dieser subjektiven Komponente wird durch den relativen Bezug der Fahrzeugeigenschaften des Hybridfahrzeugs zum Diesel/Benzin-betriebenen Pkw sichergestellt. Für das Hybridauto können Start- und Zielwerte seiner Eigenschaften in Abhängigkeit der technologischen Entwicklungsannahmen festgelegt werden.

Die im Kaufnachfragemodell einbezogenen Wahlalternativen werden durch ein **Elektroauto** komplettiert. Die Ausprägungen der Fahrzeugeigenschaften der Elektroautos sind ebenfalls relativ zu jenen des Bestand-Pkws definiert. Für jeden Pkw können Start- und Zielwerte für jedes Attribut in Abhängigkeit der technologischen Entwicklungsannahmen definiert werden. Im Gegensatz zu den Hybridautos werden beim Elektroauto die Start- und Zielwerte für Fahrzeugkategorien getrennt festgelegt, da insbesondere die Reichweite, aber auch die anderen am Markt angebotenen Eigenschaften der Elektroautos sehr unterschiedlich sind. Dazu werden vier Fahrzeugkategorien unterschieden: Kleinwagen, Fahrzeuge der Kompaktklasse, der Mittelklasse und der Ober-/Sonderklasse. Durch diese Unterteilung können technische und finanzielle Bedingungen genauer abgebildet werden. Beispielsweise kann der relative Faktor zur Berechnung der Reichweite von Elektroautos in höheren Fahrzeugkategorien niedriger angesetzt werden, um zu erwartende Reichweitenachteile der schwereren Mit-

tel- und Oberklassefahrzeuge zu berücksichtigen. Die laufenden Kosten des Elektroautos setzen sich im Kaufnachfragemodell aus einem Fixkostenanteil für Versicherung, Steuern, Reparaturen und den Batteriewechsel, einem Kostenanteil für den Energieverbrauch und einem Faktor für den Strompreis zusammen. Letzterer ist an die Entwicklung der Treibstoffpreise gekoppelt. Steigen die Benzin- und Dieselpreise um zehn Prozent, erhöht sich der Energiepreis für Elektroautos um denselben Faktor. Am Fahrzeugmarkt sind Elektroautos gegenwärtig nicht in allen Fahrzeugkategorien erhältlich.

Im Kaufnachfragemodell ist die unterschiedliche Verfügbarkeit berücksichtigt. Jede Fahrzeugkategorie kann als nicht verfügbar gekennzeichnet werden. In diesem Fall wird die Wahlwahrscheinlichkeit für alle Elektroautos dieser Kategorie auf null gesetzt. Eine Fahrzeugkategorie kann auch erst ab einem definierten Bezugsjahr als am Markt verfügbar angenommen werden. Diese zeitliche Verfügbarkeitsschwelle kann für jede Fahrzeugkategorie getrennt eingestellt werden.

Sind Elektroautos in einer Fahrzeugkategorie verfügbar, bedeutet dies nicht, dass alle Firmen Modelle in dieser Kategorie anbieten. Das gilt auch für Hybridautos. Die Marktdurchdringung hängt aber wesentlich von der Modellverfügbarkeit am Markt ab. Dieser Umstand wird im Kaufnachfragemodell berücksichtigt, indem ein Zeitraum definierbar ist, über den die Marktverfügbarkeit durch einen Anteilswert berücksichtigt wird. Dieser Anteilswert drückt aus, welcher Anteil an Autoproduzenten für eine Fahrzeugkategorie Elektro- und/oder Hybridautos anbieten. Dieser Anteilswert wird in der Ermittlung der Kaufwahrscheinlichkeit multiplikativ als Faktor berücksichtigt. Neben der generellen Verfügbarkeit der Fahrzeugkategorie wird damit die Vielfalt der Modelle für Hybrid- und Elektroautos berücksichtigt. Bezugsgrößen sind bei Elektroautos die jeweilige Fahrzeugkategorie, bei Hybridautos alle Fahrzeuge. Sind Elektroautos in einer Fahrzeugkategorie erst ab einem definierten zukünftigen Bezugsjahr am Markt vorhanden, wird die Modellverfügbarkeit im ersten Jahr der Verfügbarkeit mit dem Verfügbarkeitsanteil des Startjahres 2010 des Kaufnachfragemodells gleichgesetzt. In der Folge steigt der Anteil der verfügbaren Modelle bis zum definierten Bezugsjahr auf den Zielwert. Dahinter steht die Überlegung, dass in den nächsten Jahren auf Grund der begrenzten Reichweiten und Ladekapazität der Batterien das Angebot für Kategorien kleiner Fahrzeuge deutlich größer sein wird als für Kategorien großer Fahrzeuge. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass ein späteres Marktangebot von größeren Fahrzeugkategorien eine schnellere Erweiterung des Marktangebots ergeben wird, einerseits aufgrund der Konkurrenz der Produzenten und andererseits da der Fortschritt der technologischen Entwicklung dies ermöglicht. Ein Beispiel ist in Tabelle 2.6.13 dargestellt: 20 Prozent der Produzenten bieten Elektroautos der Kategorie von Kleinwagen ab 2010 an; in der Kompaktklasse stehen erst ab 2012 erste Angebote zur Verfügung. Der jährliche Zuwachs der verfügbaren Modelle fällt in den Folgejahren stärker aus. Im Jahre 2015 werden in beiden Kategorien Modelle von 50 Prozent der Produzenten angeboten.

Tabelle 2.6.13: Beispiel für die Entwicklung der Modellverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Kategorie der Fahrzeugklasse

Jahr	Kleinwagen	Kompaktklasse
2010	20 %	-
2011	26 %	-
2012	32 %	20 %
2013	38 %	30 %
2014	44 %	40 %
2015	50 %	50 %

2.6.3.2 Definition des Status Quo

Für die Berechnungen des Kaufnachfragemodells ist der Status Quo zu definieren. Dies bezieht sich auf die Eigenschaften der Fahrzeuge und die Rahmenbedingungen (z.B. Kaufförderungen, Höhe der Treibstoffpreise). Als Startjahr ist das Jahr 2010 definiert.

Die Ausprägungen des herkömmlichen Pkws werden den Haushaltsinterviews entnommen. Eine Ausnahme stellen die laufenden Kosten dar. Sie werden auf Grundlage des Treibstoffpreises, des Verbrauchs und der sonstigen variablen Kosten berechnet, die Jahreskosten und Lebensdauerkosten zusätzlich mit der Jahresfahrleistung ermittelt. Ein Fahrzeugbetriebskostengrundwert wird für Versicherungen und Reparaturen in Höhe von 0,119 Euro/Km angesetzt [86].

Für Hybridautos wird eine Modellverfügbarkeit von zehn Prozent im Startjahr 2010 angenommen. Die laufenden Kosten des Hybridautos werden zehn Prozent geringer als die des Benzin-/Diesel-Pkws angesetzt. Der durchschnittliche Kaufpreis ist um den Faktor 1,4, die Motorleistung um zwanzig Prozent höher als für Pkws mit herkömmlichem Antrieb.

Tabelle 2.6.14: Status Quo-Eigenschaften von Hybridautos im Vergleich zum Benzin/Diesel-Pkw

Kaufpreis	+ 40 %
Motorleistung	+ 20 %
Variablen laufenden Kosten	- 10 %
Modellverfügbarkeit	10 %

Das Elektroauto ist im Status Quo ausschließlich in der Fahrzeugkategorie „Kleinwagen“ verfügbar. Die Fahrzeugmodellverfügbarkeit beträgt zehn Prozent. Für Elektroautos sind die fahrzeugkategorieabhängigen relativen Faktoren und die daraus resultierenden Mittelwerte der absoluten Attributausprägungen in Tabelle 2.6.15 dargestellt. In den Ausprägungen sind Charakteristika der einzelnen Fahrzeugkategorien berücksichtigt. Beispielsweise benötigen Elektroautos der Oberklasse mehr Energie, daher liegen der variable Teil der laufenden Kosten und die Umweltbelastung relativ und absolut höher.

Tabelle 2.6.15: Eigenschaften der Elektroautos im Status Quo³⁹

	Kleinwagen		Kompakt- klasse		Mittelklasse		Oberklasse	
	Faktor	Mw	Faktor	Mw	Faktor	Mw	Faktor	Mw
Reichweite [km]	0,21	144	0,21	149	0,21	154	0,21	153
Ladedauer [h/100 km]	-	4,5	-	4,75	-	5,0	-	5,0
Kaufpreis [Euro]	2,2	31,09	2,2	41,58	2,2	60,88	2,2	64,57
Umweltbelastung [Gramm CO ₂ /100 km]	0,6	90	0,6	102	0,6	118	0,6	123
Motorleistung [PS]	0,8	60	0,8	78	0,9	102	0,9	125
Variabler Teil der laufende Kosten [Eu- ro/100 km]	-	3,50	-	4,00	-	5,00	-	6,00
Fester Teil der laufenden Kosten [Euro/100 km]	-	9,00	-	10,00	-	10,00	-	11,00

Der für den Status Quo mit dem Kaufnachfragemodell berechnete Anteil der verkauften Fahrzeuge je Antriebsart weicht geringfügig von den tatsächlich vorhandenen am österreichischen Fahrzeugmarkt ab. Für den Status Quo wird ein Anteil der Hybridautos an den verkauften Neuwagen von 4,0 Prozent und von Elektroautos von 0,7 Prozent berechnet (tatsächliche Absatzzahlen: Hybridautos: 0,4 Prozent, Elektroautos 0,03 Prozent; [71]). Diese Abweichung wird durch eine Kalibrierung des Modells ausgeglichen, indem ein konstanter Faktor der alternativen spezifischen Konstanten der Benzin/Dieselmotoren in Höhe von 3,07 hinzugefügt wird.

2.6.4 Elastizitäten der Pkw-Attribute

Das Kaufnachfragemodell kann dazu verwendet werden, die Änderungen der Kaufwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Veränderung der Fahrzeugeigenschaften aufzuzeigen, sodass man Elastizitäten der Nachfrage (Kaufwahrscheinlichkeit) von Elektroautos erhält. Dies ermöglicht es, Fahrzeugeigenschaften mit einem hohen Einfluss auf den Kauf von Elektroautos zu identifizieren. Zur Berechnung werden für die Fahrzeugeigenschaften Referenzwerte angesetzt. Diese Werte orientieren sich an den technologischen Möglichkeiten des Status Quo (Tabelle 2.6.15). Für jede zu untersuchende Eigenschaft wird ein Zielwert definiert. Um zu überprüfen, ob die Elastizitäten konstant oder in Relation der Ausprägung der Eigenschaften variabel sind, wird die Entwicklung auf mehrere Jahresschritte aufgeteilt. Da die Wirkung einzelner Fahrzeugeigenschaften untersucht wird, werden alle Fahrzeugkategorien des Elektroautos als sofort verfügbar angesetzt. Analog wird die Modellverfügbarkeit

³⁹ dargestellt als Mittelwerte (Mw) und Faktoren in Bezug zu Pkws mit herkömmlichen Antrieb

im Status Quo auf 100 Prozent gesetzt. Der Treibstoffpreis bleibt konstant auf heutigem Niveau bei 1,30 Euro/Liter. Für den so definierten Referenzfall liegt der Anteil der Elektroautos an allen verkauften Neuwagen bei 1,9 Prozent. Die Abweichung zu den tatsächlichen Absatzmengen in Österreich ist durch die höhere Modellverfügbarkeit bedingt. Bei der Bewertung der Elastizitäten ist zu berücksichtigen, dass die Veränderungen der Fahrzeugeigenschaften mit unterschiedlich technologischem und finanziellem Aufwand erzielt werden können. Eine Erhöhung der Reichweite eines Elektroautos um 30 Prozent sollte leichter umsetzbar sein als eine Kaufpreissenkung um 30 Prozent.

Die auf eine spezielle Fahrzeugeigenschaft des Elektroautos bezogene Kaufelastizität ist als relative Änderung der Nachfrage auf eine relative Änderung der Fahrzeugeigenschaft definiert:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta Y}{Y_0} / \frac{\Delta X}{X_0}$$

wobei X_0 die Fahrzeugeigenschaft im Status Quo, ΔX die Veränderung der Fahrzeugeigenschaft zwischen zwei Messungen und Y die entsprechende Nachfrage bezeichnet.

Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber der Reichweite von Elektroautos

Zur Analyse der Wirkung einer Erhöhung der Reichweite auf die Kaufwahrscheinlichkeit von Elektroautos werden Reichweiten von durchschnittlich 150 km bis 400 km untersucht. Dies entspricht einem Anstieg der heute erreichbaren Reichweite von Elektroautos von etwa 165 Prozent bis 2025. Die durchschnittliche Kaufwahrscheinlichkeit liegt im Zieljahr bei 3,4 Prozent der Neuwagen. Die Reichweitenelastizität der Kaufwahrscheinlichkeit ist gering, sie liegt im Maximum bei 0,58 und nimmt auf 0,46 ab. Dies bedeutet zum Einem, dass eine Erhöhung der Reichweite des Elektroautos die Kaufwahrscheinlichkeit erhöht. Zum anderen liegt eine mit der Zunahme der Reichweite nicht-proportionale Abnahme der Kaufwahrscheinlichkeit vor. Die Erhöhung der Reichweite um einen bestimmten Prozentsatz bewirkt eine zu diesem Prozentsatz schwächere Zunahme der Kaufwahrscheinlichkeit. Zudem liegt eine streng monoton fallende Elastizitätsfunktion vor. Je weiter die Reichweite erhöht wird, desto geringer ist die Wirkung einer weiteren Erhöhung der Reichweite. Die Reichweite hat einen abnehmenden Grenznutzen (Abbildung 2.6.10).

Die geringe Wirkung der alleinigen Erhöhung der Reichweite für Elektroautos lässt sich demonstrieren, wenn als Zielwert für die Reichweite eine Parität zu der des Benzin/Dieseltreibenden Pkws angesetzt wird. Die Reichweite des Elektroautos beträgt dann im Durchschnitt 710 km. Die Reichweite sollte in diesem Fall kein kaufrelevanter Faktor mehr sein. Für diese Situation ergibt sich im Zieljahr ein Anteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen von 4,7 Prozent, bei den Hybridautos von 6,4 Prozent. Der gesamte Neuwagenanteil der Fahrzeuge mit erneuerbaren Antriebsarten liegt dann nur 1,1 Prozentpunkte über dem Vergleichswert bei einer Reichweite der Elektroautos von durchschnittlich 400 km.

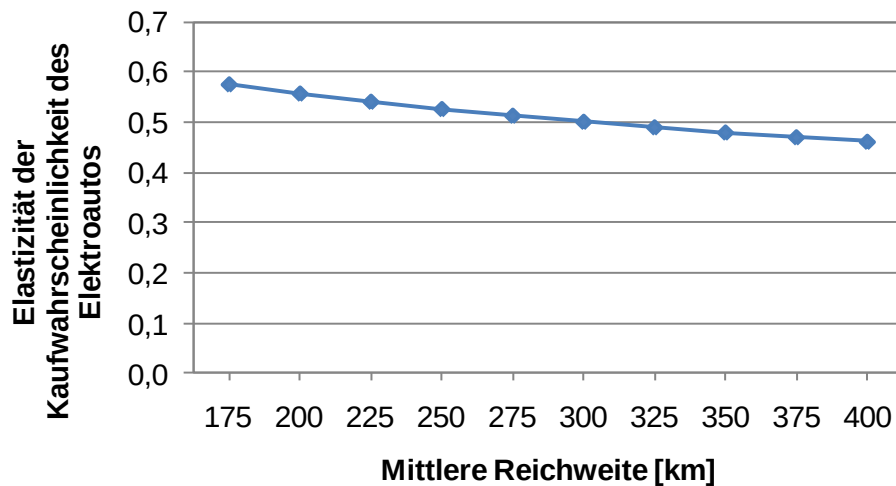


Abbildung 2.6.10: Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit abhängig von der Reichweite des Elektroautos

Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber dem Kaufpreis von Elektroautos

Eine deutlich höhere Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit zeigt sich gegenüber einer Kaufpreisänderung. Es wurde eine Verringerung des Kaufpreises um knapp 55 Prozent von durchschnittlich 50.000 Euro auf 22.800 Euro je Elektroauto untersucht. Dies entspricht dem durchschnittlichen Kaufpreis der herkömmlichen Pkws. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein verkaufter Neuwagen ein Elektroauto ist, steigt unter dieser Bedingung auf 10,0 Prozent. Die Kaufpreis-Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit sinkt von -3,0 auf -7,7 (Rote Kurve, Abbildung 2.6.11).

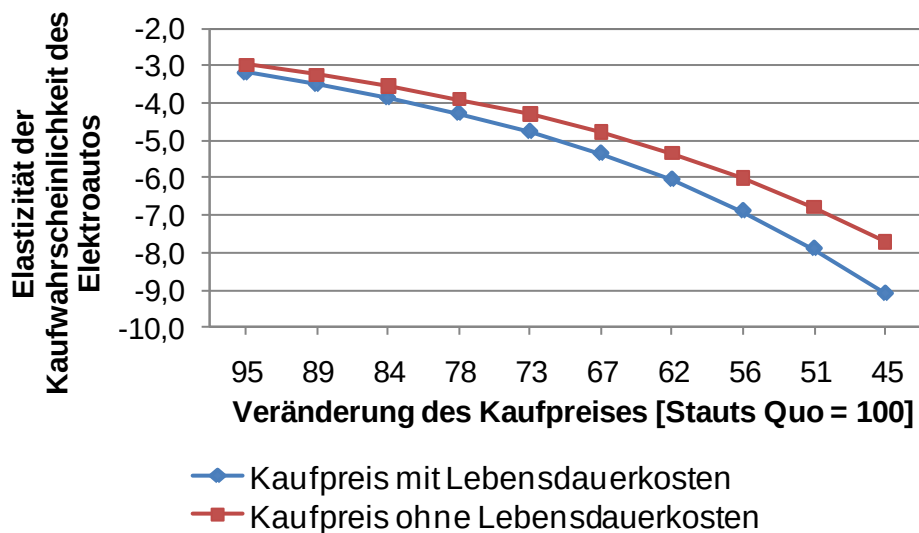


Abbildung 2.6.11: Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber dem Kaufpreis⁴⁰

Die Reduktion des Kaufpreises um ein Prozent bewirkt somit bei hohen Kaufpreisen einen Anstieg der Kaufwahrscheinlichkeit um drei, bei niedrigen Kaufpreisen um 7,7 Prozent. Im

⁴⁰ (die prozentuale Veränderung der Kosten bezieht sich auf den Status Quo)

Gegensatz zur Reichweite, die im untersuchten Intervall einen abnehmenden Grenznutzen hat, hat der Kaufpreis einen als Betrag gemessenen steigenden Grenznutzen. Fallende Kaufpreise erhöhen die Kaufwahrscheinlichkeit deutlich stärker als eine steigende Reichweite von Elektroautos. Der rot dargestellte Effekt ist der singuläre Effekt des Kaufpreises, wobei die anderen Eigenschaften als konstant in Bezug zum Status Quo angenommen werden. Im in der SEM-Befragung und der Modellierung identifizierten Kalkül der Befragten zum Pkw-Kauf fließt der Kaufpreis eines Pkws auch über die Lebensdauerkosten und damit in Kombination mit den laufenden Kosten in die Nutzenfunktion ein (Blaue Kurve, Abbildung 2.6.11). Wird der Effekt der Lebensdauerkosten zusätzlich berücksichtigt, erhöht sich die Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos auf 11,5 Prozent im Zieljahr, die Elastizität steigt im Maximum auf -9,1. Der Unterschied beider Kurven fällt mit sinkendem Kaufpreis stärker aus. Nach vier Jahresschritten ist die Differenz kleiner als 0,1 Prozent. In diesem Bereich erhält das Elektroauto durch die doppelte Berücksichtigung der hohen spezifischen Kaufpreise in der Nutzenfunktion einen starken Nachteil, die Kaufwahrscheinlichkeit ist gering. Mathematisch betrachtet ist dieser Nachteil schon im Referenzwert berücksichtigt. Von diesem Ausgangspunkt aus setzt aufgrund der Verringerung des Kaufpreises ein kontinuierlicher Anstieg der Attraktivität des Elektroautos ein, während die der anderen Alternativen stagniert. Der Nutzenbestandteil der Lebensdauerkosten eines durchschnittlichen Pkws (Herkömmlicher Pkw: Kaufpreis 22.770 Euro, Jährliche laufende Kosten: 3.200 Euro/Jahr) ist bei einem Kaufpreisverhältnis des Elektroautos zum herkömmlichen Pkw von 1,65 gleichhoch wie der des durchschnittlichen Hybridautos und von 1,30 gleichhoch wie der des herkömmlichen Pkws.

Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber der Ladedauer

Die untersuchte Spannweite der Ladedauer reicht von durchschnittlich 4,9 auf 2,1 Stunden/100 km Reichweite. Dies entspricht einer Abnahme von 56 Prozent. Die Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos steigt im Zieljahr auf 3,0 Prozent. Die Elastizität liegt zwischen -1,08 und -0,94 (Abbildung 2.6.12). Sie nimmt von ihrem Minimum aus monoton zu, mit zunehmender Verkürzung der Ladedauer steigt die Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos weiter, allerdings langsamer. Bei einer Ladedauer von knapp unter drei Stunden je 100 km Reichweite sinkt die Elastizität auf -1,0, die Kaufwahrscheinlichkeit ist ab dort definitionsgemäß unelastisch.

Im Fall, dass die Ladedauer der Elektroautos gleich der Tankdauer der anderen Fahrzeuge gesetzt wird und damit den Wert „null“ annimmt, wird für Elektroautos ein Marktanteil von 3,3 Prozent prognostiziert. Diese Aussage ist aber mit Unsicherheiten behaftet, da Ladedauern von null Stunden/100 km in der Befragung nicht untersucht wurden und es sich somit um eine Extrapolation über den untersuchten Bereich hinaus handelt.

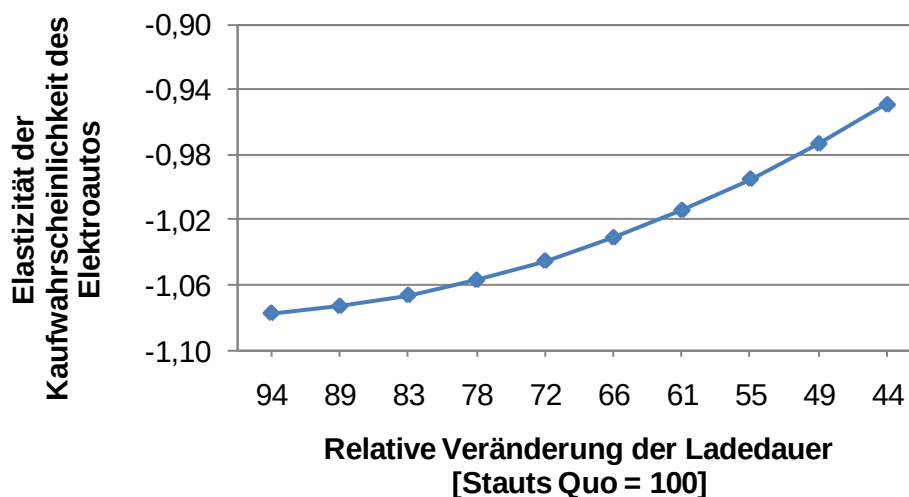


Abbildung 2.6.12: Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber der Ladedauer⁴¹

Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber laufenden Kosten und Treibstoffpreis

Die laufenden Kosten fließen in drei Formen in die Nutzenfunktion ein: Als laufende Kosten je 100 km, als jährliche laufende Kosten und als Lebensdauerkosten. Eine analytische Trennung dieser drei Effekte ist lediglich zur Abschätzung der relativen Wirkungen sinnvoll. Die laufenden Kosten können zudem in drei Bestandteile aufgeteilt werden: den Treibstoffverbrauch, die Treibstoffkosten und die fixen laufenden Kosten. Variiert wurden zunächst der Treibstoffverbrauch und die fixen laufenden Kosten. Das sind die Fahrzeugeigenschaften, auf die die Fahrzeughersteller Einfluss nehmen können. Untersucht wurde ein effektiver Wertebereich der laufenden Kosten je 100 km von durchschnittlich 14,60 Euro/100 km bis 6,30 Euro/100 km – unter der Prämisse, dass die Treibstoffpreise bei 1,30 Euro/Liter stagnieren.

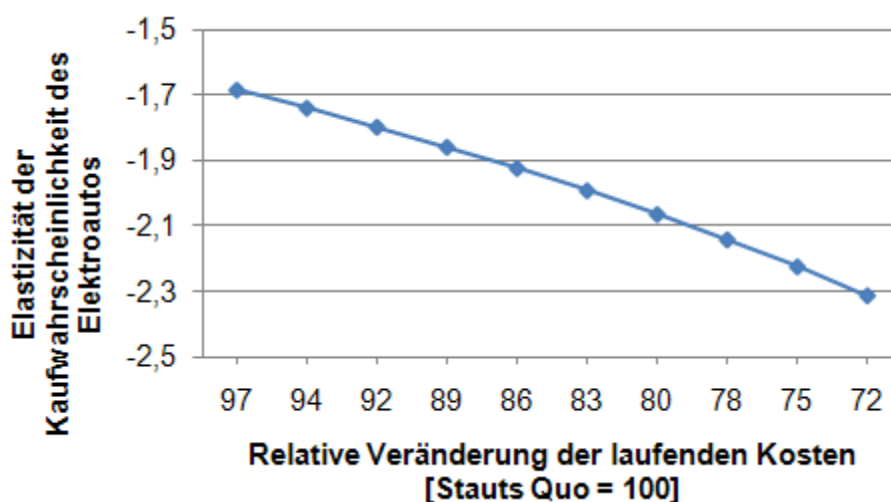


Abbildung 2.6.13: Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber den laufenden Kosten⁴²

⁴¹ (die prozentuale Veränderung der Kosten bezieht sich auf den Status Quo)

⁴² (die prozentuale Veränderung der Kosten bezieht sich auf den Status Quo)

Mit sinkenden laufenden Kosten des Elektroautos steigt die Wahrscheinlichkeit eines Kaufs. Werden alle drei Arten der laufenden Kosten gemeinsam betrachtet (Abbildung 2.6.13), liegt die Elastizität zwischen -1,7 und -2,4. Die Rate der Elastizität ist negativ: Mit weiter sinkenden laufenden Kosten steigt die Wahrscheinlichkeit, ein Elektroauto zu kaufen stärker. Die Kaufwahrscheinlichkeit eines Elektroautos liegt bei einer Abnahme der laufenden Kosten um 28 Prozent bei 3,2 Prozent der verkauften Neuwagen. Die Trennung der laufenden Kosten in ihre drei Bestandteile ergibt einen vergleichsweise starken Einfluss der laufenden Kosten je 100 km. Die Elastizität liegt zwischen -1,1 und -1,6. Die Kaufwahrscheinlichkeit steigt auf 2,8 Prozent. Die Effekte der jährlichen laufenden Kosten und der Lebensdauerkosten sind schwächer. Dieser Befund gilt auch, wenn die Veränderung der Treibstoffpreise ohne Änderung des Treibstoffverbrauchs und Änderungen der Fixkosten untersucht wird (Abbildung 2.6.14). Untersucht wurden Treibstoffpreise von 1,30 bis 3,00 Euro/Liter. Der über die drei Kostenvariablen „Laufende Kosten je 100 km“, „jährliche laufende Kosten“ und „Lebensdauerkosten“ wirkende Treibstoffpreiseffekt ergibt eine Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit von Elektroautos von 1,0 bis 1,2. Die Elastizität ist positiv, mit steigendem Treibstoffpreisen steigt somit die Wahrscheinlichkeit, ein Elektroauto zu kaufen. Der Grund dafür ist, dass die Verbrauchskosten der anderen Fahrzeuge durch den Treibstoffpreisanstieg stärker im Vergleich zum Elektroauto steigen.

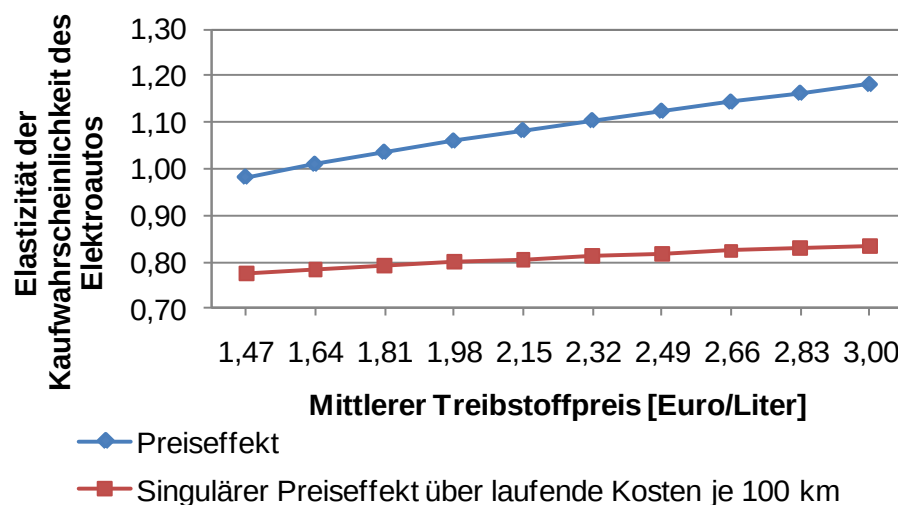


Abbildung 2.6.14: Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber dem Treibstoffpreis

In Abbildung 2.6.14 ist der singuläre Effekt der Treibstoffpreise über die laufenden Kosten je 100 km dargestellt – die jährlichen laufenden Kosten und die Lebensdauerkosten werden nicht berücksichtigt. Die geringen Unterschiede in der Steigung der beiden Kurven sind durch den Effekt der jährlichen laufenden Kosten und der Lebensdauerkosten bedingt. Die Veränderung der laufenden Kosten im Zeitverlauf ist somit vernachlässigbar. Dies hängt auch mit der Konstanz der Kaufpreise und der Jahresfahrleistungen zusammen. Relevant ist hingegen die Wirkung der Parallelverschiebung. Werden nur die laufenden Kosten je 100 km

untersucht, werden der Effekt des Treibstoffpreisanstieges und damit der Marktanteil der Elektroautos unterschätzt.

Weitere Elastizitäten der Kaufwahrscheinlichkeit

Für die Umweltbelastung wird die Wirkung einer bis zu 50-prozentigen Reduktion des CO₂-Ausstoßes analysiert. Die Elastizität nimmt linear von -0,46 auf -0,51 ab. Der Anteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen steigt auf 2,4 Prozent im Zieljahr. Die Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber der Motorleistung wird in der Spannweite von durchschnittlich 117 PS im Referenzfall bis 193 PS untersucht. Sie steigt linear von 1,03 auf 1,19. Eine zunehmende Motorleistung erhöht die Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos in einem geringen Ausmaß. Die Kaufwahrscheinlichkeit liegt im Zieljahr bei 3,4 Prozent.

Parität der Eigenschaften des Elektroautos zum herkömmlichen Pkw

Analog zur Berechnung der Elastizitäten können auch alle Eigenschaften des Elektroautos simultan auf einen spezifischen Maximalwert gesetzt werden. Diese Werte hängen im Wesentlichen von den maximalen Attributausprägungen ab, die in der Befragung verwendet wurden. Eine über diesen Bereich hinausgehende Extrapolation ist nicht sinnvoll. Selbstverständlich entspricht das Ergebnis keiner Realität, gibt aber für die Plausibilitätskontrolle eine gute Rückkoppelung. Die Zielwerte des Elektroautos weisen eine Ladedauer von zwei Stunden, eine Parität des Kaufpreises und der Reichweite zum herkömmlichen Pkw, eine um 70 Prozent niedrigere Umweltbelastung und eine um 20 Prozent höhere Motorleistung auf. Die laufenden Kosten sind im Schnitt um ein Drittel niedriger als im Referenzfall. Alle Rahmenbedingungen, beispielsweise zur Modellverfügbarkeit entsprechen dem Referenzfall der Elastizitätsberechnung.

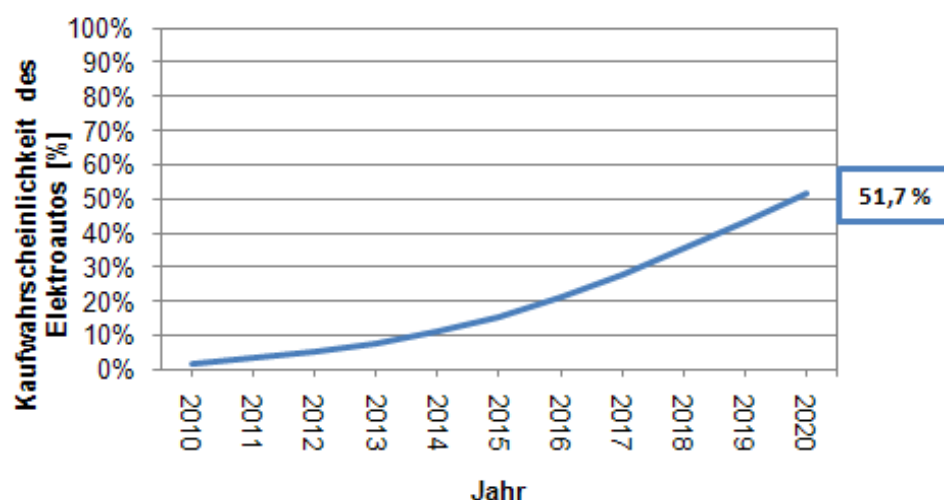


Abbildung 2.6.15: Kaufwahrscheinlichkeit bei Parität der Eigenschaften des Elektroautos zu denen des herkömmlichen Pkws

Der Marktanteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen steigt im Zieljahr auf 51,7 Prozent, der der herkömmlichen Pkws liegt bei 46,1 Prozent. Hybridautos werden in

dieser Situation nur in Einzelfällen gekauft. Mit Ausnahme der Ladedauer sind alle Eigenschaften des Elektroautos mindestens genauso gut wie die eines herkömmlichen Fahrzeugs – die Umweltbelastung, die Motorleistung und die laufenden Kosten liegen besser. Diese Unterschiede manifestieren sich im unterschiedlichen Marktanteil in Höhe von 5,6 Prozentpunkten. Unter diesen Bedingungen haben beide Antriebsarten unter etwa dieselbe Kaufwahrscheinlichkeit, es gibt keine alternativenspezifischen Unterschiede.

Zusammenfassende Bewertung

Die Interpretation der Elastizitäten ist insofern schwierig, da es einer Einschätzung der zukünftigen Technologieentwicklung bedarf, mit welchem finanziellen Aufwand die Veränderungen der untersuchten Fahrzeugeigenschaften erreicht werden können. Diese Abschätzung kann im Rahmen des Projekts SEM nicht erbracht werden. Diese Abschätzung der Elastizität der Kaufwahrscheinlichkeit gegenüber einzelnen Fahrzeugeigenschaften von Elektroautos zeigt aber deutlich auf, welche Eigenschaften einen starken Einfluss auf die Kaufeigenschaften für Elektroautos aus Nutzersicht haben. In Tabelle 2.6.16 ist ein Vergleich der Kaufwahrscheinlichkeit unter der Annahme einer Veränderung der Fahrzeugeigenschaften um +/-20 und +/-50 % aufgelistet. Eine hohe Relevanz für den Kauf von Elektroautos haben bei einer Veränderung der untersuchten Attribute von +/-20 Prozent vor allem der Kaufpreis und die laufenden Kosten. Die anderen Attribute sind etwa gleich relevant.

Tabelle 2.6.16: Kaufwahrscheinlichkeiten bei gleicher relativer Änderung der Fahrzeugeigenschaften

	Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos in % bei einer Veränderung der Fahrzeugeigenschaft um	
	+/- 20 %	+/- 50 %
Umweltbelastung [Gramm CO ₂ /100 km]	2,1 %	2,4 %
Reichweite [km]	2,1 %	2,4 %
Motorleistung [PS]	2,3 %	3,0 %
Ladedauer [h/100 km]	2,3 %	2,9 %
Laufende Kosten [Euro]	2,7 %	-
Kaufpreis [Euro] (inkl. Lebensdauer-kosten)	3,6 %	9,6 %

Der Kaufpreis bewirkt auch bei einer Veränderung von -50 Prozent den stärksten Anstieg der Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos. Die Reichweite und die Umweltbelastung bewirken verglichen mit dem 20-Prozent-Niveau nur einen geringfügigen Anstieg der Kaufwahrscheinlichkeit des Elektroautos. Insbesondere bei der Reichweite dürfte dies an der geringen absoluten Veränderung liegen. So steigt die Reichweite auf dem 20-Prozent-Niveau lediglich von 180 auf 215 Kilometer, was im Vergleich zum herkömmlichen Auto wenig Verbesserung bedeutet. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Anstieg im nennenswerten Ausmaß dazu beiträgt, Mobilitätsbedürfnisse potentieller Käufer zu befriedigen und damit kaufrelevant ist, ist

gering. Eine Veränderung der laufenden Kosten von -50 Prozent wurde nicht durchgeführt, da dies technisch nicht realisierbar ist. Die Ergebnisse der Tabelle 2.6.16 decken sich mit den Ergebnissen der Untersuchung der Elastizitäten. Sie sind im untersuchten Wertintervall für die laufenden Kosten und die Kaufpreise am höchsten, für die Reichweite und die Umweltbelastung am niedrigsten. Es ist zu berücksichtigen, dass die dargestellten Elastizitäten singuläre Effekte unter der restriktiven Annahmen einer ausbleibenden Entwicklung der Alternativtechnologien und konstanter Treibstoffpreise sind. Zudem verstärken sich einige Effekte gegenseitig. Dies gilt insbesondere für die laufenden Kosten, die sowohl mit den Treibstoffpreisen als auch den Kaufpreisen zusammenhängen.

2.6.4.1 Marktentwicklung in verschiedenen Szenarien

Mit dem Kaufnachfragemodell lässt sich die Entwicklung am Fahrzeugmarkt berechnen. Dazu sind in Szenarien die Rahmenbedingungen sowie die Entwicklungen der Nutzerkosten und der Fahrzeugtechnik für alle Fahrzeugarten zu definieren. Es werden Szenarien für vier verschiedene Gruppen berechnet:

- eine Szenariengruppe zur Abbildung der Entwicklung der **Fahrzeugtechnik und der Nutzerkosten** mit besonderem Fokus auf Elektroautos,
- eine Szenariengruppe zur Abbildung eines mehr oder weniger starken **Anstiegs des Treibstoffpreises** auf Grundlage einer mittleren technologischen Entwicklung und
- eine Szenariengruppe zur Abbildung der Wirkung von **Maßnahmen zur Förderung des Elektroautokaufs** auf Grundlage einer mittleren technologischen Entwicklung.

Die Modellierung der Nachfrage erfolgt in Jahresschritten und beginnt jeweils im Jahr 2010 und basieren auf dem definierten Status Quo. Zieljahr der Berechnungen ist 2025. Die Berechnungen erfolgen daher in sechzehn Stufen, die einzelne Jahre repräsentieren.

Nicht nur in den Szenarien mit starkem Treibstoffpreisanstieg, sondern auch in allen anderen Szenarien wird von einem maßvollen Anstieg der Treibstoffpreise von 16 % während des Betrachtungszeitraums ausgegangen, der sich auf alle Antriebstechnologien auswirkt. Die Treibstoffpreise für Benzin/Diesel- und Hybridautos steigen im Betrachtungszeitraum real von 1,30 Euro/Liter auf 1,50 Euro/Liter, der Betriebskosten für Elektroautos erhöht sich ebenfalls um diese 16 Prozent bis zum Jahr 2025. Die Annahme, dass eine Entwicklung der Fahrzeugtechnologie und der Nutzerkosten auf die Elektromobilität beschränkt ist, ist nicht plausibel. Daher werden für Hybridautos und herkömmliche Pkws ebenfalls technologische Veränderungen der Fahrzeugflotte angesetzt. Diese Veränderungen unterscheiden sich in den einzelnen Szenarien nicht. Es gilt:

- Pkw mit Benzin/Dieselantrieb: Es wird angenommen, dass sich bei Diesel/Benzin-betriebenen Autos der Trend hin zu verbrauchsärmeren Fahrzeugen fortsetzt. Gleichzeitig steigen die Motorleistungen der Fahrzeuge (Tabelle 2.6.17).
- Hybridautos: Der höhere Kaufpreis in Bezug auf den Status Quo des Benzin-Pkws von +40 Prozent sinkt auf +15 Prozent. Die Motorleistung der Fahrzeugflotte steigt im Betrachtungszeitraum. Der Treibstoffverbrauch nimmt um zwanzig Prozent ab und sinkt damit etwas stärker als bei den herkömmlichen Pkws. Der fixe Teil der laufenden Kosten sinkt ebenfalls um zehn Prozent. Die Begründungen für die Veränderungen sind dieselben wie für herkömmliche Pkws, beim Kaufpreis kommen Skaleneffekte hinzu (Tabelle 2.6.17).

Tabelle 2.6.17: Angenommene Veränderungen der Eigenschaften des Benzin/Diesel-Pkws und des Hybridautos in den Szenarien über den Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2025

	Hybridauto	Benzin/Diesel-Pkw
Kaufpreis:	- 18 %	-
Motorleistung:	+ 8 %	+ 10 %
Treibstoffverbrauch:	- 20 %	- 15 %
Fixe laufende Kosten	- 10 %	-
Modellverfügbarkeit	100 %	-

2.6.4.2 Szenarien zur Abbildung der Entwicklung der Fahrzeugtechnik und der Nutzerkosten

Es werden drei Szenarien zur Entwicklung der Fahrzeugtechnologie und der Nutzerkosten untersucht, in denen eine **schwache technologische Entwicklung** (Referenzszenario für AP7), eine **starke technologische Entwicklung** und eine **mittlere technologische Entwicklung** angesetzt werden.

Im Szenario zur schwachen technologischen Entwicklung bleibt der Durchbruch in der Fahrzeugtechnik für Elektroautos aus. Die Reichweiten bleiben auf dem Niveau des Status Quo, die Ladedauer stagniert auf hohem Niveau. In der Folge sind die verkauften Stückzahlen gering. Die Fahrzeughersteller können daher nur im geringen Ausmaß Skaleneffekte für die Preisgestaltung nutzen, die Kaufpreise der Elektroautos bleiben daher hoch. Entsprechendes gilt für die Betriebskosten. Die Veränderungen der Kaufpreise und der laufenden Kosten sinken nur wenig. Parallel zu der Entwicklung bei den Hybridautos kommt es zu einer Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der fixen laufenden Kosten in der gleichen Größenordnung. Die Elektroautos werden so im Vergleich zu Pkws mit Hybrid- und fossilem Antrieb nicht schlechter. Die Modellverfügbarkeit nimmt zu, allerdings werden nur Fahrzeuge der Kategorien „Kleinwagen“ und „Kompaktklasse“ angeboten (Tabelle 2.6.18). Im Szenario zur Abbildung einer starken technologischen Entwicklung wird von einem technologischen Durchbruch in der Fahrzeugtechnik, insbesondere bezüglich der Ladedauer und der Reichweiten ausgegangen. Elektroautos können ab 2012 in der Kompaktklasse, ab 2014 als Mittelklassewagen erworben werden. Die zunehmenden Absatzzahlen ermöglichen den Produzenten Skaleneffekte für die Preisgestaltung zu nutzen; weitere Anbieter treten in den Markt ein, die Kaufpreise sinken. Insbesondere im Bereich der Batterielebensdauer und -leistungsfähigkeit kommt es zu technischen Neuerungen. In der Folge müssen die Batterien seltener gewechselt werden. Somit sinkt der fixe Teil der laufenden Kosten, zudem kommt es zu geringfügigen Veränderungen der variablen laufenden Kosten (Tabelle 2.6.18).

Ein Szenario mit einer durchschnittlichen technologischen Entwicklung orientiert sich an den **mittleren Erwartungen der Fahrzeughersteller**. In diesem Szenario wird eine mittlere technologische Innovationsgeschwindigkeit der Elektroautos angesetzt. Die Zielwerte als

relative Veränderungen zum Status Quo und als daraus resultierende Mittelwerte sind in Tabelle 2.6.19 angegeben. Mit Ausnahme der Fahrzeugkategorie „Oberklasse“ sind ab 2016 Elektroautos in allen Fahrzeugkategorien verfügbar. In allen Kategorien steigen die Reichweiten der Elektroautos bis 2025, die Kaufpreise und laufenden Kosten sinken, ebenso die Umweltbelastung. Die Verbesserungen sind in den kleineren Fahrzeugkategorien höher angesetzt, da anzunehmen ist, dass Fahrzeuge der größeren Kategorien zunehmend mit energieintensiven Nebenaggregaten ausgestattet werden. Dieses Szenario wird auch als Grundlage für die Berechnung der Szenarien zur Wirkung des Treibstoffpreisanstieges und der Kaufprämie verwendet.

Tabelle 2.6.18: Relative Veränderung der Fahrzeugeigenschaften des Elektroautos bis 2025 in den Szenarien mit starker und schwacher technologischen Entwicklung

	Szenario „Starke technologische Entwicklung“			Szenario „Schwache technologische Entwicklung“		
	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse
Kategorieverfügbarkeit	Ja	Ab 2012	Ab 2014	Ja	Ab 2014	nein
Reichweite [km]	100 %	100 %	100 %	-	-	-
Kaufpreis [Euro]	- 40 %	- 40 %	- 40 %	- 14 %	- 14 %	-
Umweltbelastung [gr.CO ₂ /100km]	- 33 %	- 33 %	- 33 %	- 17 %	- 17 %	-
Ladedauer [h/100 km]	- 33 %	- 32 %	- 30 %	-	-	-
Motorleistung [PS]	25 %	25 %	22 %	13 %	13 %	-
Variable laufende Kosten [€/100 km]	- 20 %	- 18 %	- 16 %	- 14 %	- 13 %	-
Fixe laufende Kosten [€/100 km]	- 33 %	- 30 %	- 30 %	-	-	-

Tabelle 2.6.19: Relative Veränderung der Fahrzeugeigenschaften des Elektroautos bis 2025 im Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung

	Kleinwagen		Kompaktklasse		Mittelklasse	
	Faktor	Mw	Faktor	Mw	Faktor	Mw
Kategorieverfügbarkeit	Ja		Ab 2013		Ab 2016	
Reichweite [km]	50 %	215	50 %	223	50 %	231
Kaufpreis [Euro]	- 30 %	21.761	- 30 %	29.108	- 30 %	42.612
Umweltbelastung [gr. CO ₂ /100 km]	- 17 %	75	- 17 %	85	- 17 %	98
Ladedauer [h/100 km]	- 17 %	3,75	- 16 %	4,00	- 15 %	4,25
Motorleistung [PS]	13 %	70	13 %	88	11 %	114
Variable laufende Kosten [Euro/100 km]	- 14 %	3,46	- 13 %	4,04	- 10 %	5,19
Fixe laufende Kosten [Euro/100 km]	- 22 %	7,00	- 20 %	8,00	- 20 %	8,00

Im Szenario mit mittlerem technologischem Innovationstempo sind im Jahr 2025 bei knapp zwölf Prozent der verkauften Neuwagen Hybridautos und sechs Prozent Elektroautos

(Abbildung 2.6.16). Dabei ist zu berücksichtigen, dass keine Elektroautos der Oberklasse angeboten werden. In den verfügbaren Fahrzeugkategorien liegt der Marktanteil des Elektroautos im Jahr 2025 bei durchschnittlich 7 Prozent. Der Anteil der Elektroautos weist einen exponentiellen Zuwachs von geringem Niveau auf: Nach zehn Jahren liegt der Anteil an den Neuwagen bei knapp über zwei Prozent und verdoppelt sich nach weiteren vier Jahren. Deutlich dynamischer entwickelt sich der Markt für Hybridautos. Die Fahrzeuge mit alternativen Antrieben erreichen einen Marktanteil von unter einem Prozent der verkauften Neuwagen im Jahr 2010, von vier Prozent im Jahr 2015 und von 17 Prozent im Jahr 2025. Im Szenario mit mittlerer Technologieentwicklung wird für einen kurzfristigen Prognosehorizont nur eine geringe Marktdurchdringung der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben vorhergesagt, mit einer stärkeren Entwicklung der Fahrzeugtechnologie und der Nutzerkosten steigt der Marktanteil deutlich.

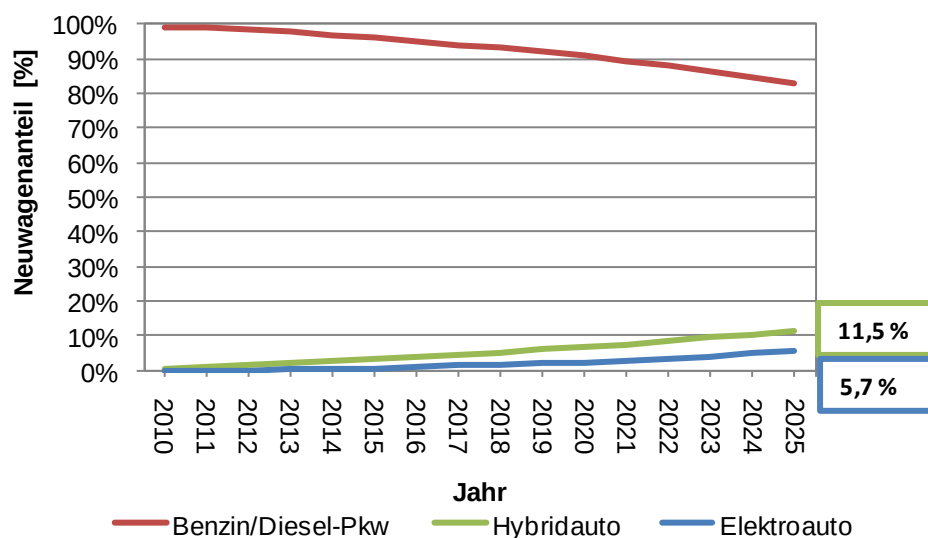


Abbildung 2.6.16: Neuwagenanteil unterschieden nach Antriebsart im Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung

Vergleicht man die Fahrzeugkategorien, in denen Elektroautos verkauft werden, zeigt sich insbesondere für die Mittelklassefahrzeuge nach ihrem Markteintritt eine dynamische Entwicklung. Der Marktanteil liegt in dieser Kategorie bei acht Prozent, in den beiden anderen Kategorien zwischen sechs und fast sieben Prozent (Abbildung 2.6.17).

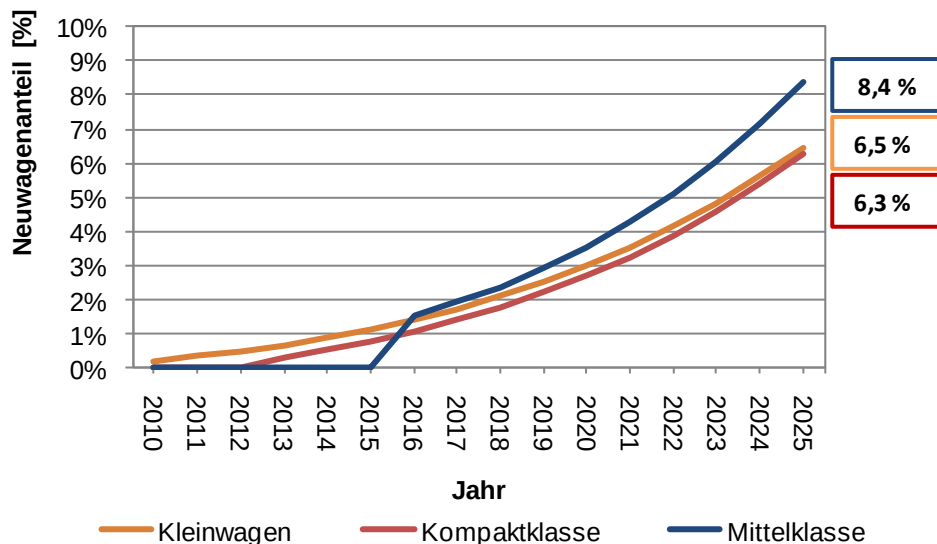


Abbildung 2.6.17: Kaufwahrscheinlichkeit der Fahrzeugkategorien von Elektroautos im Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung

Im Szenario mit starker technologischer Entwicklung nimmt der Anteil der Benzin-Diesel-Pkw an den verkauften Neuwagen ab. Er sinkt von 83 Prozent auf 77 Prozent im Jahr 2025. Der Anteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen steigt auf 13 Prozent (Abbildung 2.6.18). Für dieses Szenario liegt ihr Marktanteil über dem der Hybridautos von 10 Prozent. Verglichen mit dem im Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung ermittelten Marktanteilen lässt sich eine eindeutige Substitution der Benzin/Diesel-Pkws durch Fahrzeuge mit alternativen Antriebsarten belegen – es kommt nicht nur zu einer Verschiebung der Marktanteile zwischen Elektro- und Hybridautos. Im Szenario mit schwacher technologischer Entwicklung besetzen Elektroautos einen Nischenmarkt. Der Marktanteil an den verkauften Neuwagen liegt im Jahr 2025 bei einem Prozent (Abbildung 2.6.18). Die Hybridautos erreichen dagegen bedeutende Marktanteile und füllen zu einem gewissen Teil die durch das fehlende Angebot an Elektroautos entstandene Lücke aus. Ihr Marktanteil liegt mit fast 13 Prozent ein Prozentpunkt über dem im Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung berechneten Vergleichswert. Vergleicht man das Szenario mit starker und mittleren technologischer Entwicklung, so zeigt sich, dass ein Teil des Zuwachses des Marktanteils der Elektroautos zu Lasten des Marktanteils der Hybridautos geht. Die Differenz der Marktanteile zwischen beiden Szenarien liegt für Elektroautos bei sieben Prozentpunkten, für Hybridautos bei zwei Prozentpunkten.

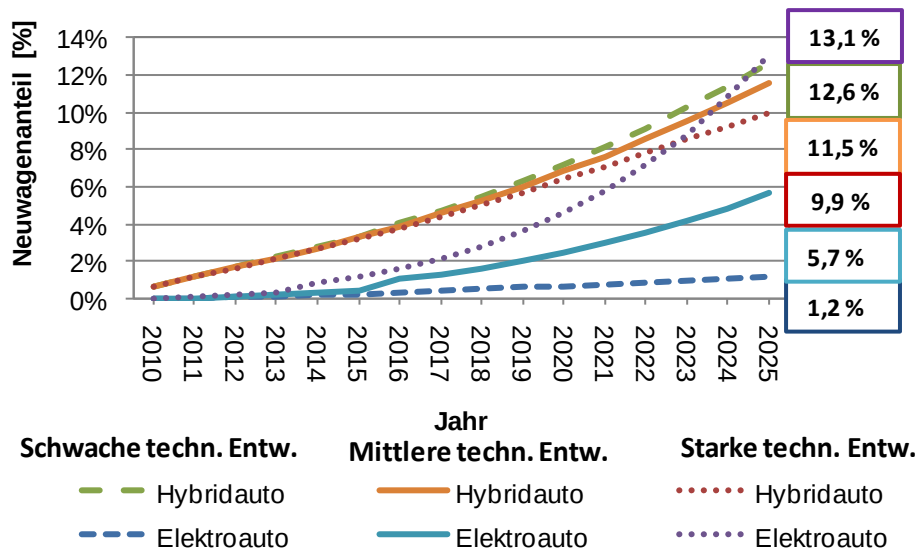


Abbildung 2.6.18: Kaufwahrscheinlichkeit der Fahrzeugkategorien von Elektro- und Hybridautos im Szenario mit schwacher, mittlerer und starker technologischer Entwicklung

2.6.4.3 Szenarien zur Abbildung einer Änderung des Treibstoffpreises

Einen wesentlichen Einfluss auf die Absatzzahlen eines Produkts haben die Opportunitätskosten. Als Opportunitätskosten wird der von anderen Produkten gestiftete Nutzen bezeichnet, der durch die Entscheidung für ein Produkt nicht wahrgenommen werden kann. Dies gilt auch für Elektroautos. Die Opportunitätskosten eines Elektroautos werden bei gegebenen technischen Eigenschaften der konkurrierenden Fahrzeuge im Wesentlichen durch die Kosten der Alternativen bedingt. Nahe liegende Möglichkeiten für eine Verringerung der Attraktivität von Benzin/Diesel-Pkws sind z.B. eine steuerliche Belastungen des Kaufs oder durch einen Anstieg der Preise fossiler Treibstoffe, sei es durch eine Treibhausgasabgabe oder durch Preiserhöhungen der Treibstoffproduzenten. Im Szenario mittlerer technologischer Entwicklung wird ein moderater inflationsbereinigter, das heißt realer Anstieg der Treibstoffpreise um 20 Eurocent/Liter von 1,30 auf 1,50 Euro/Liter im Jahr 2025 angenommen. Um die Wirkung unterschiedlicher Treibstoffpreisanstiege abzuschätzen, wird ein mittlerer Anstieg der Treibstoffpreise um 50 Prozent auf 1,95 Euro/Liter sowie ein starker Anstieg um 150 Prozent auf 3,25 Euro/Liter untersucht. Die elektrischen Energiekosten für das Elektroauto erhöhen sich um denselben relativen Faktor. Da allerdings das Ausgangsniveau niedriger ist, nimmt mit steigenden Treibstoffkosten die absolute Differenz in den laufenden Kosten zwischen den Alternativen zu. Die Treibstoffpreise wirken auf drei Arten in der Nutzenfunktion. Über die laufenden Kosten je Kilometer die jährlichen laufenden Kosten und die Lebensdauerkosten. In den Szenarien werden alle Kostenarten simultan berücksichtigt. Beide Szenarien setzen eine mittlere technologische Entwicklung voraus.

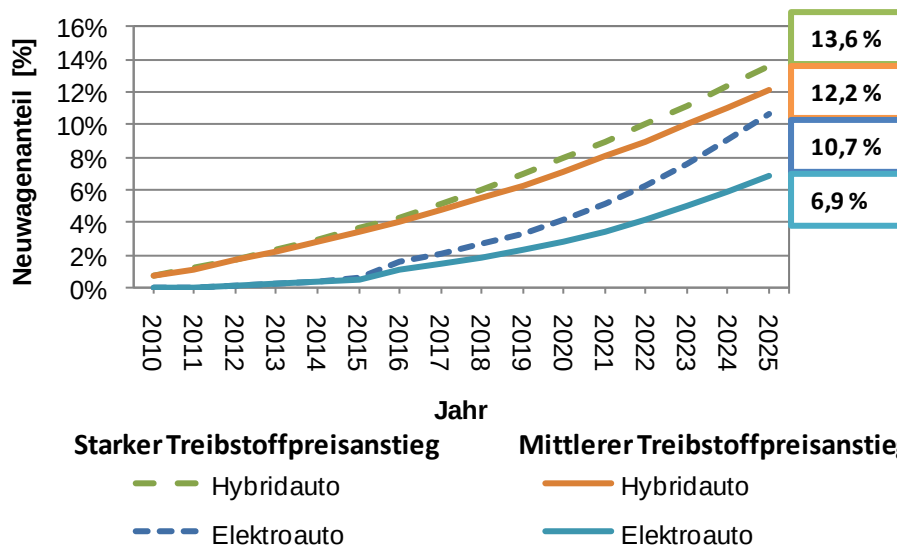


Abbildung 2.6.19: Vergleich der Neuwagenanteile für Szenarien mit mittlerem und starkem Treibstoffpreisanstieg auf Basis mittlerer technologischer Entwicklung

Der Treibstoffpreisanstieg bewirkt eine geringere Nachfrage nach Fahrzeugen mit herkömmlicher Antriebstechnologie und einen erhöhten Absatz von Elektro- und Hybridautos. Der Anteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen liegt bei einem starken Treibstoffpreisanstieg im Jahr 2025 bei 11 Prozent, bei einem mittleren Anstieg der Treibstoffpreise bei 7 Prozent. Verglichen mit dem Szenario mit einer mittleren technologischen Entwicklung ohne Anstieg des Treibstoffpreises liegt der Neuwagenanteil der Elektroautos bei einem mittleren Treibstoffpreisanstieg bis zum Jahre 2025 etwas mehr als einen Prozentpunkt höher und bei einem starken Treibstoffpreisanstieg etwa fünf Prozentpunkten höher. Hybridautos profitieren von einem Treibstoffpreisanstieg im geringeren Ausmaß (Abbildung 2.6.19). Gegenüber dem Szenario mit mittlerer technologischer Entwicklung können die Hersteller von Hybridautos bei einem starken Treibstoffpreisanstieg ihren Marktanteil um zwei Prozentpunkte steigern, bei mittlerem Treibstoffpreisanstieg um knapp einen Prozentpunkt. Der Anteil der Hybridautos an den verkauften Neuwagen steigt mit zunehmendem Treibstoffpreis langsamer als der der Elektroautos.

2.6.5 Szenarien zur Abbildung der Wirkungen von Fördermaßnahmen des Elektroautokaufs

Eine Möglichkeit zur Förderung der Marktdurchdringung mit Elektroautos sind staatliche Fördermaßnahmen. Mögliche Ansätze wie die Mitbenutzung von Busspuren durch Elektroautos, die Aufhebung von Beschränkungen in Kurzparkzonen oder Kaufprämien für den Kauf von Elektroautos wurden in der SEM-Befragung untersucht. Für diese Fördermaßnahmen konnte keine signifikante Wirkung auf die Neuwagenanteile nachgewiesen werden. Im Kaufnachfragemodell wurde deshalb nur der Effekt einer Kaufprämie untersucht, durch die der Kaufpreis für Elektroautos sinkt. Berechnungsbasis ist das Szenario mit einer mittleren technologischen Entwicklung. Untersucht wurden eine geringe und eine hohe Kaufprämie von 1.000 Euro bzw. 5.000 Euro pro Kauf eines Elektroautos. Bei der geringeren Kaufprämie

entspricht dies einem durchschnittlichen Preisnachlass von zwei Prozent des Kaufpreises im Jahr 2010 und von drei Prozent im Jahr 2025, bei der höheren Kaufprämie von zehn Prozent bzw. 15 Prozent. Der Anteil der Elektroautos an den verkauften Neuwagen liegt bei einer hohen Kaufprämie im Jahr 2025 bei acht Prozent, der der Hybridautos bei elf Prozent. Im Szenario zur geringen Kaufprämie liegt der Marktanteil der Elektroautos an allen verkauften Neuwagen bei sechs Prozent, der der Hybridautos bei über elf Prozent (Abbildung 19).

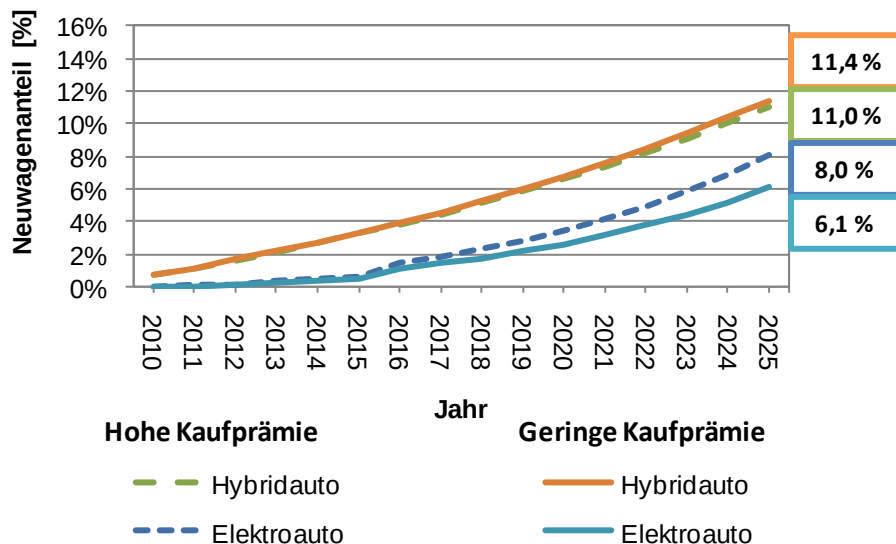


Abbildung 2.6.20: Neuwagenanteile mit Kaufprämien für Elektroautos auf Basis einer mittleren technologischen Entwicklung

Nach zehn Jahren des Betrachtungszeitraumes bewirkt die Kaufprämien­differenz von 4.000 Euro für beide Szenarien eine Erhöhung des Neuwagenkaufanteils der Elektroautos um knapp einen Prozentpunkt, nach 15 Jahren von zwei Prozentpunkten. Ein Teil der Erhöhung des Marktanteils der Elektroautos erfolgt zu Lasten des Marktanteils der Hybridautos. Die durchschnittliche Wirkung der untersuchten Kaufprämien liegt unter der des untersuchten Treibstoffpreisanstiegs der entsprechenden Kategorie (Abbildung 2.6.19). In ihrer Wirkung auf den Absatz der herkömmlichen Pkw vergleichbar sind die Szenarien mit einer Kaufprämie in Höhe von 5.000 Euro und einem mittleren Treibstoffpreisanstieg. Der Marktanteil der herkömmlichen Fahrzeuge sinkt auf 81 Prozent in beiden Szenarien – allerdings ist die Verteilung der verkauften Neuwagen auf die alternativen Antriebsarten unterschiedlich. Im Falle der Kaufprämie von 5.000 Euro ist der Anteil der Elektroautos um einen Prozentpunkt höher als bei einem mittleren Treibstoffpreisanstieg.

2.6.6 Schlussfolgerungen und Interpretation

Für den Kauf von Elektroautos sind insbesondere die Produkteigenschaften „Kaufpreis“ und „laufende Kosten“ relevant. Für die explizit genannte Reichweite konnte eine starke kaufbeeinflussende Wirkung nicht nachgewiesen werden, ebenso wenig für die Ladedauer. Das liegt daran, dass aus der Sicht des Nutzers mit dem Elektroauto die derzeit stark beschränkte Reichweite direkt mit dem Image des Elektroautos verbunden ist. Dies ist aus der Kon-

stante der Nutzenfunktion des Kaufnachfragemodells erkennbar. Das bedeutet, dass die Reichweite stärker über die Kategoriebezeichnung „Elektroauto“ als über die explizit angegebene Reichweite wirkt. In verschiedenen Szenarien wurde ein Anteil der Elektroautos an den verkauften Pkws im Jahre 2025 zwischen einem und 13 Prozent prognostiziert (Abbildung 2.6.21).

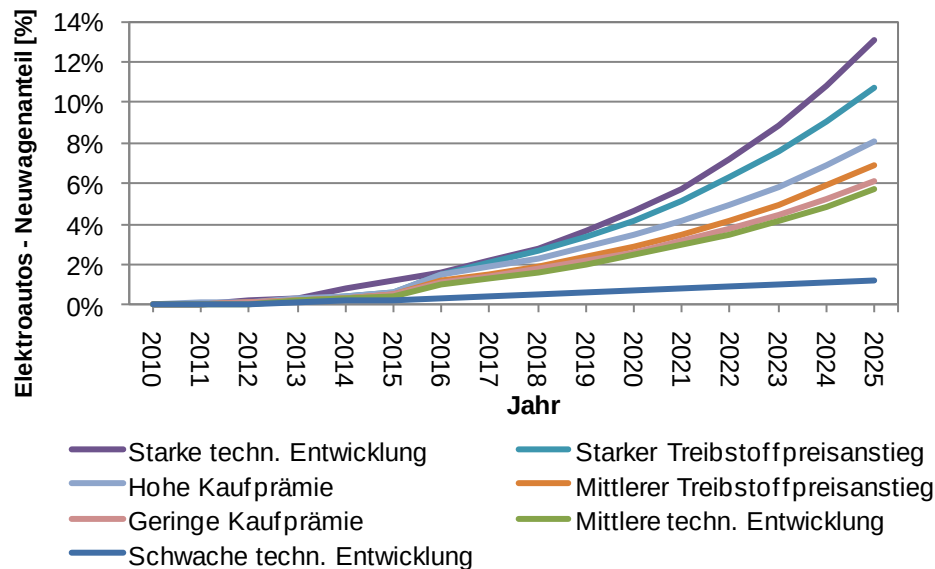


Abbildung 2.6.21: Neuwagenanteile für Elektroautos für die untersuchten Szenarien im Vergleich

Die stärkste Marktentwicklung der Elektroautos stellt sich mit einer starken Entwicklung der Fahrzeugtechnologie und einem deutlicher Senkung der Nutzerkosten ein. Ein Anstieg der Treibstoffpreise fördert den Absatz von Elektroautos, allerdings müssen die Treibstoffpreise deutlich steigen, um eine maßgebliche Wirkung zu entfalten. Bei einem Treibstoffpreis von 3,25 Euro/Liter wird für Elektroautos bei einer mittleren technologischen Entwicklung der höchste Anteil an den verkauften Neuwagen prognostiziert. Direkte Kaufprämien können den Absatz von Elektroautos unterstützen, sind aber für die Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebsarten relativ wenig geeignet.

Das Ziel einer möglichst starken Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien wird am besten mit einer Innovationsförderung im Bereich der Fahrzeugtechnologie, die letztendlich auch den Kaufpreis senkt und die Wettbewerbssituation der Elektroautos mit Autos der herkömmlichen Antriebstechnologie verbessert sowie die Beeinflussungen des Treibstoffpreises z.B. durch eine Treibhausgasabgabe oder Einbeziehung des Verkehrssektors in den Treibhausgasemissions-Zertifikathandel erreicht. Im Falle einer Kaufprämie in Höhe von 5.000 Euro für Elektroautos mit mittlerer technologischer Entwicklung liegt der Neuwagenanteil der Fahrzeuge mit alternativem Antrieb bei 19 Prozent, mit einem starken Treibstoffpreisanstieg bei 24 Prozent. Unter den Rahmenbedingungen einer mittleren technologischen Entwicklung liegt der Neuwagenanteil für Fahrzeuge mit alternativem Antrieb bei 18 Prozent. Reine Kaufförderungen für Elektroautos sind für das Erreichen dieses Ziels nicht sehr effizient.

Tabelle 2.6.20: Prognostizierte Anteile von Elektroauto Neuzulassungen im Jahr 2020

Studie	Neuwagen-anteil der E-Pkws	Region	Szenario/Szenariobedingung	Quelle
Elektra	> 1 %	AUT	Niedriger Ölpreis, Keine E-Pkw-Förderung	[14]
Shell	> 1 %	BRD	Trendszenario	[24]
Shell	3,3 %	BRD	Alternativszenario	[24]
Elektra	5 %	AUT	Hoher Ölpreis, Förderung der E-Pkws	[14]
Roland Berger	5 %	West-Europa	Szenario „Starke Entwicklung“	[64]
AEA-Studie	0,4 %	AUT	Basisszenario: Herstellungskosten E-Pkw sinken um 4,7 % p.a.	[63]
AEA-Studie	24,7 %	AUT	„Starker Anstieg der Treibstoffpreise“: wie Basissz., Treibstoffpreisanstieg: 5 % p.a.	[63]
AEA-Studie	13,3 %	AUT	„Maximale Förderung“: wie „Basisszenario“ zusätzlich Ladestellen-ausbau, Reichweiten- und Verbrauchsverbesserungen, E-Pkw-Kaufprämie (10 % des Kaufpreises)	[63]
AEA-Studie	10 %	AUT	„Keine monetären Maßnahmen“: wie „Max. Förderung“ ohne Kaufprämie	[63]
AEA-Studie	11,6 %	AUT	„Keine Verbesserung der Reichweite“: wie „Maximale Förderung“, aber keine Reichweitenverbesserung des E-Pkw	[63]

Für das Jahr 2020 werden Neuwagenanteile der Elektroautos unter einem Prozent (Szenario „Schwache technologische Entwicklung“) und knapp fünf Prozent (Szenario „Starke technologische Entwicklung“) prognostiziert. In Tabelle 2.6.20 sind Prognosen vergleichbarer Studien für 2020 angegeben. Die Bandbreite der Neuwagenanteile der Elektroautos liegt zwischen einem und knapp 25 Prozent.

In den verschiedenen Trendszenarien wird ein E-Pkw-Neuwagenanteil von über einem Prozent im Jahr 2020 prognostiziert. Das stimmt mit dem SEM-Szenario zur schwachen technologischen Entwicklung überein, in dem ein Anteil in gleicher Höhe berechnet wird. In einigen Szenarien wird ein E-Pkw-Neuwagenanteil von drei bis fünf Prozent vorausgesagt. Dies stimmt größenordnungsmäßig mit den SEM-Ergebnissen in Höhe von 2,5 bis 4,6 Prozent für die verschiedenen Maßnahmenszenarien überein. Es ist zu beachten, dass die SEM-Szenariobedingungen, für die höhere, darüber liegende Neuwagenanteile der Elektroautos ermittelt werden, vergleichsweise durch die Vorgaben zur Modellverfügbarkeit, die Entwicklung der technischen Fahrzeugeigenschaften und der Nutzerkosten im SEM-Szenario zur „starken technologischen Entwicklung“ sehr ambitioniert angesetzt sind. Dies gilt auch für die Treibstoffpreisentwicklung im Szenario „Starker Treibstoffpreisanstieg“. Die SEM-Ergebnisse können daher eher als sehr reale Schätzungen interpretiert werden. Dies ist auch den ver-

wendeten situationsbedingten Erhebungs- und Kaufmodellansatz bedingt, der eine sehr realistische Schätzung durch die NutzerInnen sicherstellt.

Deutlich höhere Marktanteile werden in der Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“ ermittelt [63]. In den Szenarien schwankt der Anteil der Elektroautos an den Neuwagen je nach Annahme zu den Treibstoffpreisen, der monetären Förderung, der Modellverfügbarkeit und technologischen Entwicklungen zwischen zehn und 24,7 Prozent. Diese Anteile liegen weit höher als die korrespondierenden Ergebnisse des SEM-Kaufnachfragemodells – obwohl die Annahmen zur technologischen Entwicklung und der Modellvielfalt in der Pre-Feasibility-Studie deutlich schlechter sind. Bei schlechteren Fahrzeugeigenschaften und Rahmenbedingungen wird ein höherer Marktanteil der Elektroautos vorhergesagt.

Dies wird auch beim Vergleich einzelner Szenarien deutlich. Die Wirkung eines starken Treibstoffpreisanstieges wird in der Pre-Feasibility-Studie – wobei die verwendete Szenarioannahme in der Größenordnung eher dem SEM-Szenario zum mittleren Treibstoffpreisanstieg entspricht – um den Faktor acht höher geschätzt, die des Szenarios „Keine monetären Maßnahmen“, das von der Konzeption und den verwendeten Werten am ehesten mit dem SEM-Szenario „mittlere technologische Entwicklung“ vergleichbar ist, um den Faktor fünf. Eine der Ursachen für diese hohe Schätzung dürfte daran liegen, dass in den meisten Schätzmodellen durchschnittliche tägliche Fahrtweiten als Basis für die Reichweitenabdeckung verwendet werden, während Verhaltensuntersuchungen zeigen, dass der Autobesitzer seine maßgebliche über die Besitzdauer zu erwartende tägliche Fahrtweite heranzieht. Das führt zu deutlichen Überschätzungen, die unrealistisch sind.

Für das Jahr 2025 sind nur wenige Prognosen verfügbar. Eine Ausnahme stellt die „Shell“-Studie dar. Im Trendszenario wird der Elektroautoanteil an den Neuwagen auf ein Prozent, im Alternativszenario auf sechs Prozent geschätzt [69]. Diese Ergebnisse liegen im mittleren Bereich der Ergebnisse der SEM-Szenarien. In einer Studie von Berger Consultants wird für das Jahr 2025 ein Marktanteil reiner Elektroautos an den verkauften Neuwagen in Westeuropa von 12 Prozent vorausgesagt, inklusive der Elektroautos mit Range-Extender von 26 Prozent [68]. Da die genauen Szenarienbedingungen nicht angegeben sind, fällt der Vergleich mit den SEM-Ergebnissen schwer. Es gilt aber, dass ein Marktanteil von zwölf Prozent nur unter sehr optimistischen Annahmen zur technologischen Entwicklung erreicht wird, die aus heutiger Sicht noch nicht erkennbar sind und von der Autoindustrie auch nicht geteilt werden.

Ein wesentliche Erkenntnis dieser Nachfragestudie liegt darin, dass die erwünschten Anteile der Elektroautos an Neuwagen nur durch eine deutliche Verbesserung der Technologie im Sinne einer deutlichen Senkung der Kaufpreise und /oder einem signifikanten Anstieg der Treibstoffpreise erreicht werden kann. Letzteres kann auch durch z.B. eine Treibhausgasabgabe-Abgabe auf den Treibstoffpreis erreicht werden. Kaufprämien durch die öffentliche

Hand in einer Größenordnung von bis zu € 5.000,- pro Elektroauto haben nicht den erwünschten Effekt und stellen eher eine Vergeudung öffentlicher Mittel dar (siehe auch AP7).

2.7 Ganzheitliche Systembetrachtung und Handlungsempfehlungen (AP7)

2.7.1 Zukünftige Aufgaben der elektrischen Energieversorgung

Wie die Berechnungen und Ausführungen in Kapitel 2.3 zeigen, ist der Leistungs- und Energiebedarf der Elektromobilität zu unterscheiden.

- Der energetische Ladebedarf eines Elektrofahrzeugs ist im Bereich von 1500 bis 2500 kWh⁴³ zu erwarten. Mit dem Jahresenergiebedarf eines Haushalts verglichen, liegt dies bei bis zu 57 % des Energiebedarfs eines durchschnittlichen österreichischen Haushalts. Stellt man den Ladebedarf von 100.000 Elektrofahrzeugen dem gesamtösterreichischen Strombedarf gegenüber, würde der Ladebedarf in Summe nur 0,4 % betragen.
- Leistungsbezogen sind für einzelne Fahrzeuge die Maximalleistungen der Ladegeräte zu erwarten. Derzeit üblich sind Anschlussleistungen von bis zu 3,7 kW. Eine resultierende Leistung von einem Fahrzeugkollektiv hängt von der Gleichzeitigkeit und somit der Kollektivgröße und -beschaffenheit ab. Bei beispielsweise 200 Elektrofahrzeugen in einem Siedlungsbereich ist nur noch mit dem 0,28-fachen Anteil der Maximalleistung (207 kW) von insgesamt 740 kW im Spitzenfall zu rechnen. Für 100.000 E-Autos für ganz Österreich wäre im Spitzenfall eine Leistung von 66,6 MW für ungesteuertes Laden erforderlich.

Erzeugungskapazität:

Zur Deckung des Ladebedarfs durch erneuerbare Energien, beispielsweise durch Photovoltaik, sei erwähnt, dass in der Jahressumme (auf einzelne Fahrzeuge bezogen) durchschnittlich 1,75 kW_p pro Fahrzeug energetisch ausreicht und somit eine übliche Größe erreicht, welche von privaten NutzerInnen durchaus installiert werden könnte.

Trifft man die Annahme, dass beispielsweise 100.000 Elektro-Pkw im Jahr 2020 in Österreich verfügbar sein sollten⁴⁴, die aus Photovoltaik den Ladebedarf decken, so sind 175 MW_p erforderlich. Im Jahr 2010 sind (kumuliert betrachtet) in ganz Österreich 95,5 MW_p installiert. [59]

Dies bedeutet, dass bis zum Jahr 2020 nahezu eine Verdoppelung der installierten Photovoltaik-Leistung stattfinden müsste, um dann die gesamte Erzeugung daraus für die nachhaltige Bereitstellung der Ladeenergie zu nutzen.

Unter der Annahme, dass derzeit die installierten PV-Anlagen anderen Zwecken nutzen und für die Elektrofahrzeuge neue PV-Erzeugungskapazitäten zu errichten sind, so wäre die ganze Kapazität von 175 MW_p als Zubau erforderlich, was einem PV-Zuwachs von über 180 % entspricht.

Legt man als dritte Variante zugrunde, dass die Hälfte der neu installierten PV-Erzeugungsanlagen für das Laden von E-Fahrzeugen genutzt wird, sind Anlagen in Summe von

⁴³ Diese Werte berechnen sich aufgrund der gemittelten Verbräuche im Beobachtungszeitraum der Langzeiterhebung skaliert auf ein ganzes Jahr.

⁴⁴ Dies entspricht etwa 2,4 % der Pkw in Österreich.

350 MW_p zu errichten, um energetisch 100 % E-Mobilitätsdeckung zu erzielen. Abbildung 2.7.1 verdeutlicht die drei beschriebenen Varianten. Je nach Szenario sind jährliche Wachstumsraten von 6,5 %; 11 % sowie 16,7 % unterstellt.

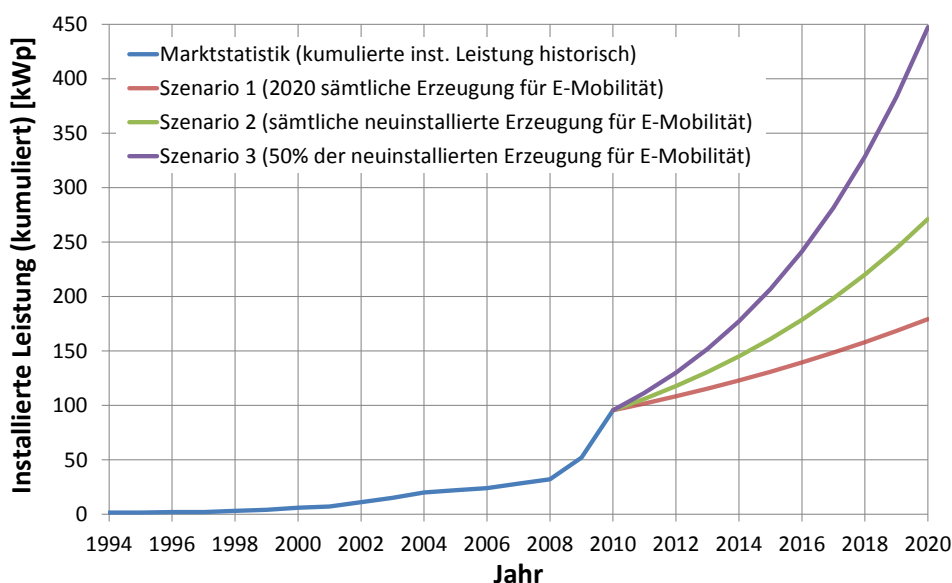


Abbildung 2.7.1: Photovoltaik-Ausbau historisch und erforderliche Szenarien für eine Nutzung durch Elektromobilität

Verbrauchs- und Netzbetrachtung:

Um Aussagen für den lokalen Niederspannungsnetzbereich treffen zu können, werden für eine beispielhafte Abschätzung einer Siedlung einige Annahmen getroffen:

- Siedlung mit 200 Haushalten (vereinfacht ohne andere Verbrauchsgruppen)
- Motorisierungsgrad von 526 Fahrzeuge /1000 Einwohner
- 2,31 Personen/Haushalt
- Marktdurchdringung Elektrofahrzeuge von 80 %
- Ladeinfrastrukturausbau „nur Zuhause“
- Nichtfahreranteil von 20 %
- Installierte PV-Erzeugung zur energetischen Bilanzierung über ein Kalenderjahr

Die verteilte Betrachtung des Netzes, der Leitungen und einzelnen Phasen wurde im Projekt SEM nicht behandelt. Es sei dafür auf weiterführende Projekte (V2G-STRATEGIES⁴⁵, ZE-NEM⁴⁶) verwiesen.

Die Punktbetrachtung am Knoten einer Netzanbindung zeigt hingegen für die Energieversorgung interessante Ergebnisse hinsichtlich Betriebsmittelauslastung (beispielsweise des Transformators) auf. Im Siedlungsansatz werden zwei mögliche Fälle mit unterschiedlicher PV-Einstrahlung behandelt, die real auftreten können. Bei gleich bleibend angenommenem konventionellen Verbrauch und ergänztem Ladebedarf sowie entsprechend dimensio-

⁴⁵ V2G-Strategies, Neue Energien 2020, 3. Ausschreibung, FFG-Projektnr. 825417

⁴⁶ Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität, Neue Energien 2020, 4. Ausschreibung, FFG-Projektnr. 829953

nierter PV-Erzeugung, kann u.a. saisonal bedingt die PV-Erzeugung stark schwanken⁴⁷, wie in Abbildung 2.7.2 dargestellt.

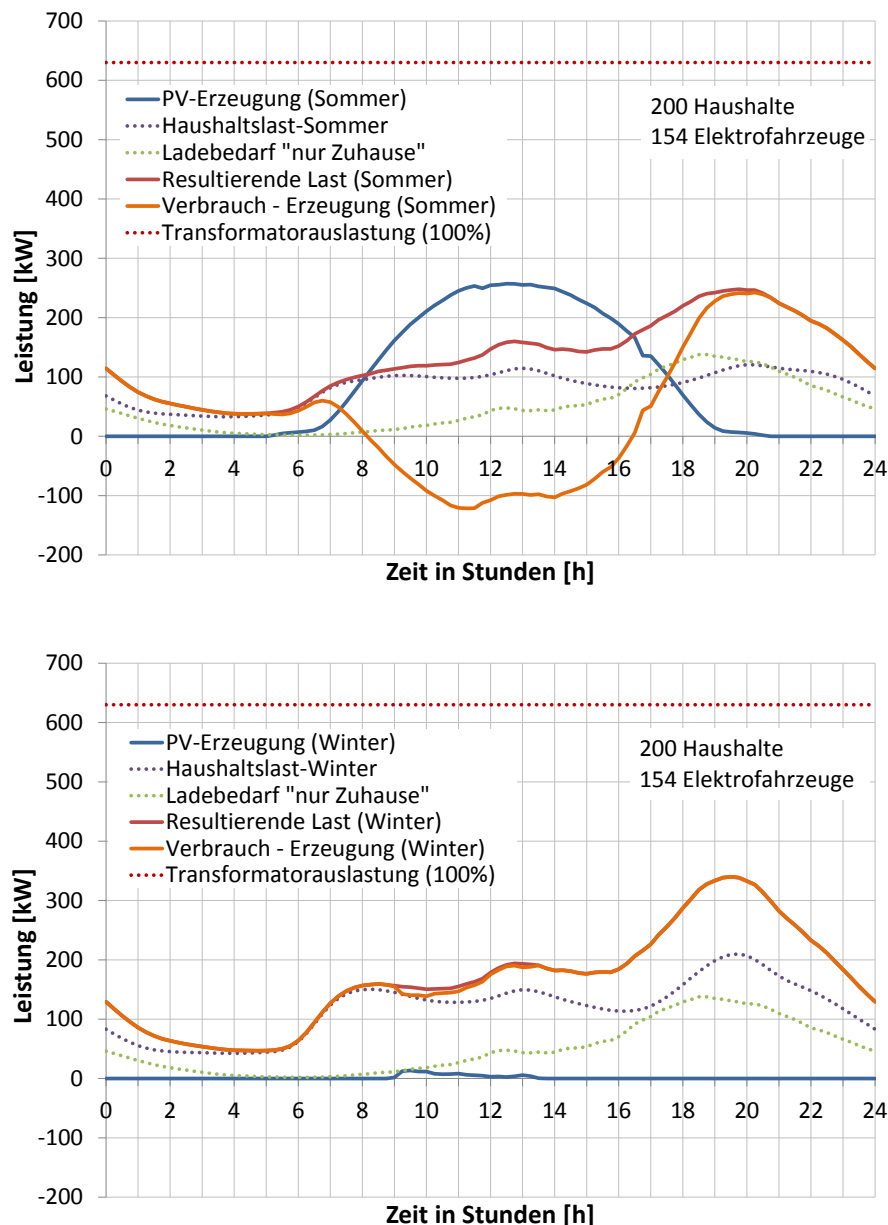


Abbildung 2.7.2: Erzeugungs- und Verbrauchssituation von PV und Elektrofahrzeugen, Links: Situation Sommer, Rechts: Situation Winter (beispielhaft)

Es ist erkennbar, dass die energetisch auf den Ladebedarf abgestimmte PV-Erzeugung zu bestimmten Zeiten den Verbrauchswert übersteigt, sodass für diese Momente in Summe gesehen eine Einspeisung in das elektrische Netz resultiert. Für diese Situationen, bei denen sich der Leistungsfluss umkehrt, sind auch die entsprechenden Schutz- und Steuermaßnahmen vorzusehen. Dieser Fall wird im Jahresverlauf des Öfteren bei guter Sonnenein-

⁴⁷ Kurzzeitige Schwankungen treten noch gehäuft auf, werden aber hier nicht angesprochen.

strahlung auftreten. Es ist nicht ausgeschlossen, dass derartige Situationen auch im Winter anzutreffen sind.

Die direkte Nutzung von Photovoltaik zur Ladung von E-Fahrzeugen kann einen großen energetischen Anteil übernehmen, die Verbrauchsspitze lässt sich alleine durch PV-Nutzung jedoch nur geringfügig reduzieren. Eine Kopplung mit einer Ladestrategie (z.B. kein oder reduziertes Laden in den Abendstunden von 17 bis 22 Uhr) kann eine signifikante Absenkung der Leistungsspitze bringen.

Je nach Dimensionierung des Ortsnetztransformators und der einbezogenen Lasten wird durch das Ladeprofil der Elektromobilität die Reserve zur maximal möglichen Komponentenbelastung reduziert (Abbildung 2.7.2, rechts). Ist nicht mehr ausreichend Reserve zur Maximalbelastung des Betriebsmittels vorhanden, wird dieses überlastet. Es muss überprüft werden, wie lange und wie häufig dieser Fall eintritt. Als Abhilfe wird entweder eine Verbrauchsänderung (z.B. gesteuertes Laden der BEV) erforderlich oder die überlastete Komponente ist durch eine größere zu ersetzen. Für die Analyse der einzelnen Betriebsmittel ist hierbei die verteilte Betrachtung von konkreten Netzen sinnvoll und wiederum auf Folgeprojekte verweisen.

2.7.2 Gesamtwirtschaftliche Bewertung

Die ganzheitliche Systembetrachtung verknüpft Ergebnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen und zeigt an Hand von definierten Bewertungsszenarien⁴⁸ der Elektromobilität für unterschiedliche Entwicklung der Technologie, des Treibstoffpreises und von Anreizmaßnahmen den gesamtwirtschaftlichen Nutzen auf. Methodisch wird das Verfahren der gesamtwirtschaftlichen Nutzen-Kosten- und der Kostenwirkungsanalyse herangezogen, das die Wirkungskomponenten der Investitionskosten, der Fahrzeugbetriebskosten, der Umweltkosten inklusive der Klimakosten beinhaltet. Der gesamtwirtschaftliche Nutzen der untersuchten Bewertungsszenarien wird aus der monetär dargestellten Nutzen-Kostendifferenz der definierten Bewertungsszenarien mit dem zugehörigen Referenzszenario ermittelt. Das Bewertungsergebnis beinhaltet für alle Bewertungsszenarien auch die gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit für die eingesparte Menge der Treibhausgase und den monetär ausgedrückten spezifischen Nutzen je zurückgelegten Kilometer mit einem Elektroauto. Die Interpretation dieser Ergebnisse ermöglicht die Beurteilung der Zweckmäßigkeit der in den Bewertungsszenarien beinhalteten Maßnahmen und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für einen gesamtwirtschaftlich effizienten Einsatz der Elektromobilität für den motorisierten Individualverkehr und den Vergleich der Effizienz der Treibhausgaseinsparung mit Maßnahmen der Elektromobilität.

Es ist zu beachten, dass die quantitativen Ergebnisse dieser gesamtwirtschaftlichen Bewertung unter der Voraussetzung gelten, dass sich auf Grund der definierten Szenarienbedin-

⁴⁸ Um eine klare Unterscheidung zwischen den Szenarien des Kaufnachfragemodells und den Szenarien der Bewertung sicherzustellen, werden in diesem Abschnitt die untersuchten Szenarien als „Bewertungsszenarien“ bezeichnet.

gungen bei den heute vorhandenen Eigenschaften der Hybrid- und herkömmlichen Autos mit fossilem Treibstoff in der Betrachtungsperiode nichts ändert. Das entspricht sicher nicht der Realität. Allerdings behalten die Verhältnisse der Ergebnisse zueinander für die untersuchten Szenarien ihre Gültigkeit. Das heißt, dass die dargestellten Ergebnisse der gesamtwirtschaftlichen Bewertung auf Grund tendenziell höhere Neuwagenanteile der Elektroautos am Markt Maximalwerte repräsentieren und damit die Bewertungsergebnisse in der Realität durch die fortschreitende Technologie der Alternativangebote von Elektroautos am Automarkt mit hoher Wahrscheinlichkeit niedriger liegen werden.

2.7.2.1 Bewertungsverfahren

Einleitung

Das auf Grundlage der Nutzerbefragung ermittelte Kaufnachfragemodell ermöglicht die Abschätzung des Kaufs von Elektroautos sowie des Marktanteils von Elektroautos an Neuzulassungen in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen, wie der Nutzerbedürfnisse in Bezug auf Reichweite, Kaufpreis, Treibstoffkosten, der Fahrzeugeigenschaften in Abhängigkeit der Technologieentwicklung und sozio-demografischer Kennwerte usw. (Kaufnachfragemodell, siehe AP6) [83]. Daraus werden Bewertungsszenarien abgeleitet und durch die Variation der Eingangsvariablen (z. B. Fahrzeugeigenschaften, Kostenvariablen) sowie durch Definition der Rahmenbedingungen (z. B. Entwicklung der Treibstoffpreise) definiert. Die Ergebnisse des Kaufnachfragemodells fließen in Form von Nachfragekennwerten in das gesamtwirtschaftliche Bewertungsverfahren von Elektromobilitätsmaßnahmen und Einflussfaktoren im Verkehrssektor ein [67]. Mit Hilfe dieses Bewertungsverfahrens werden

- die gesamtwirtschaftlichen Kosten für die Ladeinfrastruktur von Elektroautos (Investition und Betrieb),
- die gesamtwirtschaftlichen Fahrzeugbetriebskosten und
- die gesamtwirtschaftlichen Schadstoff- und Klimakosten,
- die gesamtwirtschaftliche Nutzen-Kostendifferenz,
- die Kostenwirksamkeit einer Treibhausgasreduktion über die Einführung der Elektromobilität (Nutzen-Kostendifferenz/t CO₂ Reduktion) und
- die gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit je zurückgelegtem Kilometer mit dem Elektroauto (Nutzen-Kostendifferenz / zurückgelegtem km mit dem Elektroauto)

von Elektromobilitätsmaßnahmen und anderer Einflussfaktoren abgeschätzt und bewertet (Abbildung 2.7.3).

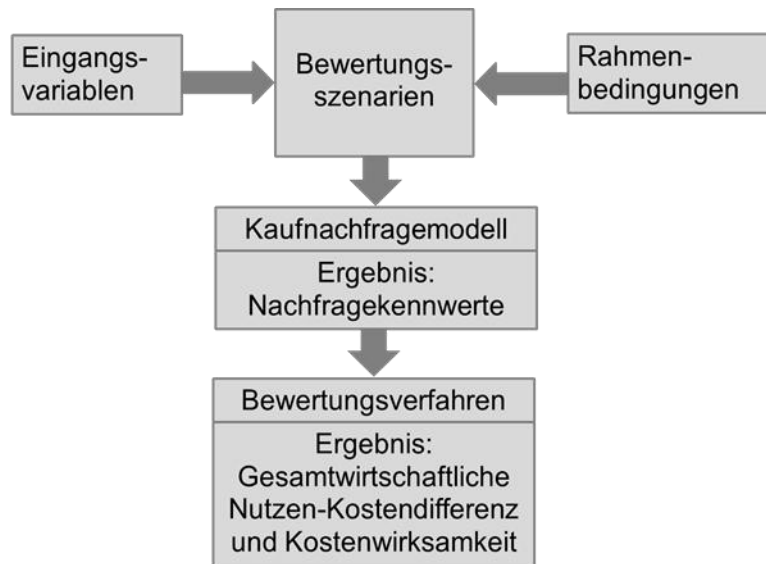


Abbildung 2.7.3: Schema der Vorgangsweise für die Szenarienbewertung

Systemabgrenzung

Die mit dem Bewertungsverfahren untersuchten Bewertungsszenarien beziehen sich auf das Untersuchungsgebiet der Ostregion mit Wien, Niederösterreich und Burgenland. Inhaltlich wird die Verkehrsnachfrage des Pkw-LenkerInnen-Verkehrs eines Jahres, der sich in dieser Region bewegt, gemessen als Jahresfahrleistung, behandelt. Der Betrachtungszeitraum beginnt mit Jänner 2010 und ist mit einer Dauer von 16 Jahren bis Ende 2025 festgelegt. Die Berechnung der Nutzen-Kostenanalyse erfolgt in Jahresschritten.

Bewertungsmethode

Die Bewertung der Elektromobilitätsmaßnahmen erfolgt über die Ermittlung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens aus den Nutzen- und Kostenkomponenten gemäß RVS 02.01.22 [93]. Die Bewertungsszenarien beinhalten eine unterschiedlich rasche Entwicklung der Technologie von Elektroautos, des Treibstoffpreises und von Anreizmaßnahmen für Elektromobilität über den Betrachtungszeitraum 2010 bis 2025. Die Nutzen- und Kostenkomponenten setzen sich aus

- den Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur von Elektroautos inklusive den Finanzierungskosten und den im Betrachtungszeitraum notwendigen Re-Investitionen sowie den Betriebs- und Unterhaltskosten der Infrastruktur,
- den Fahrzeugbetriebskosten (einschließlich Energiekosten),
- den Schadstoffkosten und
- den Klimakosten

zusammen. Die Reisezeit-, Unfall- und Lärmkosten bleiben unberücksichtigt, weil sie sich entsprechend den vorliegenden Erkenntnissen für benzin- und dieselgetriebene Pkw und Elektroautos nicht wesentlich unterscheiden. In die Fahrzeugbetriebskosten sind sämtliche fahrzeugbezogene Kosten für Kauf, Betrieb, Unterhalt und Energie berücksichtigt. Der Umweltnutzen wird für alle relevanten Umweltauswirkungen berechnet, die im Betrachtungszeit-

raum erwartet werden. Alle Kosten und monetär ausgedrückten Nutzen werden für den Betrachtungszeitraum diskontiert.

2.7.2.2 Bewertungsszenarien

Die Bewertungsszenarien werden nach vier Gruppen unterschieden und sind durch die Variation der Ausprägungen von Fahrzeugeigenschaften, Kostenkomponenten und Anreizmaßnahmen sowie durch eine unterschiedliche Entwicklung der Treibstoffpreise definiert:

- (1.) Technologische Entwicklung der Elektroautos (ET)**
- (2.) Kaufprämie bei Anschaffung eines Elektroautos (KP)**
- (3.) Treibstoffpreisanstieg über Produktionskosten (TP)**
- (4.) Treibstoffpreisanstieg über Abgaben z.B. CO₂-Abgabe (TA)**

Die Bewertungsszenarien jeder Gruppe werden jeweils in drei Ausprägungen untersucht:

- Technologische Entwicklung der Elektroautos (ET):
 - (1.0) Status quo 2010 (**ET0**)
 - (1.1) mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (**ET1**)
 - (1.2) starke technologische Entwicklung der Elektroautos (**ET2**)
- Kaufprämie bei Anschaffung eines Elektroautos (KP):
 - (2.0) keine Kaufprämie (**KP0**)
 - (2.1) niedrige Kaufprämie mit ET1 (**KP1**)
 - (2.2) hohe Kaufprämie mit ET1 (**KP2**)
- Treibstoffpreisanstieg über Produktpreis (TP):
 - (3.0.1) Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung Produktionskosten (**TP0.1**)
 - (3.1) moderate Treibstoffpreissteigerung über den Produktpreis mit ET1 (**TP1**)
 - (3.0.2) Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung Produktionskosten (**TP0.2**)
 - (3.2) starke Treibstoffpreissteigerung über den Produktpreis mit ET1 (**TP2**)
- Treibstoffpreisanstieg über Abgaben z.B. CO₂-Abgabe (TA)
 - (4.0.1) Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung Abgaben (**TA0.1**)
 - (4.1) moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit ET1 (**TA1**)
 - (4.0.2) Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung Abgaben (**TA0.2**)
 - (4.2) starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit ET1 (**TA2**)

Tabelle 2.7.1: Übersicht der Bewertungsszenarien mit ihren Annahmen bezüglich Technologie, Kaufprämie und Treibstoffpreis

Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklungen der Technologie, des Treibstoffpreises und von Anreizmaßnahmen für Elektromobilität	Getroffene Annahmen											
	technologische Entwicklung der Elektroautos			Kaufprämien (Abschlag auf den Kaufpreis)			Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis			Treibstoffpreissteigerung über Abgaben		
	Status quo	mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	starke techn. Entwicklung der Elektroautos	keine Kaufprämie	niedrige Kaufprämie	hohe Kaufprämie	reale Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis	moderate Treibstoffpreissteigerung	starke Treibstoffpreissteigerung	reale Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung												
identisch	ET0	X		X			X					
	ET1		X	X			X					
	ET2		X	X			X					
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien												
identisch	KP0	X		X			X					
	KP1		X		X		X					
	KP2		X			X	X					
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen - Erhöhung über den Produktpreis												
	TP0.1	X		X				X				
	TP1		X	X				X				
	TP0.2	X		X					X			
	TP2		X	X					X			
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen - Erhöhung über Abgaben ¹⁾												
	TA0.1	X		X							X	
	TA1		X	X							X	
	TA0.2	X		X								X
	TA2		X	X								X

1) Die CO₂ Abgabe wird als Differenz der Treibstoffpreissteigerung der Bewertungsszenarien TA1 und TA2 zum Referenzszenario TA0.1 und TA0.2 mit einer realen Treibstoffpreissteigerung über den Produktpreis von 100% für das Jahr 2010 und 116% für das Jahr 2025 angesetzt.

Die Bewertungsszenarien unter der Annahme einer mittleren technologischen Entwicklung der Elektroautos, das sind die Szenarien ET1, KP1, KP2 (Kaufprämien), TP1, TP2, TA1 und TA2 (Treibstoffpreissteigerung), basieren hinsichtlich der technologischen Entwicklung der Elektroautos auf Annahmen bzw. Vorstellungen der Autohersteller Magna (Internationales KULI User Meeting 2011, 29. Juni bis 1. Juli 2011 in Steyr) und Ford (3. Wissenschaftsforum Mobilität, Fraunhofer-inHaus-Zentrum Duisburg, 7. Juli 2011) aus. Die einzelnen Eigenschaften der Elektroautos für diese Szenarien sind in AP6 detailliert mit ihren Ausprägungen beschrieben. Tabelle 2.7.1 zeigt die Bewertungsszenarien mit ihren Annahmen bezüglich Technologie, Kaufprämie und Treibstoffpreis.

Bewertungsszenarien ET zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung

Die Bewertungsszenarien ET betrachten den motorisierten Individualverkehr (benzin- und dieselbetriebene Pkw und Elektroautos) im Betrachtungszeitraum für eine technologische Entwicklung der Elektroautos in Bezug auf die Reichweite und die Batterieladedauer. Es werden drei Ausprägungen untersucht.

Szenario ET0: Fortschreibung des Ist-Zustandes: Die Fortschreibung des Ist-Zustandes geht davon aus, dass Elektroautos der Kompaktklasse ab dem Jahr 2014 auf dem Markt verfügbar sind. Elektroautos in höheren Fahrzeugkategorien kommen bis 2025 nicht auf den Markt. Die Reichweite der Elektroautos erfährt im Betrachtungszeitraum keine Veränderung. Der Kaufpreis für Elektroautos sinkt linear im Betrachtungszeitraum von 100 % im Jahr 2010 auf 86 % im Jahr 2025. Die Treibstoffpreise für benzin- und dieselbetriebene Pkw steigen real von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 (Tabelle 2.7.2).

Tabelle 2.7.2: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario ET0: Fortschreibung des Ist-Zustandes

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014		
Reichweite Elektroauto	150 km	150 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	86 %
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Szenario ET1: mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie): Die Annahmen für eine mittlere technologische Entwicklung basieren auf den Angaben der Autohersteller Magna und Ford. Gemäß den Angaben der Fahrzeugindustrie wird der Anteil an Neuzulassungen im Jahr 2025 mit 10 bis 25 % für teilweise oder voll elektrisch betriebene Autos am Gesamtmarkt prognostiziert. Der Anteil an reinen Elektroautos wird bei den Prognosen der Fahrzeugindustrie mit einem Drittel angegeben. Für das Bewertungsszenario ET1 wird von einer Marktverfügbarkeit der Kompaktklasse ab dem Jahr 2013 und der Mittelklasse ab dem Jahr 2016 ausgegangen. Die Reichweite der Elektroautos erhöht sich im Betrachtungszeitraum um 50 % und der Kaufpreis für Elektroautos sinkt linear im Betrachtungszeitraum von 100 % für das Jahr 2010 auf 70 % im Jahr 2025. Die Treibstoffpreise für benzin- und dieselbetriebene Pkw steigen real von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 (Tabelle 2.7.3).

Tabelle 2.7.3: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario ET1: mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Szenario ET2: starke technologische Entwicklung der Elektroautos: Die starke technologische Entwicklung von Elektroautos geht von einer früheren Marktverfügbarkeit der größeren Fahrzeugkategorien bei Elektroautos aus. Elektroautos der Kompaktklasse sind ab dem Jahr 2012 und Elektroautos der Mittelklasse ab dem Jahr 2014 auf dem Markt erhältlich. Die Reichweite der Elektroautos verdoppelt sich im Betrachtungszeitraum und der Kaufpreis für Elektroautos sinkt linear im Betrachtungszeitraum von 100 % für das Jahr 2010 auf 60 % im Jahr 2025. Die Treibstoffpreise für benzin- und dieselbetriebene Pkw steigen real von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 (Tabelle 2.7.4).

Tabelle 2.7.4: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario ET2: starke technologische Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2012		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2014		
Reichweite Elektroauto	150 km	300 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	60 %
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Bewertungsszenarien KP zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien

Die Bewertungsszenarien KP betrachten den motorisierten Individualverkehr (benzin- und dieselgetriebene Pkw und Elektroautos) im Betrachtungszeitraum mit einer Förderung der Elektromobilität durch staatliche Anreizmaßnahmen. Die Fördermaßnahmen für Elektromobilität werden als Abschlag auf den Kaufpreis, also als Kaufprämie bei der Anschaffung eines Elektroautos monetarisiert. Für die technologische Entwicklung der Elektroautos wird beim Bewertungsszenarien KP0 die Fortschreibung des Ist-Zustandes, bei den Bewertungsszenarien KP1 und KP2 die Annahmen der Fahrzeugindustrie (mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos) herangezogen. Da bei einem gesamtwirtschaftlichen Bewertungsverfahren Steuern und Abgaben als Transferleistungen bei der Kosten- und Nutzenermittlung nicht in Rechnung gestellt werden, wird die Kaufprämie nur bei der Kaufnachfrage bzw. bei der Nut-

zen-Kostenbilanz aus Nutzersicht schlagend (Abschnitt 2.7.2.4 Kostenbilanz der Elektromobilität aus Nutzersicht). Es werden drei Ausprägungen untersucht.

Szenario KP0: keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes: Das Bewertungsszenario ohne Kaufprämie entspricht dem Bewertungsszenario ET0 und stellt eine Fortschreibung des Ist-Zustandes dar (Tabelle 2.7.5).

Szenario KP1: niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Das Bewertungsszenario mit niedriger Kaufprämie entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung dem Bewertungsszenario ET1 mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos. Als Anreizmaßnahme für Elektromobilität wird eine Kaufprämie von € 1.000,- bei Anschaffung eines Elektroautos angesetzt. Dieser Betrag bleibt über den Betrachtungszeitraum real gleich (Tabelle 2.7.6).

Szenario KP2: hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Das Bewertungsszenario mit hoher Kaufprämie entspricht in der technologischen Entwicklung dem Bewertungsszenario ET1 mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos. Als Anreizmaßnahme für Elektromobilität wird eine Kaufprämie von € 5.000,- bei Anschaffung eines Elektroautos für den gesamten Betrachtungszeitraum angesetzt (Tabelle 2.7.7).

Tabelle 2.7.5: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario KP0 = ET0: Fortschreibung des Ist-Zustandes

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014		
Reichweite Elektroauto	150 km	150 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselbetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	86 %
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Tabelle 2.7.6: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario KP1: niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Kaufprämie (real)	€ 1.000,-	€ 1.000,-
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Tabelle 2.7.7: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario KP2: hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Kaufprämie (real)	€ 5.000,-	€ 5.000,-
Treibstoffpreis (reale Preise, Basispreis 2010; Indexangabe)	100 %	116 %

Bewertungsszenarien TP zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen - Erhöhung über den Produktpreis

Die Bewertungsszenarien TP betrachten den motorisierten Individualverkehr (benzin- und dieselbetriebene Pkw und Elektroautos) unter realer Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung, wobei die Preissteigerung über den Produktionspreis begründet ist. Die Bewertungsszenarien TP unterliegen der Annahme, dass nicht nur der Treibstoffpreis für Benzin und Diesel steigt, sondern in gleicher Relation auch der Energiepreis für Strom. Für die technologische Entwicklung der Elektroautos wird beim Bewertungsszenario TP0 die Fortschreibung des Ist-Zustandes, bei den Bewertungsszenarien TP1 und TP2 die Annahmen der Fahrzeugindustrie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos herangezogen. Bei den Bewertungsszenarien TP wird die begründete Annahme berücksichtigt, dass sich das Mobilitätsverhalten im motorisierten Individualverkehr für benzin- und dieselbetriebene Pkw bei Treibstoffpreissteigerungen über dem inflationsbedingten Treibstoffpreisanstieg verändert. Dies wird mit Hilfe der Treibstoffpreiselastizität gegenüber der Fahrleistung von benzin- und dieselbetriebenen Pkw modelliert. Es wird eine Treibstoffpreiselastizität von $\epsilon = -0,13$ angesetzt [5]. Die negative Elastizität von $-0,13$ bedeutet, dass bei einem Preisanstieg von 10 % die Fahrleistung um 1,3 % sinkt.

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta x}{x}} \quad \text{mit}$$

- ϵ Elastizität = $-0,13$
- Δy Veränderung der Nachfrage (Fahrleistung)
- y Pkw-Fahrleistung vor Treibstoffpreissteigerung
- Δx Veränderung des Treibstoffpreises
- x Ausgangsbasis des Treibstoffpreises

Es werden drei Ausprägungen des Treibstoffpreises untersucht.

Szenario TP0 - Referenz-Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten: Das Referenz-Bewertungsszenario Bestandspreis entspricht in der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und dem Kaufpreis von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET0, also der Fortschreibung des Ist-Zustandes. Um die Effekte der Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung als Einflussfaktor, der nicht unmittelbar mit der Elektromobilität zusammenhängt, für die Elektromobilität herauszuarbeiten, wird im Referenzbewertungsszenario TP0 für TP1 eine moderate, für TP2 eine starke Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung berücksichtigt. Es wird die Veränderung des Mobilitätsverhaltens im motorisierten Individualverkehr auf Grund der Treibstoffpreissteigerung bei allen Szenarien berücksichtigt, sodass die Differenz des Ergebnisses der Bewertungsszenarien TP1 und TP2 gegenüber TP0 den Einfluss der Elektromobilität unter den Rahmenbedingungen der Treibstoffpreissteigerungen repräsentieren (Tabelle 2.7.8).

Tabelle 2.7.8: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TP0: Referenz-Treibstoffpreissteigerung durch Produktionskosten für TP1 und TP2

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014		
Reichweite Elektroauto	150 km	150 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	86 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten ; Indexangabe)	100 %	TP0.1: 150 % TP0.2: 250 %

Szenario TP1: moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Dieses Bewertungsszenario entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und der Entwicklung des Kaufpreises von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET1. Als Einflussfaktor auf den motorisierten Verkehr wird von einer Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung von indexmäßig 100 % für das Jahr 2010 auf 150 % im Jahr 2025 ausgegangen, wobei die Preissteigerung eine Folge der Produktionskosten ist. Es wird die Veränderung des Mobilitätsverhaltens im motorisierten Individualverkehr auf Grund der Treibstoffpreissteigerungen berücksichtigt (Tabelle 2.7.9).

Tabelle 2.7.9: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TP1: moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten ; Indexangabe)	100 %	150 %

Szenario TP2 - starke Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Das Bewertungsszenario mit starker Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung auf Grund der Produktionskosten entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und der Entwicklung des Kaufpreises von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET1 mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos. Als Einflussfaktor auf den motorisierten Verkehr wird von einer Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung von indexmäßig 100 % für das Jahr 2010 auf 250 % im Jahr 2025 ausgegangen, wobei die Preissteigerung eine Folge der Produktkosten ist. Es wird die Veränderung des Mobilitätsverhaltens im motorisierten Individualverkehr auf Grund der Treibstoffpreissteigerung berücksichtigt (Tabelle 2.7.10).

Tabelle 2.7.10: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TP2: starke Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten ; Indexangabe)	100 %	250 %

Bewertungsszenarien TA zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen - Erhöhung über Abgaben

Die Bewertungsszenarien TA betrachten den motorisierten Individualverkehr (benzin- und dieselbetriebene Pkw und Elektroautos) im Betrachtungszeitraum bei Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung über der inflationsbedingten Preissteigerung, wobei die Preissteigerung über Abgaben für die Emission von Treibhausgasen (CO₂-Abgabe) für Treibstoffe und über Energiepreisabgaben für das Laden der Elektroautos begründet ist. Die Bewertungsszenarien TA unterliegen der Annahme, dass nicht nur der Treibstoffpreis für Benzin und Diesel über Abgaben steigt, sondern in gleicher Relation auch der Energiepreis für Strom. Für die technologische Entwicklung der Elektroautos wird beim Bewertungsszenario TA0 die Fortschreibung des Ist-Zustandes, bei den Bewertungsszenarien TA1 und TA2 die Annahmen der Fahrzeugindustrie (mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos) herangezogen. Bei den Bewertungsszenarien TA wird die Veränderung des Mobilitätsverhaltens im motorisierten Individualverkehr bei Treibstoffpreissteigerungen über dem inflationsbedingten Treibstoffpreisanstieg berücksichtigt [5]. Es werden drei Ausprägungen untersucht.

Szenario TA0 - Referenz-Treibstoffpreissteigerung und CO₂-Abgabe: Dieses Referenz-Bewertungsszenario entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und dem Kaufpreis von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET0 mit der Fortschreibung des Ist-Zustandes. Um die Effekte der Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung als Einflussfaktor, der nicht unmittelbar Elektromobilität betrifft, auf die Elektromobilität herauszuarbeiten, wird im Referenz-Bewertungsszenario TA0 die Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung berücksichtigt. Da bei einem gesamtwirtschaftlichen Bewertungsverfahren Steuern und Abgaben als Transferleistungen bei der Kosten- und Nutzenermittlung nicht in Rechnung gestellt werden, wird die Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung durch eine CO₂-Abgabe allerdings in der Veränderung des Mobilitätsverhaltens des motorisierten Individualverkehrs sichtbar. Deshalb gibt es zwei Referenz-Bewertungsszenarien: TA01 für die moderate Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung und TA02 für die starke mit jeweils unterschiedlichen Auswirkungen auf die Fahrleistung. Gleichzeitig wird ein Anteil der Treibstoffpreissteigerung indexmäßig von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 durch eine Produktionskostensteigerung berücksichtigt (Tabelle 2.7.11).

Szenario TA1 - moderate Treibstoffpreissteigerung über CO₂-Abgabe mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Das Bewertungsszenario mit moderater Treibstoffpreissteigerung über eine CO₂-Abgabe entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und der Entwicklung des Kaufpreises von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET1 mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos. Als Einflussfaktor auf den motorisierten Verkehr wird von einer Treibstoffpreis- und Energiepreissteigerung indexmäßig von 100 % für das Jahr 2010 auf 150 % im Jahr 2025 ausgegangen. Gleichzeitig wird eine Preissteigerung auf Grund der Produktionskostenstei-

gerung indexmäßig von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 angenommen (Tabelle 2.7.12).

Szenario TA2: starke Treibstoffpreissteigerung über CO₂-Abgabe mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos: Dieses entspricht bezüglich der technologischen Entwicklung, der Reichweite der Elektroautos und der Entwicklung des Kaufpreises von Elektroautos dem Bewertungsszenario ET1 mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos. Als Einflussfaktor auf den motorisierten Verkehr wird von einer Treibstoff- und Energiepreissteigerung indexmäßig von 100 % für das Jahr 2010 auf 250 % im Jahr 2025 ausgegangen. Gleichzeitig wird eine Preissteigerung auf Grund von Produktionskostensteigerung indexmäßig von 100 % für das Jahr 2010 auf 116 % im Jahr 2025 ausgegangen (Tabelle 2.7.13).

Tabelle 2.7.11: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TA0: Referenz-Treibstoffpreissteigerung mit CO₂-Abgabe

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014		
Reichweite Elektroauto	150 km	150 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	86 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten und CO₂-Abgabe , Indexangabe)	100 %	TA0.1: 150 % TA0.2: 250 %

Tabelle 2.7.12: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TA1: moderate Treibstoffpreissteigerung über CO₂-Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten und CO₂-Abgabe , Indexangabe)	100 %	150 %

Tabelle 2.7.13: Definition der Ausprägungen im Bewertungsszenario TA2: starke Treibstoffpreissteigerung über CO₂-Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektro-autos

	2010	2025
Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013		
Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016		
Reichweite Elektroauto	150 km	225 km
Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100 %	70 %
Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten und CO₂-Abgabe , Indexangabe)	100 %	250 %

Referenzszenarien

Mit Hilfe der Referenzszenarien wird ein Vergleich der verschiedenen Bewertungsszenarien ermöglicht. Das heißt, dass von den Wirkungen der einzelnen Bewertungsszenarien die Wirkungen der jeweils zugehörigen Referenzszenarien abgezogen werden, sodass unter den definierten Rahmenbedingungen der Bewertungsszenarien jeweils die Wirkung der speziell auf die Elektromobilität bezogenen Bewertungsannahmen in Form der beiden technologischen Szenarien ET1 und ET2 sowie zusätzlich der Kaufprämie für Elektroautos KP1 und KP2 identifiziert werden kann. Die Referenzszenarien für die vier Gruppen der Bewertungsszenarien gehen davon aus, dass sich bis zum Jahr 2025 in Bezug auf die Reichweite von Elektroautos und die verfügbaren Modelle (überwiegend Kleinwagen) keine Veränderungen gegenüber dem heutigen Angebot ergeben. Für die Bewertungsszenarien ET1 und ET2 bildet ET0, die Fortschreibung des Ist-Zustandes, für die Bewertungsszenarien KP1 und KP2 KP0 ohne Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes das jeweilige Referenzszenario. Das Referenzszenario KP0 ist daher mit dem Referenzszenario ET0 identisch. Für die Bewertungsszenarien zur Treibstoffpreissteigerung gelten TP0.1 und TP0.2 sowie TA0.1 und TA0.2 als Referenzszenarien, wobei jedes Referenzszenario die Veränderung des Mobilitätsverhaltens für den benzin- und dieselbetriebenen Pkw-Verkehr als Folge einer Treibstoffpreissteigerung durch Produktkosten und durch eine CO₂-Abgabe mit moderater und starker Treibstoffpreissteigerung berücksichtigt.

Nationaler Einführungsplan Elektromobilität NEE

Am 15. März 2010 präsentierte das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) das von drei Bundesministerien erarbeitete Strategiepapier „Nationaler Einführungsplan Elektromobilität“ [28]. Darin ist die Zielsetzung definiert, im Jahre 2020 einen Anteil von 130.000 bis 150.000 Elektroautos am österreichischen Pkw-Bestand vorweisen zu können. Unter der Annahme einer linearen Trendentwicklung für das Betrachtungsjahr 2025 hochgerechnet bedeutet diese Zielsetzung einen Elektroautoanteil am Pkw-Bestand von 4,0 % im Untersuchungsgebiet Ostregion mit rund 86.200 Elektroautos.

Da keine näheren Angaben zu den Annahmen hinter der Zielerreichung, insbesondere hinsichtlich der dazu notwendigen technologischen Entwicklung des Elektroautos und des Kaufpreisniveaus definiert sind, konnte die mögliche Zielerreichung nicht mit Hilfe des entwickelten Bewertungsverfahrens und Nachfragemodells für das Kaufverhalten von Elektroautos überprüft werden. Jedoch ist ein Vergleich mit den Bewertungsszenarien möglich.

2.7.2.3 Eingangsdaten für das Bewertungsverfahren

Anhang 6.1 listet die verwendeten Eingangsdaten für das Bewertungsverfahren mit den zugehörigen Quellenangaben auf. Die folgenden mit Hilfe des Kaufnachfragemodells ermittelten Eingangsdaten

- der jährlichen Fahrleistung von benzin-, dieselbetriebenen Pkw und Elektroautos,
- der Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur von Elektroautos,
- der Fahrzeugbetriebskosten von benzin- und dieselbetriebenen Pkw und Elektroautos,
- der Neuzulassungen und
- der Marktdurchdringung von Elektroautos,

die sich auf das Untersuchungsgebiet beziehen, verändern sich im Laufe des Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2025 und sind variabel. Einen Gesamtüberblick über die Eingangsdaten für das Bewertungsverfahren sowie die detaillierten Eingangsdaten der Elektromobilität sowie der sonstigen Rahmenbedingungen sind im Anhang 6.2 für jedes Bewertungs- und Referenzszenario aufgelistet.

Fahrleistung

Eine wesentliche Eingangsgröße für das Bewertungsverfahren ist die im Untersuchungsgebiet erbrachte Pkw-Fahrleistung im Betrachtungszeitraum, die sich auf die Fahrzeugbetriebs- und Emissionskosten etc. auswirkt. Die Annahme über die Größenordnung der jährlichen Pkw-Fahrleistung im Untersuchungsgebiet basieren auf der Untersuchung zur Verkehrsentwicklung im Rahmen des Projektes S1 Wiener Außenring Schnellstraße [84] sowie auf der Verkehrsprognose Österreich 2025+ [76]. Es wird von einer Zunahme der Pkw-Fahrleistung im Untersuchungsgebiet von 64.000 Mio. Pkw-km/Tag im Jahr 2005 auf 85.000 Mio. Pkw-km/Tag im Jahr 2025 ausgegangen [84].

Die Ermittlung der Jahresfahrleistung der Elektroautos im Untersuchungsgebiet für den Betrachtungszeitraum und die untersuchten Bewertungsszenarien erfolgt auf folgende Weise: Die Gesamtjahresfahrleistung aller Pkw wird aus der vorhin zitierten Verkehrsuntersuchung übernommen. Mit dem entwickelten Kaufnachfragemodell wird der Marktanteil der Elektroautos am jährlichen Neukauf ermittelt (siehe AP6). Über Aufsummierung des von Jahr zu Jahr zunehmenden Neukaufanteils wird der Bestand an Elektroautos über den Betrachtungszeitraum errechnet. Die Marktdurchdringung der Elektroautos zu Beginn des Betrachtungszeitraumes entspricht dem Bestand des Jahres 2010. Zu diesem Zeitpunkt beträgt der Anteil an Elektroautos am gesamten Pkw-Bestand der Ostregion 0,007 % [71]. Für das Ende des Betrachtungszeitraumes verändert sich der modellierte Bestand an Elektroautos je nach Bewer-

tungsszenario. Die durch die Elektroautos abgedeckte Jahresfahrleistung hängt einerseits vom jeweiligen Bestand ab, andererseits von der für das betrachtete Jahr und der dem entsprechenden Bewertungsszenario zu Grunde gelegten Reichweite der am Markt befindlichen Elektroautos ab. Es besteht die begründete Annahme, dass die real im Alltag mögliche Reichweite der Elektroautos nicht an die nominelle Reichweite herankommt, weil letztere nur unter idealen Bedingungen, wie Durchschnittstemperaturen ohne Benutzung der Heizung oder Klimaanlage und bei ebenem Gelände, gilt. Deshalb wurde die Annahme getroffen, dass sich die real erreichbare Reichweite von Elektroautos durch einen Faktor kleiner als 1,0 von der nominellen Reichweite unterscheidet (Tabelle 2.7.14). Der Abminderungsfaktor ist abhängig von der technologischen Entwicklung der Elektroautos sowie vom Bezugsjahr: mit zunehmender technologischer Entwicklung nähert sich der Abminderungsfaktor dem Wert 1,0, d.h. dass die Kluft aus realer und nomineller Reichweite kleiner wird.

Mit Hilfe einer vorhandenen Schweizer Langzeiterhebung [3] und der daraus abgeleiteten Tagesfahrtweitenverteilung wurde die durch Elektroautos zu substituierende Jahresfahrleistung abgeschätzt. Dies erfolgte derart, dass anhand des Vergleichs der Häufigkeitsverteilung der maßgebenden Tagesfahrleistung mit der realen Reichweite von Elektroautos ein Rückschluss über die Jahresfahrleistung erfolgte ([1], [67], siehe AP1). Das Ergebnis der durch Elektroautos abdeckbaren Jahresfahrleistung im Untersuchungsgebiet ist in Tabelle 2.7.14 dokumentiert. Zum Vergleich sind auch die hochgerechneten Angaben für die Jahresfahrleistung unter den Zielvorgaben des „Nationalen Einführungsplans Elektromobilität“ aufgenommen. Aus der Tabelle 2.7.14 zeigt sich deutlich, dass das Ziel der österreichischen Bundesregierung für 2020 bei dem relativ unwahrscheinlich eintreffenden Bewertungsszenario einer starken technologischen Entwicklung bis 2023 erreichbar scheint sowie bei einer starken Steigerung des realen Treibstoffpreises um etwa +150 % und unter Annahme einer mittleren technologischen Entwicklung erst bis 2025. Alle anderen Bewertungsszenarien liegen weit unter den definierten Zielsetzungen bis 2020; auch eine Kaufprämie trägt wenig zur Zielerreichung bei.

Es ist festzuhalten, dass bei der Ermittlung der Jahresfahrleistung der Elektroautos eine infolge Elektromobilität induzierte Verkehrsleistung oder von anderen Verkehrsmitteln verlagerte Fahrten nicht berücksichtigt sind. Unter induziertem Verkehr sind zusätzliche Fahrten mit dem Elektroauto, die vorher nicht gemacht wurden und z.B. aus Spaß, mit dem Elektroauto unterwegs zu sein, zu verstehen. Verlagerungen von anderen Verkehrsmitteln, z.B. zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem öffentlichen Verkehr zurückgelegte Wege, auf Elektroautos können dadurch entstehen, dass z.B. eine einzelne Elektroautofahrt verhältnismäßig kostengünstig ist.

Tabelle 2.7.14: Abminderungsfaktor zur Umrechnung von der nominellen zur realen Reichweite von Elektroautos sowie von Elektroautos im Jahr 2025 abdeckbare Jahresfahrleistung im Untersuchungsgebiet für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien

		Abminderungsfaktor nomineller zu realer Reichweite der Elektroautos		Jahresfahrleistung der Elektroautos im Untersuchungsgebiet 2025	
		2010	2025		
		[% der nominellen Fahrleistung]		[Mio. Pkw-km/Jahr]	
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung					
ET0	Fortschreibung des Ist-Zustandes		79%	79%	148,3
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)			86%	594,8
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos			88%	1.244,2
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien					
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes		79%	79%	148,3
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos			86%	636,3
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos			86%	840,5
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung durch Produktionskosten und CO ₂ -Abgabe)					
TP0.1 TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung		79%	79%	148,3
TP1 TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos			86%	703,5
TP0.2 TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung			79%	148,3
TP2 TA2	starke Treibstoffpreissteigerung mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos			86%	1.041,5
Nationaler Einführungsplan Elektromobilität NEE					
Ziel 2020: 140.000 Elektroautos in Österreich					1.073,8

Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur von Elektroautos

Für die Abschätzung der Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur von Elektroautos inklusive einer Re-Investition während des Betrachtungszeitraumes sowie den Betriebs- und Unterhaltskosten der Infrastruktur inklusive Energiekosten im Betrachtungszeitraum wird ein Betrag in der Höhe von **€ 2.000,- pro Elektroauto** angesetzt [82], wobei wegen der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung keine Mehrwertsteuer enthalten ist, da diese eine

Transferleistung darstellt. Für **benzin- und dieselbetriebene Autos** fallen keine Investitionskosten an.

Fahrzeugbetriebskosten

Die gesamtwirtschaftlichen Fahrzeugbetriebskosten ergeben sich sowohl für benzin- und dieselbetriebene Pkw als auch für Elektroautos aus dem abgeschriebenen **Kaufpreis**, den **Energiekosten**, den **variablen und fixen Unterhaltskosten**, wie Versicherung und Reparaturkosten. Sie werden im Bewertungsverfahren ohne Steuern und Abgaben unter Berücksichtigung der zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Fahrzeugverfügbarkeit, also der am Markt angebotenen Produktpalette angesetzt. Für benzin- und dieselbetriebene Pkw stehen von Beginn des Betrachtungszeitraumes an Fahrzeuge in allen Fahrzeugkategorien zur Verfügung (Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Oberklasse und Sonderklasse). Die Fahrzeugbetriebskosten für benzin- und dieselbetriebene Pkw [80] sind in Abbildung 2.7.4 über den Betrachtungszeitraum laufend dokumentiert. Sie steigen unterschiedlich an, was durch die in den einzelnen Szenarien unterschiedliche Steigerung der Treibstoffpreise bedingt ist.

Für Elektroautos wird zu Beginn des Betrachtungszeitraumes (dem Ist-Stand 2010 entsprechend) nur eine Marktverfügbarkeit von Kleinwagen angesetzt. Es ist darauf hinzuweisen, dass Kleinwagen im Vergleich zu Fahrzeugen höherer Kategorie relativ geringere Fahrzeugbetriebskosten aufweisen. Je nach Bewertungsszenario kommen im Betrachtungszeitraum auch Elektroautos höherer Fahrzeugkategorien auf den Markt. Bei den Berechnungen der Fahrzeugbetriebskosten für Elektroautos gehen folglich anfänglich nur die Fahrzeugbetriebskosten für Kleinwagen ein, nach und nach - je nach Bewertungsszenario - die Fahrzeugbetriebskosten der auf den Markt hinzukommenden Fahrzeugkategorien, was sich in einer un stetigen Steigerung der Fahrzeugbetriebskosten für Elektroautos niederschlägt. Die Unstetigkeitsstellen im Funktionsverlauf repräsentieren den Markteintritt höherer Fahrzeugkategorien von Elektroautos am Automarkt (Abbildung 2.7.5). Je nach Bewertungsszenario schwankt die Fahrzeugverfügbarkeit der Elektroautos und in der Folge die Fahrzeugbetriebskosten. Im Mittel über den Betrachtungszeitraum liegen die Fahrzeugbetriebskosten gewichtet über die jährliche Fahrleistung für benzin- und dieselbetriebene Pkw zwischen 0,29 €/km und 0,35 €/km, für Elektroautos zwischen 0,29 €/km und 0,32 €/km (Tabelle 2.7.15).

Tabelle 2.7.15: Gewichteter Mittelwert der entfernungsbezogenen Fahrzeugbetriebskosten über den Betrachtungszeitraum für benzin- und dieselbetriebene Pkw und Elektroautos für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien, ohne Steuern und Abgaben

		Fahrzeugbetriebskosten	
		[€/km]	
		für benzin- und dieselbetriebene Pkw	für Elektroauto
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung			
ET0	Fortschreibung des Ist-Zustandes	0,2949	0,3054
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)		0,3121
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos		0,2933
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien			
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	0,2949	0,3054
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		0,3121
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten)			
TP0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten, moderate Steigerung	0,3093	0,3147
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		
TP0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Produktionskosten, starke Steigerung	0,3461	0,3206
TP2	starke Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben)			
TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Abgaben, moderate Steigerung	0,2949	0,3054
TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		
TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung über Abgaben, starke Steigerung		
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		

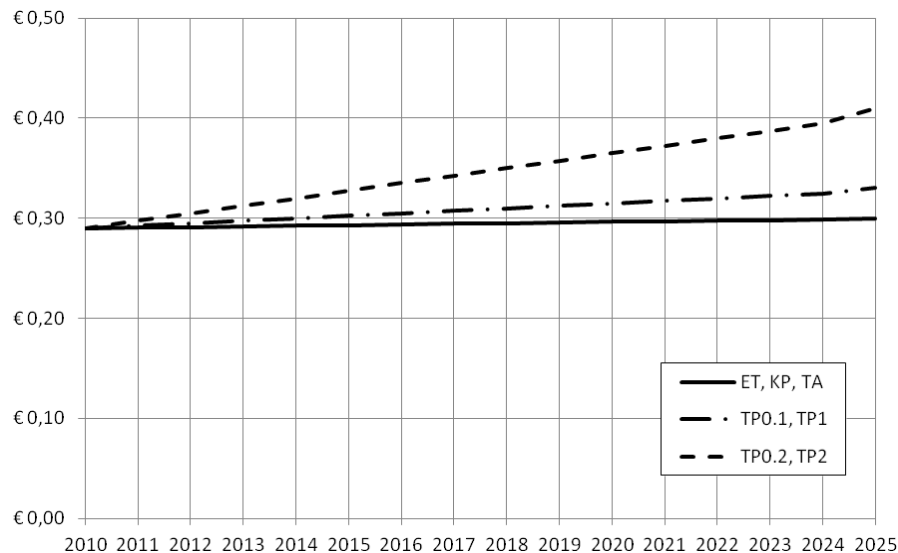


Abbildung 2.7.4: Fahrzeugbetriebskosten der benzin- und dieselbetriebenen Pkw über den Betrachtungszeitraum (2010 - 2025) für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien, ohne Steuern und Abgaben

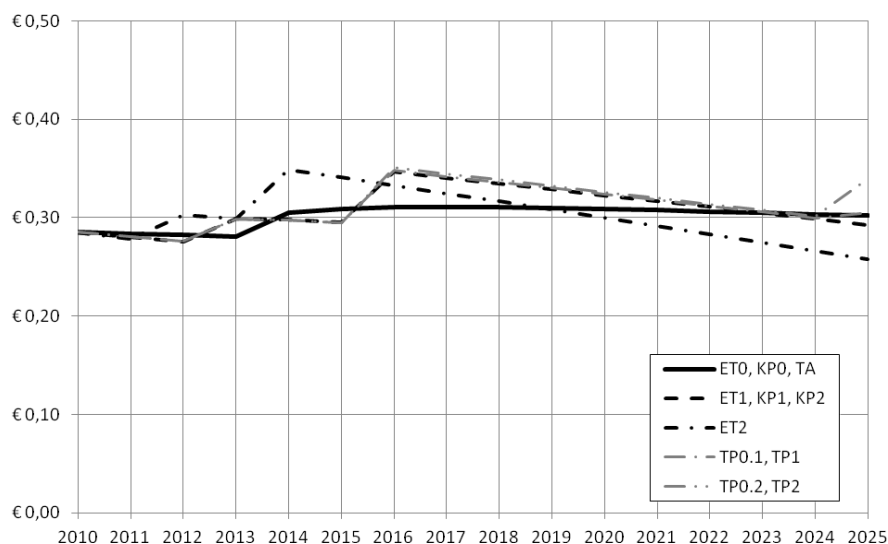


Abbildung 2.7.5: Fahrzeugbetriebskosten der Elektroautos über den Betrachtungszeitraum (2010 - 2025) für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien, ohne Steuern und Abgaben

Neuzulassungen von und Durchdringung des Pkw-Bestandes mit Elektroautos

Die Neuzulassungsrate von Elektroautos, ausgedrückt als Marktanteil in %, wird mit Hilfe des entwickelten Kaufnachfragemodells für Elektroautos (siehe AP6) für jedes Jahr getrennt ermittelt. Die Neuzulassungen für das Jahr 2025 sind in Tabelle 2.7.16 dargestellt. Zum Überblick sind auch die linear hochgerechneten Angaben aus dem „Nationalen Einführungsplan Elektromobilität“ aufgenommen. Die Durchdringung des Pkw-Bestandes mit Elektroautos errechnet sich aus der Kumulierung der Kaufnachfrage über den Betrachtungszeitraum, den

Nutzernachfragekennwerten des Kaufnachfragemodells aus AP6 und den Untersuchungen zur Verkehrsentwicklung im Rahmen des Projektes S1 Wiener Außenring Schnellstraße [84]. Die Marktdurchdringung von Elektroautos im Jahr 2025 ist in Tabelle 2.7.16 dargestellt. Über den gesamten Pkw-Bestand des Untersuchungsgebietes der Ostregion errechnen sich die absoluten Werte der Pkw-Neuzulassungen und des Pkw-Bestandes an Elektroautos in Abhängigkeit der Bewertungsszenarien.

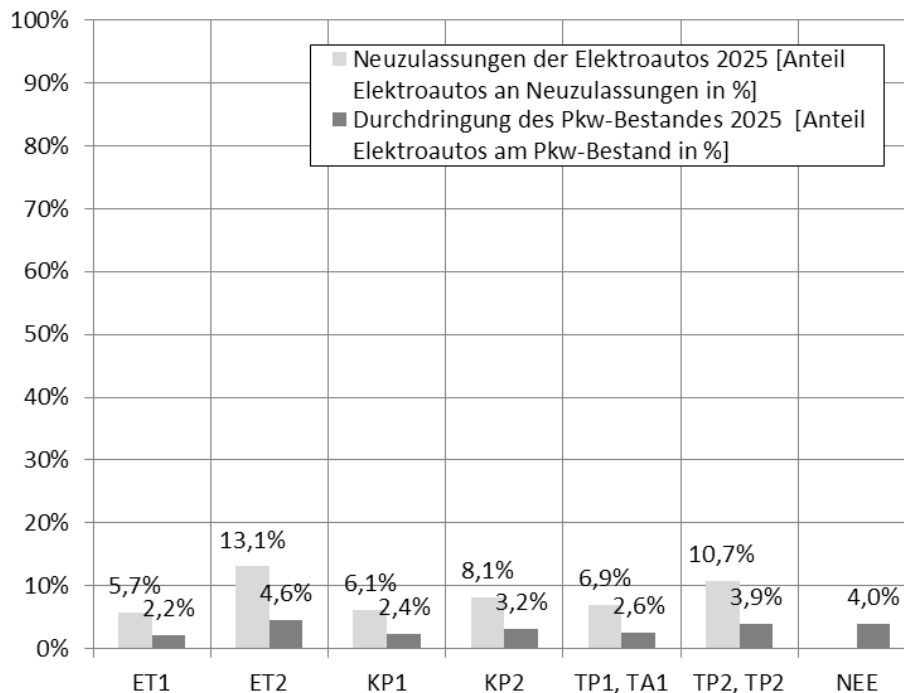


Abbildung 2.7.6: Neuzulassungen von Elektroautos im Jahr 2025 im Untersuchungsgebiet Ostregion für die untersuchten Bewertungsszenarien

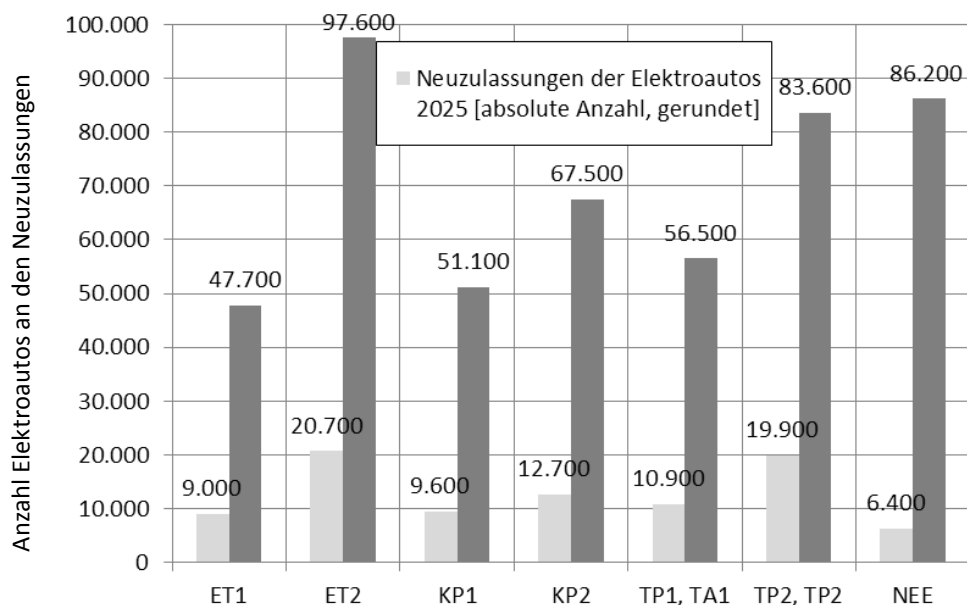


Abbildung 2.7.7: Durchdringung des Pkw-Bestandes mit Elektroautos im Jahr 2025 im Untersuchungsgebiet Ostregion für die untersuchten Bewertungsszenarien

Das Ergebnis zeigt für den Anteil der Elektroautos am Neuwagenkauf (Abbildung 2.7.6) und der Durchdringung des Pkw-Bestandes (Abbildung 2.7.7) folgendes Bild:

- Das Szenario einer **mittleren technologischen Entwicklung**, die etwa den Vorstellungen der Autoindustrie entspricht, ergibt für 2025 einen Anteil von Elektroautos am Neuwagenkauf von knapp 6 %. Das entspricht einem Anteil von etwas mehr als 2 % am gesamten Pkw-Bestand. Für die Ostregion würde das in absoluten Werten eine Anschaffung von rund 9.000 Elektroautos im Jahre 2025 und einem Gesamtbestand von knapp unter 46.000 Elektroautos in der Ostregion ergeben. Das liegt weit unter den Vorstellungen der österreichischen Bundesregierung gemäß „Nationalem Einführungsplan Elektromobilität“.
- Das Szenario einer **starken technologischen Entwicklung**, das weit über den erwartbaren Vorstellungen der Autoindustrie liegt, ergibt für 2025 einen Anteil von Elektroautos am Neuwagenkauf von 13 % und entspricht einem Anteil von deutlich unter 5 % am gesamten Pkw-Bestand. Für die Ostregion würde das in absoluten Werten eine Anschaffung von über 20.000 Elektroautos im Jahre 2025 und einem Gesamtbestand von knapp unter 100.000 Elektroautos in der Ostregion bedeuten. Dieses technologisch unwahrscheinlich zu erreichende Szenario liegt in Bezug auf den Bestand an Elektroautos um mehr als 10 % über den Erwartungen der österreichischen Bundesregierung.
- Das Szenario einer **niedrigen Kaufprämie von € 1.000,-** Zuschuss pro Elektroauto bewirkt in Verbindung mit der **mittleren technologischen Entwicklungserwartung** wenig: der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt lediglich von 5,7 auf 6,1 % an, beim Bestand von 2,2 auf 2,4 % im Jahr 2025. Dementsprechend ändern sich auch die absoluten Werte nur wenig.
- Das Szenario mit einer 5-fach so hohen **Kaufprämie von € 5.000,-** Zuschuss pro Elektroauto bewirkt in Verbindung mit der **mittleren technologischen Entwicklungserwartung** deutlich mehr, allerdings noch immer viel weniger als eine starke technologische Entwicklung: Der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt von 5,7 % ohne Kaufprämie auf 8,1 %, beim Bestand von 2,2 auf 3,2 % im Jahr 2025 an. Dementsprechend ändern sich auch die absoluten Werte deutlich: beim absoluten Neukauf bzw. Neuzulassung von rund 9.000 auf fast 13.000 und beim Bestand der Elektroautos in der Ostregion von rund 48.000 auf immerhin über 67.000. Allerdings wird damit das Ziel der österreichischen Bundesregierung trotz sehr hoher Kaufprämie nicht erreicht.
- Die Szenarien mit einer **moderaten fossilen Treibstoffpreissteigerung um 50 %** bewirkt in Verbindung mit der **mittleren technologischen Entwicklungserwartung** relativ wenig: der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt etwas mehr von 5,7 auf 6,9 % an, beim Bestand von 2,2 auf 2,6 % im Jahr 2025. Dementsprechend ändern sich auch die absoluten Werte relativ wenig, nämlich von rund 9.000 auf 11.000 und beim Be-

stand der Elektroautos in der Ostregion von rund 48.000 auf über 56.000. Damit wird das Ziel der österreichischen Bundesregierung deutlich verfehlt.

- Die Szenarien mit einer **starken fossilen Treibstoffpreissteigerung** um 150 % bewirkt in Verbindung mit der sehr wahrscheinlichen **mittleren technologischen Entwicklungserwartung** nahezu so viel wie eine starke, aber unwahrscheinliche Steigerung der technologischen Entwicklung für Elektroautos: Der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt etwas mehr von 5,7 auf fast 11 % an, beim Bestand von 2,2 auf fast 4 % im Jahr 2025. Dementsprechend ändern sich auch die absoluten Werte etwas stärker, nämlich bei den Neuzulassungen von rund 9.000 auf fast 20.000 und beim Bestand der Elektroautos in der Ostregion von rund 48.000 auf immerhin über 83.000. Damit wird das Ziel der österreichischen Bundesregierung nahezu erreicht.
- Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Erwartungen und zugleich die Zielsetzung der österreichischen Bundesregierung bezüglich der Entwicklung der Elektromobilität nur mit einer derzeit nicht absehbaren Beschleunigung der technologischen Entwicklung erreichbar erscheinen. Alternativ beim Eintreffen einer laut Autoindustrie wahrscheinlichen technologischen Entwicklung ist dieses Ziel nur mit einer deutlichen Erhöhung des Treibstoffpreises für den Pkw-Fahrer/ die Pkw-Fahrerin erreichbar. Dies setzt z.B. eine in den nächsten 16 Jahren schrittweise auf 150 % des heutigen Treibstoffpreises anwachsende reale Treibstoffpreissteigerung voraus, die durch eine Treibhausgasabgabe und/oder Treibstoffpreissteigerung auf Grund der Produktionskosten oder Rahmenbedingungen des Energiemarktes bewirkt werden kann. Kaufprämien wirken spürbar erst ab einer Höhe von etwa 4.000 bis 5.000.- € pro Elektroauto und sind in dieser Höhe politisch nur schwer zu argumentieren und schwer zu finanzieren.

Tabelle 2.7.16: Neuzulassungen und Durchdringung des Pkw-Bestandes mit Elektroautos im Jahr 2025 im Untersuchungsgebiet Ostregion für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien

		Neuzulassungen der Elektroautos 2025	Durchdringung des Pkw-Bestandes 2025
		[Anteil Elektroautos an Neuzulassungen in %] [absolute Anzahl]	[Anteil Elektroautos am Pkw-Bestand in %] [absolute Anzahl]
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung			
ET0	Fortschreibung des Ist-Zustandes	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	5,7% 8.989 Elektroautos	2,2% 47.747 Elektroautos
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	13,1% 20.652 Elektroautos	4,6% 97.609 Elektroautos
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien			
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	6,1% 9.623 Elektroautos	2,4% 51.079 Elektroautos
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	8,1% 12.743 Elektroautos	3,2% 67.471 Elektroautos
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten bzw. über Abgaben)			
TP0.1 TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos
TP1 TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	6,9% 10.918 Elektroautos	2,6% 56.473 Elektroautos
TP0.2 TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos
TP2 TA2	starke Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	10,7% 19.910 Elektroautos	3,9% 83.607 Elektroautos
Nationaler Einführungsplan Elektromobilität			
Ziel 2020: 140.000 Elektroautos in Österreich		Bei linearer Entwicklung 6.368 Elektroautos pro Jahr	4,0% 86.206 Elektroautos

Umweltkosten

Die Umweltkosten werden getrennt für Schadstoffemissionen und Klimaeffekte ausgewiesen. Für die Abschätzung der Klimakosten werden die standardisierten Einheitskostensätze von € 245,- pro emittierter Tonne CO₂ [80] herangezogen. Die übrigen Emissionskostensätze entsprechen der RVS 02.01.22 (Anhang 6.1).

Sonstige Rahmenbedingungen der Bewertung

Für das Bewertungsverfahren wird von den begründeten Annahmen ausgegangen, dass

- der Besetzungsgrad,
- die Tür-zu-Tür Geschwindigkeit,
- die Reisezeitkosten,
- die Unfallrate und
- der Anteil der verkehrslärmgestörten Personen

für benzin- und dieselbetriebene Pkw gleich sind wie für Elektroautos (Anhang 6.1). Die Lärmemissionen wurden deshalb als gleich angenommen, da bei Pkw ab 30 km/h die Rollgeräusche unabhängig vom Motorgeräusch dominieren und der Streckenanteil der Fahrten mit Geschwindigkeiten kleiner 30 km/h an allen Fahrten relativ gering ist. Darüber hinaus spielt der bis 2025 erreichbare Marktanteil der Elektroautos am Bestand aller Autos in Bezug auf die Lärmemission eine vernachlässigbare Rolle. Da Elektroautos auf Grund ihrer Reichweite eher für Innerortsverkehr geeignet sind, wurde der Anteil des Innerortsverkehrs an der zu Grunde gelegten gesamten Fahrleistung für Elektroautos mit etwas höher als für benzin- und dieselgetriebene Pkw angenommen (Anhang 6.1). In die Kostenrechnung nicht eingerechnet und damit unberücksichtigt bleibt die Konsumentenrente infolge der unterdrückten Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr auf Grund von Treibstoffpreiserhöhungen, da diese sowohl in den Bewertungsszenarien TP1, TP2 und TA1, TA2 und in den zugehörigen Referenzszenarien TA0 und TP0 mit derselben Größe auftreten und sich daher im Gesamtergebnis gegenseitig kompensieren.

2.7.2.4 Ergebnisse der gesamtwirtschaftlichen Bewertung

Mit Hilfe des spezifizierten Bewertungsverfahrens wird der gesamtwirtschaftliche Nutzen, also unter Einbeziehung der ökonomischen und ökologischen Wirkungen in monetärer Weise, abgeschätzt. Um die Effekte der Elektromobilität unter verschiedenen Rahmenbedingungen herauszuarbeiten, wird jeweils die Differenz des Nutzens bzw. der Kosten zwischen einem betrachteten Bewertungsszenario und dem zugehörigen Referenzszenario ermittelt. Der gesamtwirtschaftliche Nutzen setzt sich aus den über den Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2025, das sind 16 Jahre, ermittelten Wirkungskomponenten der diskontierten Investitionskosten, Fahrzeugbetriebskosten, Umweltkosten inklusive der Klimakosten der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich der Wirkungskomponenten der diskontierten Kostenkomponenten der zugehörigen Referenzszenarien zusammen. Als Bewertungsergebnis werden die einzelnen Kostenkomponenten der Wirkungskomponenten aufbereitet: die Nutzen-Kostenbilanz aus Nutzersicht, um den Blickwinkel der Verkehrsteilnehmer offenzulegen, sowie die Nutzen-Kostendifferenz NKD, die dem absoluten gesamtwirtschaftlichen Nutzen der

Szenarien repräsentiert, die Kostenwirksamkeit für die eingesparte Menge CO₂ durch Elektromobilität und den monetär ausgedrückten spezifischen gesamtwirtschaftlichen Nutzen je zurückgelegtem Kilometer mit einem Elektroauto. Die Interpretation der Ergebnisse ermöglicht die Beurteilung der Zweckmäßigkeit der in den Bewertungsszenarien beinhalteten Maßnahmen für die Elektromobilität und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für einen gesamtwirtschaftlich effizienten Einsatz der Elektromobilität.

Gesamtwirtschaftliche Nutzen- und Kostenkomponenten der Szenarien

Um die einzelnen Zwischenstufen der Ergebnisse transparent zu machen, sind die in Tabelle 2.7.17 die gesamtwirtschaftlichen Nutzen- und Kostenkomponenten der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich jener der Referenzszenarien aufgelistet. Positive Werte entsprechen einem Nutzen, negative Werte stellen Kosten dar. Die Nutzen- und Kostenkomponenten getrennt nach benzin- und dieselbetriebenen Pkw und Elektroautos für jedes Bewertungsszenario und jedes Referenzszenario enthält Anhang 6.3.

Das Ergebnis zeigt, dass für die Ladeinfrastruktur gesamtwirtschaftliche Kosten anfallen, während für die Schadstoff- und Klimawirkungen durch die Einsparung der Elektromobilität ein Nutzen anfällt, der die Kosten deutlich übersteigt. Bei den Fahrzeugbetriebskosten ergibt sich ein ambivalentes Bild: Je nach technologischer Entwicklung und den damit verbundenen Annahmen sinken die Fahrzeugbetriebskosten hauptsächlich durch die höheren Investitionskosten für das Elektroauto sehr unterschiedlich. Deutlich zeigt sich der Unterschied in den Bewertungsszenarien der Treibstoffkostensteigerung: erfolgt die Steigerung über Produktionskosten, so entsteht ein gesamtwirtschaftlicher Nutzen durch Elektroautos, da gegenüber dem Referenzszenario eine Einsparung durch weniger Treibstoffverbrauch bewirkt wird. Erfolgt die Treibstoffpreissteigerung mit einer gesamtwirtschaftlich neutralen Abgabe, z.B. einer Treibhausgasabgabe pro Liter Treibstoff, so entfällt dieser Einsparungseffekt aus gesamtwirtschaftlicher Sicht, da eine öffentliche Abgabe eine neutrale Transferleistung darstellt. Es reduzieren sich zwar die Kosten gegenüber dem Vergleichsszenario ET1, es bleiben aber Kosten übrig.

Tabelle 2.7.17: Gesamtwirtschaftliche Nutzen- und Kostenkomponenten, dargestellt als Differenz der Ergebnisse der Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010); Positive Werte entsprechen einem Nutzensaldo, negative Werte einem Kostensaldo

		Kosten für Ladeinfrastruktur ¹⁾	Fahrzeugbetriebskosten ²⁾	Schadstoffkosten	Klimakosten
[Mio. €/(2010-2025)]					
Kosten der Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung abzüglich jener des Referenzszenarios ET0					
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	-15,4	-47,0	27,3	61,2
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	-35,7	11,0	69,0	169,3
Kosten der Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien abzüglich jener des Referenzszenarios KP0					
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-17,0	-50,8	29,8	66,9
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-24,7	-69,5	42,3	94,8
Kosten der Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über den Produktionskosten) abzüglich jener des Referenzszenarios TP0.1 und TP0.2					
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-19,0	0,6	33,9	76,1
TP2	starke Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-30,2	225,7	54,5	122,4
Kosten der Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Arten von Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben) abzüglich jener des Referenzszenarios TA0.1 und TA0.2					
TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-19,0	-28,1	33,9	76,1
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-30,2	-45,2	54,5	122,4

1) Investitionskosten einschl. Finanzierungskosten, Re-Investitionen, Betriebs- & Unterhaltungskosten für Schaffung von Ladeinfrastruktur;

2) sämtliche Fahrzeugnutzerkosten

Kosten der Ladeinfrastruktur für Elektroautos (Investition und Betrieb)

Die gesamtwirtschaftlichen Kosten für Investition und Betrieb der Ladeinfrastruktur von Elektroautos der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich jener der jeweiligen Referenzszenarien im Betrachtungszeitraum (Abbildung 2.7.8) sind direkt proportional zur Marktdurchdringung, da die Investitionen der Ladeinfrastruktur von der Menge der in Betrieb befindlichen Elektroautos abhängen. Für den benzin- und dieselbetriebenen Pkw-Verkehr werden keine Investitionen angesetzt. Erwartungsgemäß sind in den Szenarien mit einer stärkeren Marktdurchdringung für Elektroautos die Kosten höher als in den anderen Szenarien.

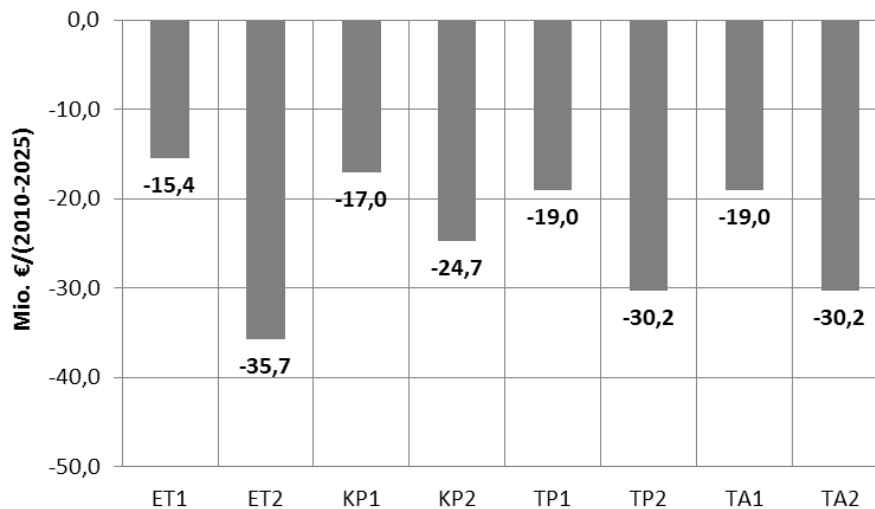


Abbildung 2.7.8: Gesamtwirtschaftliche Kosten für Ladeinfrastruktur von Elektroautos (Investition und Betrieb), dargestellt als Differenz der Ergebnisse der untersuchten Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

Fahrzeugbetriebskosten

Die gesamtwirtschaftlichen Fahrzeugbetriebskosten der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich der Fahrzeugbetriebskosten der zugehörigen Referenzszenarien (Abbildung 2.7.9) zeigen eine dominante Abhängigkeit von den Treibstoffkosten für Benzin und Diesel und vom Kaufpreis der Elektroautos. Hinsichtlich einer Steigerung der Treibstoffpreise über eine öffentliche Abgabe zeigt sich, dass der Staat die Einnahmen der CO₂-Abgabe lukriert, während AutonutzerInnen die anfallenden Kosten bezahlen oder diesen Mehrkosten durch Umstieg auf Elektromobilität ausweichen. Vergleicht man den Treibstoffpreisanstieg infolge einer Steigerung der Produktionskosten oder der Preissituation am Treibstoffmarkt mit jenen z.B. durch eine CO₂-Abgabe, so zeigen sich große Unterschiede im Ergebnis: Die gesamtwirtschaftlichen Einsparungen sind im ersten Fall durch die Elektromobilität viel größer, weil eine Abgabe als Transferleistung wohl eine Kosteneinsparung gegenüber dem Vergleichsszenario ET1 erhöht, bzw. die Kosten senkt. Da die Abgabe als Transferleistung eine Umverteilung vom Nutzer bzw. von der Nutzerin zum Staatsbudget bewirkt, kommen die Einsparungen volkswirtschaftlich kaum zum Tragen.

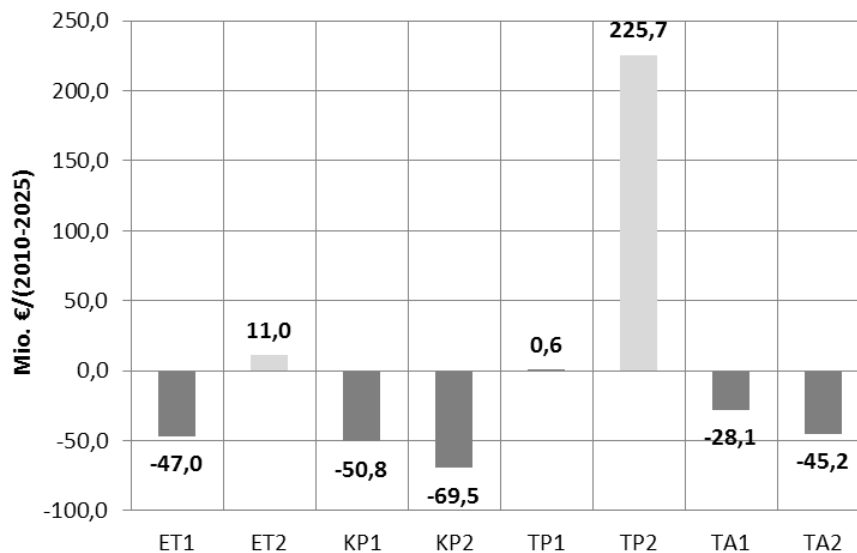


Abbildung 2.7.9: Gesamtwirtschaftliche Fahrzeugbetriebskosten, dargestellt als Differenz der Ergebnisse der untersuchten Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

Schadstoff- und Klimakosten

Eine Erhöhung der Marktdurchdringung von Elektroautos führt zu steigendem Nutzen der Umweltauswirkungen durch eine Reduktion der Emissionen (Abbildung 2.7.10 und Abbildung 2.7.11).

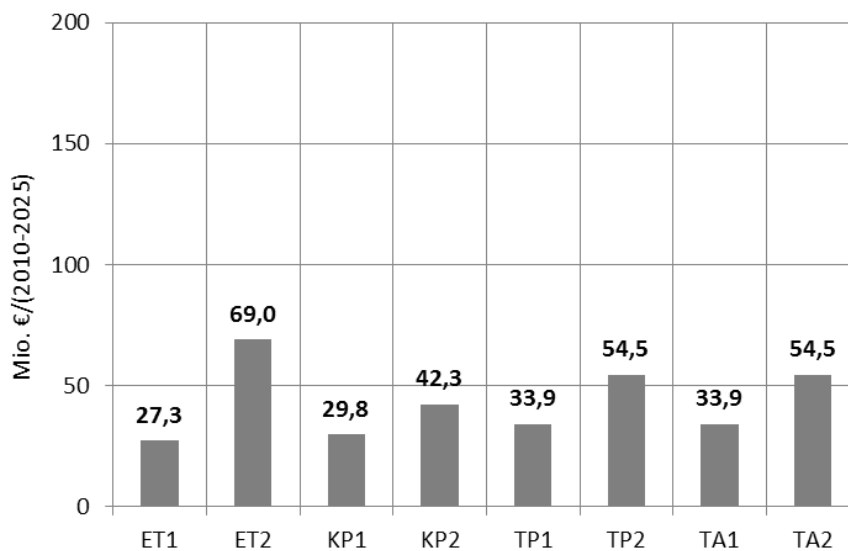


Abbildung 2.7.10: Gesamtwirtschaftlicher Nutzen aus Einsparung von Schadstoffemissionen durch Elektromobilität, dargestellt als Differenz der Ergebnisse der untersuchten Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

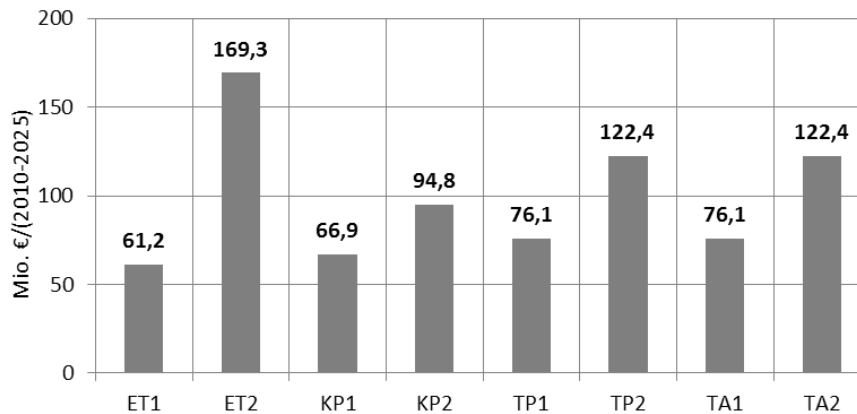


Abbildung 2.7.11: Gesamtwirtschaftlicher Nutzen aus der Einsparung von Klimakosten durch Elektromobilität dargestellt als Differenz der Ergebnisse der untersuchten Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

Je höher der Anteil an Elektroautos am Pkw-Bestand ist, desto höher wird der Umweltnutzen. Grundsätzlich gilt, dass die Schadstoff- und Klimakosten mit zunehmender Fahrleistung fossiler Pkw-Antriebe steigen und umgekehrt mit zunehmender Marktdurchdringung und Fahrleistung der Elektroautos abnehmen. Auf Grund der für das Bewertungsverfahren angesetzten Einheitskosten für Treibhausgas- und Abgasemissionen, ist der Nutzen der Elektromobilität aus der Klimakomponente höher als aus den anderen Emissionen. Es ist aber festzuhalten, dass dies extrem von dem Mix der Stromerzeugung aus klimaneutralen oder kalorischen Kraftwerken abhängt. Die vorliegenden Ergebnisse bauen auf dem österreichischen durchschnittlichen Erzeugermix auf.

Kostenbilanz der Elektromobilität aus Nutzersicht

Die Nutzen-Kostenbilanz der Elektromobilität zeigt für VerkehrsnutzerInnen, dass Elektromobilität gegenüber dem benzin- und dieselpbetriebenen Pkw monetär bewertet heute (noch) nicht konkurrenzfähig ist. Wenn jemand sich für ein Elektroauto entscheidet, so liegt das an subjektiven Liebhaber- oder Imagegründen, ein umweltfreundlicheres Auto zu besitzen und zu benutzen [1]. Die Nutzerkosten setzen sich aus den Kosten für die Ladeinfrastruktur und den Fahrzeugbetriebskosten zusammen. Gemäß [82] sind der Ort der Wohnung und der Arbeitsplatz die wichtigsten Ladepunkte für Elektroautos. Das hat sich auch durch die Nutzerbefragung des Projektes SEM bestätigt, dass andere Ladestellen in der Regel nicht nachgefragt werden. Unter der Annahme, dass die Ladeinfrastruktur zu Hause von NutzerInnen getragen wird, werden die Kosten für die Schaffung der Ladeinfrastruktur anteilig mit 50 % angesetzt. Tabelle 2.7.18 zeigt die Kostensituation für die Investitionskosten einschließlich Finanzierungskosten, Re-Investitionen, Betriebs- & Unterhaltungskosten für die Schaffung von Ladeinfrastruktur inklusive Steuern und Abgaben.

Tabelle 2.7.18: Kostenbilanz (inklusive Steuern und Abgaben) der Elektromobilität aus Nutzersicht dargestellt als Differenz der Ergebnisse der untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010); negative Werte entsprechen einem Kostensaldo

		Anteilige Kosten für Lade- infrastruktur ¹⁾	Fahrzeug- betriebs- kosten ²⁾
		[Mio. €/(2010-2025)]	
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung			
ET0	Fortschreibung des Ist-Zustandes	-4,2	-315,9
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	-13,5	-1.290,1
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	-25,7	-2.552,0
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien			
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	-4,2	-315,9
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-14,4	-1.354,4
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-19,1	-1.652,4
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten bzw. über öffentliche Abgaben)			
TP0.1 TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung	-4,2	-327,1
TP1 TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-15,7	-1.538,1
TP0.2 TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung	-4,2	-333,5
TP2 TA2	starke Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-22,4	-2.320,5

1) Gemäß [82] werden für die Investitionskosten einschl. Finanzierungskosten, Re-Investitionen, Betriebs- & Unterhaltungskosten für die Schaffung von Ladeinfrastruktur € 2.000,- pro Elektroauto angesetzt. In den zugrundeliegenden Berechnungen wurden das Zuhause und der Arbeitsplatz als wichtige Ladepunkte identifiziert. Unter der Annahme, dass die Ladeinfrastruktur zu Hause von NutzerInnen getragen wird, werden die halben Kosten für die Schaffung der Ladeinfrastruktur angesetzt. Einschließlich MWST

2) sämtliche Kosten einschließlich Steuern und Abgaben

Die Nutzerkosten für den Betrieb von benzin- und dieselbetriebenen Pkw über den Betrachtungszeitraum zeigt Abbildung 2.7.12, für den Betrieb von Elektroautos Abbildung 2.7.13. Sie steigen unterschiedlich an, was durch die in den einzelnen Szenarien unterschiedliche Steigerung der Treibstoffpreise bedingt ist. Die Nutzerkosten pro Fahrzeug-Kilometer gewichtet über die jährliche Fahrleistung für benzin- und dieselbetriebene Pkw betragen 0,38 €/km, mit moderater Treibstoffpreissteigerung von + 50 % 0,40 €/km und mit starker Treibstoffpreissteigerung von +150 % 0,45 €/km. Für Elektroautos liegen diese Kosten zwischen 0,35 €/km bis 0,40 €/km (Tabelle 2.7.19).

Tabelle 2.7.19: Nutzerkosten für Ladeinfrastruktur und Fahrzeugbetrieb pro im Elektroauto zurückgelegten Kilometer (inklusive Steuern und Abgaben) im Vergleich zu den Nutzerkosten für benzin- und dieselgetriebenen Pkw; diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010 bis 2025 (Barwert 2010); negative Werte entsprechen einem Kostensaldo

		Fahrzeugbetriebskosten pro benzin- und dieselbetriebenen Pkw-km 2010-2025 (Barwert 2010)	Nutzerkosten für Ladeinfrastruktur und Fahrzeugbetrieb pro km mit dem Elektroauto 2010-2025 (Barwert 2010)
		[€/km]	
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung			
ET0	Fortschreibung des Ist-Zustandes	-0,3797	-0,3763
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)		-0,3857
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos		-0,3629
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien			
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	-0,3797	-0,3763
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		-0,3786
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		-0,3498
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten bzw. über Abgaben)			
TP0.1 TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung moderate Steigerung	-0,3982	-0,3893
TP1 TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		
TP0.2 TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung starke Steigerung	-0,4456	-0,3979
TP2 TA2	starke Treibstoffpreissteigerung mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos		

Zu beachten ist, dass in die Betriebskostenberechnung die Marktverfügbarkeit der Fahrzeugkategorien von Elektroautos unmittelbar eingeht. Höhere Fahrzeugkategorien führen zu höheren Fahrzeugbetriebskosten. In Abbildung 2.7.13 zeigt sich die Marktverfügbarkeit der verschiedenen Fahrzeugkategorien als Unstetigkeitsstellen im Funktionsverlauf, wenn eine höhere Fahrzeugkategorie von Elektroautos auf den Markt kommt. Da in der Elektroautoproduktpalette je nach Bewertungsszenario zu Beginn des Betrachtungszeitraums ausschließlich Kleinwagen verfügbar sind und erst nach und nach die Kompaktklasse und die Mittelklasse auf den Markt kommen, sind die Fahrzeugbetriebskosten in den Referenzszenarien niedriger als für den benzin- und dieselbetriebenen Pkw, für den im gesamten Betrachtungszeitraum Fahrzeuge aller Fahrzeugkategorien (Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Oberklasse und Sonderklasse) zur Verfügung stehen. Bei Betrachtung der gleichen Fahrzeugkategorien für benzin- und dieselbetriebene Pkw und für Elektroautos sind die Fahrzeugbetriebskosten für Elektroautos in den Referenzszenarien höher. Deutlich zeigt sich, dass eine hohe Kaufprämie für Elektroautos die Kilometerkosten mit -8 % deutlich unter jene herkömmlicher Pkw drückt. Die Betriebskosten liegen auch in den Szenarien für eine Treibstoffpreiserhöhung mit -11 % deutlich günstiger für Elektroautos. Abgesehen von der Verfügbarkeitsproblematik aus technologischer Sicht wird Elektromobilität erst bei hohen Kaufprämien und starken Treibstoffpreissteigerungen für NutzerInnen wirtschaftlich interessant.

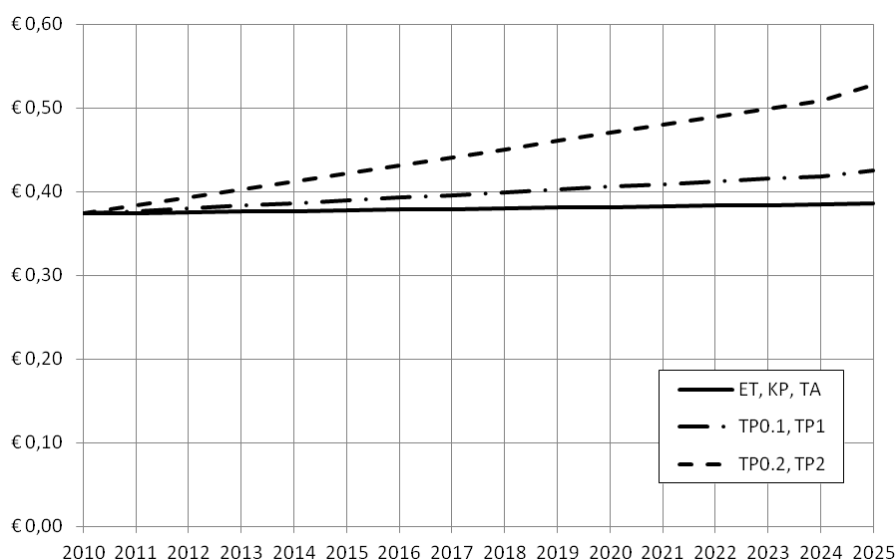


Abbildung 2.7.12: Fahrzeugbetriebskosten der benzin- und dieselbetriebenen Pkw für den Nutzer / die Nutzerin (also einschließlich Steuern und Abgaben) über den Betrachtungszeitraum für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien

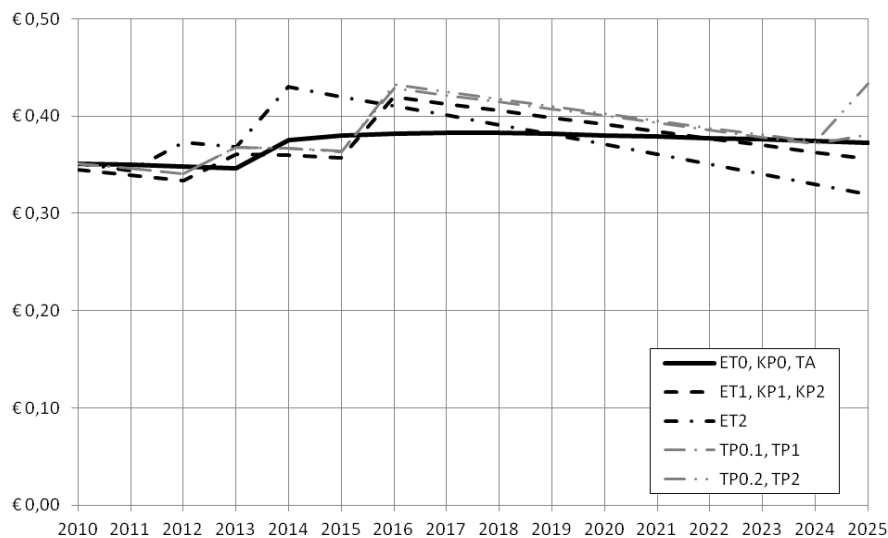


Abbildung 2.7.13: Fahrzeugbetriebskosten der Elektroautos für den Nutzer / die Nutzerin (also einschließlich Steuern und Abgaben) über den Betrachtungszeitraum für die untersuchten Bewertungs- und Referenzszenarien

Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Elektromobilität

Die Nutzen-Kostendifferenz NKD zeigt aus gesamtwirtschaftlicher Sicht, in welchen Bewertungsszenarien mit definierten Elektromobilitätsmaßnahmen und Einflussfaktoren ein gesamtwirtschaftlicher Nutzen entsteht. Ein Bewertungsszenario, das einen positiven Wert NKD aufweist, ist aus gesamtwirtschaftlicher Sicht realisierungswürdig und macht gesamtwirtschaftlich einen Sinn, weil der gesamtwirtschaftliche Nutzen über den gesamtwirtschaftlichen Kosten liegt. Der Wert NKD drückt den absoluten gesamtwirtschaftlichen monetären Nutzen über den Betrachtungszeitraum aus.

$$\text{NKD} = \Delta \text{Nutzen} - \Delta \text{Kosten}$$

NKD [€/ (2010-2025)]:	Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Elektromobilität über den Bewertungszeitraum
Δ Nutzen [€/ (2010-2025)]:	Differenz der Nutzenkomponenten des Bewertungsszenarios abzüglich der Nutzenkomponenten des Referenzszenarios im Betrachtungszeitraum
Δ Kosten [€/ (2010-2025)]:	Differenz der Kostenkomponenten des Bewertungsszenarios abzüglich der Kostenkomponenten des Referenzszenarios im Betrachtungszeitraum

Tabelle 2.7.20 zeigt das Ergebnis der Ermittlung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens für die untersuchten Bewertungsszenarien im Betrachtungszeitraum 2010-2025, den gesamtwirtschaftlichen Nutzen pro eingesparter Tonne CO₂-Emission und den gesamtwirtschaftlichen Nutzen pro im Elektroauto zurückgelegten Kilometer.

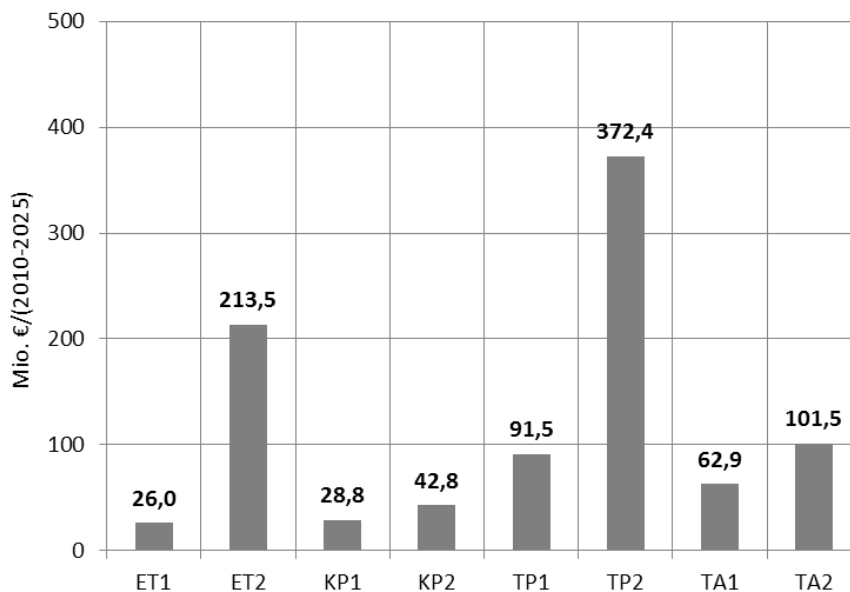


Abbildung 2.7.14: Gesamtwirtschaftlicher Nutzen (Nutzen-Kostendifferenz NKD) als Ergebnis der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich Referenzszenario, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

Aus der Nutzen-Kostendifferenz NKD (Abbildung 2.7.14) ist ersichtlich, dass die Elektromobilität aus gesamtwirtschaftlicher Sicht im Vergleich zur Fortschreibung des Ist-Zustandes in allen untersuchten Bewertungsszenarien einen Nutzen abwirft, weil die Nutzen-Kostendifferenz in allen Bewertungsszenarien positiv ist. Der positive Nutzen ergibt sich vor allem durch die Reduktion der Abgasemissionen und der Treibhausgase. Der absolute gesamtwirtschaftliche Nutzen ist am höchsten bei einer starken bzw. raschen technologischen Entwicklung der Elektromobilität (Bewertungsszenario ET2) und wenn die Treibstoffpreise auf Grund steigender Produktionskosten bzw. Marktkosten stark ansteigen (Bewertungsszenarien TP1 und TP2). Unter der Voraussetzung einer mittleren technologischen Entwicklung /alle Bewertungsszenarien außer bei ET2), die als sehr wahrscheinlich einzuschätzen ist, kann der gesamtwirtschaftliche Nutzen vor allem durch eine Treibstoffabgabe auf den Treibstoffpreis maximiert werden (Bewertungsszenarien TA1 und TA2). Wenn diese Einnahmen zur Forschungsförderung verwendet werden, kann damit ein Synergieeffekt erreicht werden, der die technologische Entwicklung antreibt.

Tabelle 2.7.20: Gesamtwirtschaftliche Nutzen (Nutzen-Kostendifferenz NKD) sowie der Nutzen pro eingesparter Tonne CO₂ und pro mit dem Elektroauto zurückgelegtem Kilometer; diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 für die untersuchten Bewertungsszenarien

		Nutzen-Kostendifferenz NKD (Barwert 2010) [Mio. €/(2010-2025)]	Nutzen/ eingesparte Tonne CO₂ (2010-2025) [€/t]	Nutzen/ im Elektroauto-zurückgelegten km (2010-2025) [€/km]
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung abzüglich Referenzszenario ET0				
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	26,0	77,0	0,006
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	213,5	228,8	0,023
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien abzüglich Referenzszenario KP0				
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlerer techno-logischer Entwicklung der Elektroautos	28,8	78,2	0,006
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlerer techno-logischer Entwicklung der Elektroautos	42,8	81,9	0,007
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten) abzüglich Referenzszenario TP0.1 und TP0.2				
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	91,5	218,1	0,017
TP2	starke Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	372,4	551,9	0,047
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben) abzüglich Referenzszenario TA0.1 und TA0.2				
TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	62,9	149,9	0,012
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	101,5	150,4	0,013

Treibhausgasreduktion durch Elektromobilität

Die emittierte Menge CO₂ ist wesentlich abhängig von der Fahrleistung der benzin- und dieselbetriebenen Pkw. Tabelle 2.7.21 zeigt die Einsparungen an CO₂ in den Bewertungsszenarien, wobei in den Bewertungsszenarien TP und TA die Veränderungen des Mobilitätsverhaltens im motorisierten Individualverkehr durch eine Treibstoffpreissteigerung berücksichtigt ist. Abgesehen von der Fahrleistung zeigt sich, dass mit steigender Marktdurchdringung der Elektroautos die Emission von CO₂ reduziert werden kann.

Tabelle 2.7.21: Einsparung an CO₂ durch Elektromobilität; Differenz der Ergebnisse der in den Bewertungsszenarien abzüglich Referenzszenario über den Betrachtungszeitraum 2010 - 2025

		eingesparte Menge CO ₂ 2010-2025 [t/(2010-2025)]
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung abzüglich Referenzszenario ET0		
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	-337.297
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	-933.410
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien abzüglich Referenzszenario KP0		
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos	-368.657
KP2	hohe Kaufprämie mit mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos	-522.923
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Produktionskosten) abzüglich Referenzszenario TP0.1 und TP0.2		
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-419.420
TP2	starke Treibstoffpreissteigerung über Produktionskosten mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-674.771
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben) abzüglich Referenzszenario TA0.1 und TA0.2		
TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-419.420
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	-674.771

Abbildung 2.7.15 zeigt den gesamtwirtschaftlichen Nutzen für die Einsparung von CO₂-Emission durch Elektromobilität der untersuchten Bewertungsszenarien über den Betrachtungszeitraum 2010 bis 2025 unter Einrechnung der gesamtwirtschaftlichen Kosten der Treibhausgase von 245 €/ t CO₂. In diesem Falle ergibt sich für alle Szenarien ein positiver Wert, also ein gesamtwirtschaftlicher Nutzen. Der größte Nutzen entsteht durch die Einsparung der Treibstoffkosten durch Elektromobilität bei starkem Preisanstieg als Folge gesteigerter Produktionskosten (TP2), gefolgt von Szenario starker technologischer Entwicklung (ET2). Einen besseren Aufschluss über den gesamtwirtschaftlichen Nutzen bzw. Kosten erhält man, wenn die CO₂-Kosten für diese Kosten-Wirksamkeitsbetrachtung der Treibhausgaseinsparung durch die Elektromobilität nicht in Rechnung gestellt werden (Abbildung 2.7.16). Diese Abbildung drückt aus, wie teuer gesamtwirtschaftlich die Reduktion einer Tonne der CO₂-Einsparung mittels Elektromobilität kommt. Diese Ergebnisse erhalten ihre bildliche Interpretation dadurch, dass man sie in Vergleich einerseits mit den Kosten einer Tonne an CO₂-Zertifikaten setzt und andererseits mit den geschätzten Schadenskosten einer Tonne CO₂ setzt.

- Wenn der Wert einen unter Beachtung des Vorzeichens größeren Wert als den Zertifikatspreis von derzeit etwa -20.- €/ t CO₂ hat, lohnt es sich gesamtwirtschaftlich Treibhausgaseinsparungen aus diesem Blickwinkel durch Elektromobilität umzusetzen. Die ist derzeit bei einem so niedrigen Preis der CO₂-Zertifikate nur für die Szenarien ET2 TP2, TA1 und TA2 zweckmäßig. Das heißt, dass nur eine starke technologische Entwicklung sowie stark gestiegene Treibstoffpreise auf Grund der Produktionskosten gesamtwirtschaftlich der Umsetzung der Elektromobilität einen Sinn geben. Das ändert sich allerdings, wenn die Zertifikatspreise steigen.
- Unter Beachtung des Vorzeichens hat das Ergebnis aller Szenarien größeren Wert als ein Schadenspreis von etwa -245.- €/ t CO₂. Daher lohnt es sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht Treibhausgaseinsparungen aus diesem Blickwinkel durch Elektromobilität umzusetzen.
- Es zeigen sich deutliche Unterschiede bei den einzelnen Szenarien: Unter der Voraussetzung einer moderaten technologischen Entwicklung inklusive von Kaufprämien haben die Treibhausgaseinsparungseffekte durch Elektromobilität eine relativ geringe Kostenwirksamkeit, die nur durch eine starke Treibstoffpreissteigerung deutlich angehoben wird. Deshalb ist zu empfehlen, dass eine Treibstoffpreissteigerung durch eine zweckgebundene Treibstoffpreisabgabe eingeführt wird, um die technologische Entwicklung der Elektromobilität zu steigern. Eine Kaufprämie macht wenig Sinn und ist zweckmäßigerweise eher für die Technologieforschung zu verwenden.

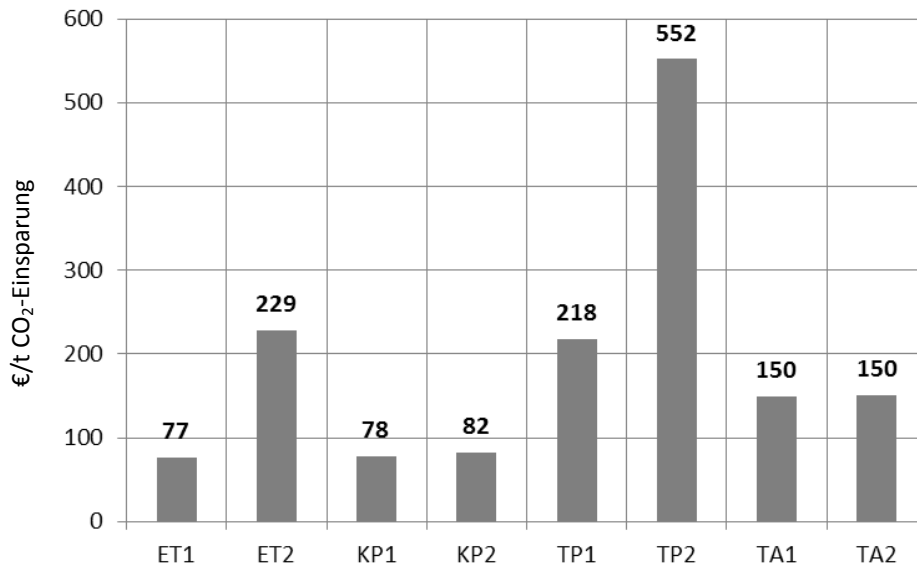


Abbildung 2.7.15: Gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit der Treibhausgasreduktion durch Elektromobilität; Nutzen (Nutzen-Kostendifferenz) je eingesparter / CO₂ – Menge durch Elektromobilität in den untersuchten Bewertungs-szenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

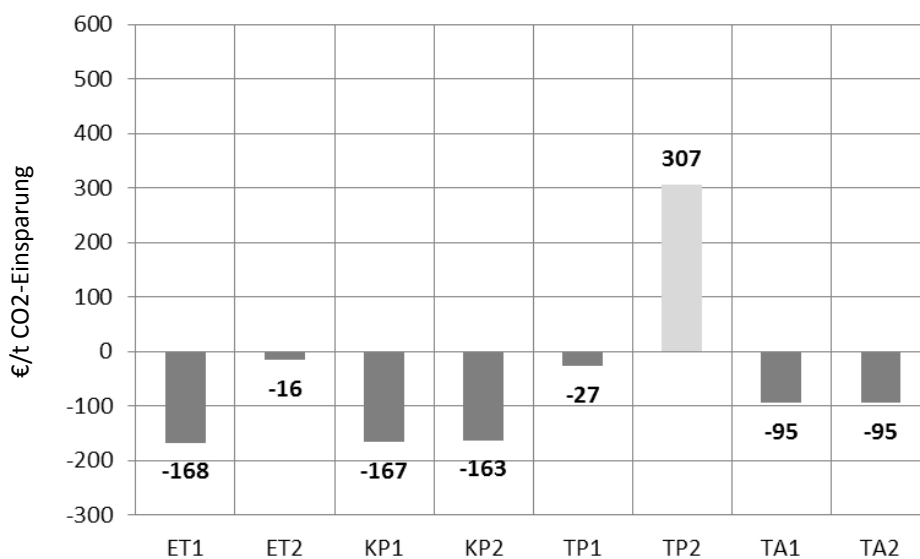


Abbildung 2.7.16: Gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit der Treibhausgasreduktion durch Elektromobilität; Nutzen (ohne Einrechnung der kostenmäßigen Bewertung der eingesparten CO₂-Kosten) je eingesparter / CO₂ –Menge durch Elektromobilität in den untersuchten Bewertungsszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

Gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit der mit dem Elektroauto zurückgelegten Entfernung

Die gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit, ausgedrückt als Nutzen je im Elektroauto zurückgelegtem Kilometer, ist in Abbildung 2.7.17 abgebildet. Sie zeigt die monetär ausgedrückte spezifische Nutzen-Kostendifferenz je mit einem Elektroauto zurückgelegten Kilometer im Vergleich mit herkömmlichen Autos der untersuchten Bewertungsszenarien abzüglich Referenzszenarien. Es zeigt sich im Prinzip dasselbe Ergebnis wie zuvor: steigende Nachfrage nach Elektromobilität führt zu einem höheren Nutzen der im Elektroauto zurückgelegten Entfernung. Je nach Bewertungsszenario schwankt der gesamtwirtschaftliche Nutzen von 0,6 Euro-Cent / km bis zu 4,7 Euro-Cent / km äußerst stark, was einem Faktor von etwa 8 entspricht. Auch hier sind dieselben Schlussfolgerungen zu ziehen, dass Elektromobilität unter bestimmten Rahmenbedingungen gesamtwirtschaftlich sehr effizient sein kann: darunter fallen eine deutliche Beschleunigung des technologischen Fortschritts sowie eine starke Steigerung des Treibstoffpreises, sei es durch gestiegene Produktionskosten fossiler Treibstoffe oder durch zweckgebundene Abgaben. Es ist allerdings festzuhalten, dass der spezifische Nutzen der Elektromobilität in Relation zu dem amtlichen Kilometergeld oder den spezifischen Betriebskosten im günstigsten Falle nur etwa ein Zehntel ausmachen.

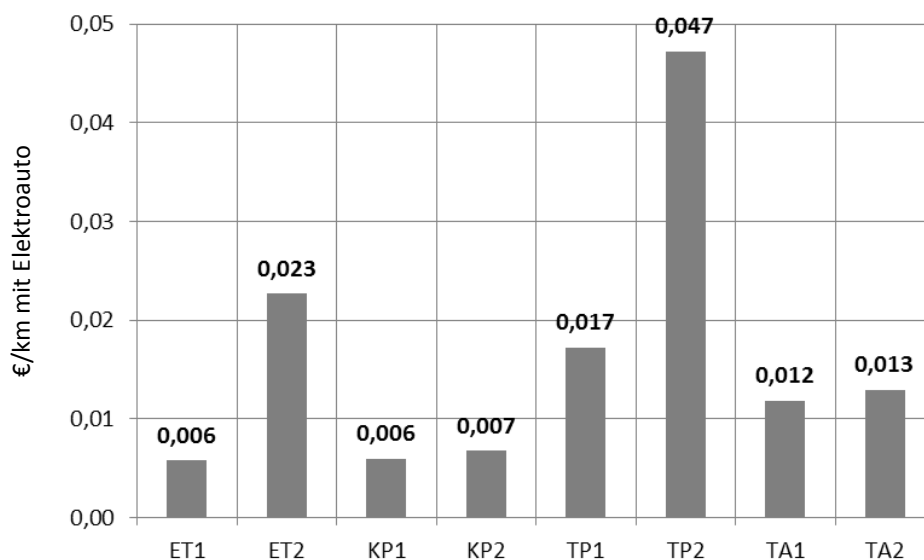


Abbildung 2.7.17: Gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit (Nutzen) je mit dem Elektroauto zurückgelegten Kilometer der untersuchten Bewertungsszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010)

2.7.2.5 Schlussfolgerungen aus der gesamtwirtschaftlichen Bewertung der Elektromobilität

Basierend auf dem Kaufnachfragemodell aus AP6 wurden verschiedene Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklung der Technologie von Elektroautos, des Treibstoffpreises und von Anreizmaßnahmen zur Förderung der Elektromobilität entwickelt. Das Bewertungsverfahren beinhaltet die folgenden Wirkungskomponenten

- der Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur für Elektroautos,
- der Fahrzeugbetriebskosten,
- der Umweltkosten inklusive der Klimakosten.

In die Betrachtung werden gemäß den Studienzielen nur Szenarien auf Grund von Maßnahmen für Elektro-Pkw einbezogen. Mögliche technologische Veränderungen von Hybridautos sowie Pkw mit herkömmlichen Antrieben im Betrachtungszeitraum werden nicht berücksichtigt. Da auch bei diesen Autos in der Realität die technologische Entwicklung weitergehen wird, wird natürlich auch der Anteil von Elektroautos an Neuwagen davon beeinflusst. Tendenziell wird durch diese in den Bewertungsszenarien gesetzten Rahmenbedingungen die Nachfrage nach Elektroautos etwas überschätzt. Hybridfahrzeuge werden nicht im Bewertungsverfahren untersucht. Das Verfahren zeigt mit Hilfe der gesamtwirtschaftlichen Bewertung auf, welchen gesamtwirtschaftlichen Nutzen die Elektromobilität unter den untersuchten Bewertungsszenarien stiftet.

Marktdurchdringung mit Elektroautos

Das Ergebnis der Untersuchung zeigt für den Anteil der Elektroautos am Neuwagenkauf und der Durchdringung des Pkw-Bestandes folgendes Bild:

- Das Szenario einer **mittleren technologischen Entwicklung**, die etwa den Vorstellungen der Autoindustrie entspricht, geht von folgenden Annahmen aus: Marktverfügbarkeit der Kompaktklasse ab 2013, Mittelklasse ab 2016. Die Reichweite der Elektroautos erhöht sich im Betrachtungszeitraum um 50 %, der Kaufpreis sinkt von 100 % für 2010 auf 70 % im Jahr 2025. Basispreis ist der 2,2-fache Kaufpreis von benzin- und dieselmotorgetriebenen Pkw. Dieses Szenario ergibt für 2025 einen Anteil von Elektroautos am Neuwagenkauf von knapp 6 %. Das entspricht einer Durchdringung des gesamten Pkw-Bestandes von etwas mehr als 2 %. Das liegt weit unter den Vorstellungen der österreichischen Bundesregierung gemäß „Nationalem Einführungsplan Elektromobilität“.
- Das Szenario einer **starken technologischen Entwicklung**, die weit über den erwartbaren Vorstellungen der Autoindustrie liegt, geht von folgenden Annahmen aus: Marktverfügbarkeit der Kompaktklasse ab 2012, Mittelklasse ab 2014; Die Reichweite der Elektroautos verdoppelt sich im Betrachtungszeitraum, der Kaufpreis sinkt von 100 % für 2010 auf 60 % im Jahr 2025; Der Basispreis ist der 2,2-fache Kaufpreis von benzin- und dieselmotorgetriebenen Pkw. Dieses Szenario ergibt für 2025 einen Anteil von Elektroautos am Neuwagenkauf von 13 % und entspricht einem Anteil von deutlich unter 5 % am gesamten Pkw-Bestand. Dieses technologische, heute als unwahrscheinlich zu erreichende Szenario liegt in Bezug auf den Bestand an Elektroautos um mehr als 10 % über den Erwartungen der österreichischen Bundesregierung.
- Das Szenario einer **niedrigen Kaufprämie von € 1.000.-** Zuschuss pro Elektroauto bewirkt in Verbindung mit der mittleren technologischen Entwicklungserwartung wenig: der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt lediglich von 5,7 auf 6,1 % an, beim gesamten Pkw-Bestand von 2,2 auf 2,4 % im Jahr 2025.

- Das Szenario mit einer 5-fach so **hohen Kaufprämie von € 5.000.-** Zuschuss pro Elektroauto bewirkt in Verbindung mit der mittleren technologischen Entwicklungserwartung deutlich mehr, allerdings noch immer viel weniger als eine starke technologische Entwicklung: Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt von knapp 6 % ohne Kaufprämie auf rund 8 % an, beim gesamten Pkw-Bestand von 2,2 auf 3,2 % bis zum Jahr 2025 an. Das Ziel der österreichischen Bundesregierung wird trotz sehr hoher Kaufprämie nicht erreicht und bestätigt die geringe Effizienz solcher direkten Subventionsmaßnahmen.
- Die Szenarien mit einer **moderaten fossilen Treibstoffpreissteigerung** um 50 % bewirkt in Verbindung mit der mittleren technologischen Entwicklungserwartung relativ wenig: der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt etwas mehr von 5,7 auf 6,9 % an, beim gesamten Pkw-Bestand von 2,2 auf 2,6 % bis zum Jahr 2025. Damit wird das Ziel der österreichischen Bundesregierung deutlich verfehlt.
- Die Szenarien mit einer **starken fossilen Treibstoffpreissteigerung** um 150 % bewirkt in Verbindung mit der sehr wahrscheinlichen mittleren technologischen Entwicklungserwartung nahezu so viel wie eine starke, aber aus heutiger Sicht unwahrscheinliche Steigerung der technologischen Entwicklung für Elektroautos: der Anteil des Elektroautos am Neuwagenkauf steigt etwas mehr von knapp 6 % auf fast 11 % an, beim gesamten Pkw-Bestand von 2,2 auf fast 4 % bis zum Jahr 2025. Damit wird das Ziel der österreichischen Bundesregierung nahezu erreicht.
- Bezüglich der Marktdurchdringung ist zusammenfassend festzustellen, dass die Erwartungen und zugleich die Zielsetzung der österreichischen Bundesregierung gemäß „Nationalem Einführungsplan Elektromobilität“ bezüglich der Entwicklung der Elektromobilität nur mit einer derzeit nicht absehbaren Beschleunigung der technologischen Entwicklung erreichbar erscheinen. Alternativ beim Eintreffen einer laut Autoindustrie wahrscheinlichen technologischen Entwicklung ist dieses Ziel nur mit einer deutlichen Erhöhung des Treibstoffpreises für den Verbraucher erreichbar. Dies setzt z.B. eine in den nächsten 16 Jahren schrittweise auf 150 % des heutigen Treibstoffpreises anwachsende reale Treibstoffpreissteigerung voraus, die durch eine Treibhausgasabgabe und/oder Treibstoffpreissteigerung auf Grund der Produktionskosten oder Rahmenbedingungen des Energiemarktes bewirkt werden kann. Kaufprämien wirken spürbar erst ab einer Höhe von etwa 4.000 bis 5.000.- € pro Elektroauto und sind nur schwer zu finanzieren und in dieser Höhe politisch kaum zu argumentieren.

Elektromobilität aus betriebswirtschaftlicher Nutzersicht

- Aus Nutzersicht ist in dem nächsten Jahrzehnt nicht zu erwarten, dass die Pkw-Betriebskosten eines Elektroautos unter Einrechnung der Investitionen mit dem herkömmlichen Pkw konkurrieren können. Eine Senkung der Betriebskosten unter das Niveau herkömmlicher Autos ist nur mit Einführung einer hohen Kaufprämien von mindes-

tens € 5.000.- und/oder bei starken Treibstoffpreisssteigerungen von mehr als 100 % zu erwarten.

Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Elektromobilität

- Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der Nutzen der Elektromobilität eindeutig positiv. Der positive Nutzen ergibt sich vor allem durch die Reduktion der Abgasemissionen und der Treibhausgase. Der absolute gesamtwirtschaftliche Nutzen ist bei einer starken bzw. raschen technologischen Entwicklung der Elektromobilität und bei starken Treibstoffpreiserhöhungen auf Grund steigender Produktionskosten bzw. Marktpreise hoch. Unter der Voraussetzung einer mittleren technologischen Entwicklung, die als sehr wahrscheinlich einzuschätzen ist, kann der gesamtwirtschaftliche Nutzen vor allem durch eine Treibstoffabgabe auf den Treibstoffpreis maximiert werden. Wenn diese Einnahmen zweckgebunden zur Forschungsförderung der Elektromobilität verwendet wird, kann damit ein Synergieeffekt erreicht werden, der die technologische Entwicklung antreibt.
- Diese Kostenwirksamkeit der Treibhausgasreduktion durch Elektromobilität lässt sich klar darstellen, wenn man den Nutzen bzw. Kosten, den die Einsparung einer Tonne an Treibhausgasen in Vergleich einerseits mit den Kosten einer Tonne an CO₂-Zertifikaten setzt und andererseits in Vergleich mit den geschätzten Schadenskosten einer Tonne CO₂ setzt. Wenn der Nutzen einen unter Beachtung des Vorzeichens größeren Wert als den Zertifikatspreis von derzeit etwa -20.- €/ t CO₂ hat, lohnt es sich gesamtwirtschaftlich Treibhausgaseinsparungen aus diesem Blickwinkel durch Elektromobilität umzusetzen. Die ist derzeit bei einem so niedrigen Preis der CO₂-Zertifikate unter der Voraussetzung eines derzeit nicht vorhandenen starken technologischen Fortschrittes oder bei einer starken Treibstoffpreiserhöhung von mehr als 100 % zweckmäßig. Das heißt, dass nur eine starke technologische Entwicklung sowie stark gestiegene Treibstoffpreise auf Grund der Produktionskosten gesamtwirtschaftlich der Umsetzung der Elektromobilität einen Sinn geben. Das ändert sich allerdings, wenn die Zertifikatspreise steigen.
- Unter Beachtung des Vorzeichens hat der Nutzen der Kohlenstoffreduktion durch Elektromobilität einen größeren Wert als ein Schadenspreis von etwa -245.- €/ t CO₂. Daher lohnt es sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht Treibhausgaseinsparungen aus diesem Blickwinkel durch Elektromobilität umzusetzen.
- Es zeigen sich aber deutliche Unterschiede bei den einzelnen Szenarien: Unter der Voraussetzung einer moderaten technologischen Entwicklung inklusive von Kaufprämien haben die Treibhausgaseinsparungseffekte durch Elektromobilität eine relativ geringe Kostenwirksamkeit, die nur durch eine starke Treibstoffpreisssteigerung deutlich angehoben wird. Deshalb ist zu empfehlen, dass eine Treibstoffpreisssteigerung durch eine zweckgebundene Treibstoffpreisabgabe eingeführt wird, um die technologische Entwicklung der Elektromobilität zu steigern. Eine Kaufprämie macht wenig Sinn und ist zweckmäßigerweise eher für die Technologieforschung zu verwenden.

2.7.3 Erkenntnis- und Maßnahmenliste

Die Arbeiten in den jeweiligen Paketen lieferten zahlreiche Aussagen und Erkenntnisse, die in mehreren Schleifen innerhalb des Projektteams wie auch mit externen ExpertInnen in Form eines Workshops diskutiert und verfeinert wurden.

Insgesamt erschien es sinnvoll eine Einteilung in vier Bereiche vorzunehmen:

- Verkehrsverhalten und Marktdurchdringung
- Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Elektromobilität
- Fahrzeug- und Batterieanforderungen
- Ladeinfrastruktur (Erfordernisse und Kosten)
- Ladeverhalten und Netzintegration

Für jeden dieser Bereiche wurden die Erkenntnisse fokussiert, bevor die Maßnahmenliste erstellt wurde, die wiederum für Zielgruppen aufbereitet wurde.

2.7.3.1 Verkehrsverhalten und Marktdurchdringung

Erkenntnisse:

- **Mobilitätsdaten:** Die durchschnittlichen Tagesfahrweiten können nicht für die benötigten Reichweiten von Elektrofahrzeugen herangezogen werden, weil einzelne, lange Wegekette je Fahrzeug die benötigte Reichweite vorgeben. Die Streuung der Weglängen ist groß, weshalb der Durchschnittswert zu falschen Einschätzungen führt.
- Um hinreichende Aussagen bezüglich Erfüllbarkeit der Mobilitätsanforderungen treffen zu können, ist es notwendig Pkw-bezogene Daten über einen längeren Zeitraum zu betrachten (die kritische Wegekette ist entscheidend).
Durch die Verwendung einer mehrwöchigen GPS-Betrachtung (im Vergleich zu Stichtagserhebungen) wird die Realität des Fahrprofils genauer abgebildet, was zu einer verbesserten Güte der Ergebnisse der Erfüllbarkeit des Pkw-Fahrprofils führt.
Noch bessere Ergebnisse sind durch Ausweitung des Zeitraums (Kalenderjahr, Fahrzeuglebenszyklus) zu erwarten.
- **Fahrzeugsegment:** Aus der Fahrzeugsimulation ist ersichtlich, dass private SUVs und Transporter für die Elektromobilität auf Grund des großen Eigengewichts und in Kombination mit hoher Kilometerleistung (d.h. größere Batterien werden benötigt) wenig bis nicht geeignet sind.
- Die Analyse vorhandener Mobilitätsdaten zeigt, dass Elektromobilität aus technischer Sicht für Zweit- und Drittfahrzeuge besonders geeignet ist, da diese tendenziell geringere Fahrleistungen aufweisen.

- **E-Pkw Nachfrage:** Die Modellberechnungen zeigen, dass der Kaufpreis, die laufenden Kosten (pro Jahr und über die Lebensdauer) und die Leistung von E-Pkw den stärksten Einfluss auf die Nachfrage nach E-Pkw haben. Rahmenbedingungen wie Treibstoffpreiserhöhung für Benzin und Diesel als indirekte Maßnahme der Förderung der E-Mobilität und Kaufprämien für E-Pkw wirken nachfragesteigernd.
- Pkw-NutzerInnen, die sich für einen E-Pkw entscheiden, sind bereit für längere Fahrten, die nur mit Komforteinbußen durchführbar wären, dies in Kauf zu nehmen bzw. für diese Fahrten auf Alternativen umzusteigen. Als Alternativen werden für einen Großteil der Fahrten Pkw mit herkömmlichen Antrieben (aus dem eigenen Haushalt, oder als Leihwagen von Bekannten), öffentliche Verkehrsmittel (48 % der Fahrten) oder Mietwagen (3 % der Fahrten) gewählt. Es zeigt sich, dass die Bewusstseinsbildung für potenzielle KäuferInnen von E-Pkw eine Rolle spielt. So revidieren Personen ihre Kaufentscheidung für einen E-Pkw, wenn ihnen die Konsequenzen für Fahrten bewusst gemacht werden. Wie stark Maßnahmen wie Mobilitätspackages etc. (Alternativangebote für E-Pkw-BesitzerInnen) auf die Kaufnachfrage nach E-Pkw wirken würden, kann aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht abgeleitet werden. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf.
- Aus den entwickelten Nachfragemodellen allein lässt sich ableiten, dass verkehrspolitische Förderungsmaßnahmen für E-Mobilität die Nachfrage nach E-Pkw vorantreiben. Die Maßnahme einer Kaufprämie für E-Pkw wirkt stärker im Vergleich zuverkehrsorganisatorischen Maßnahmen (reservierte Stellplätze für E-Pkw im Stadtzentrum, Mitbenutzung des Busfahrstreifens); allerdings muss die gesamtwirtschaftliche Bewertung derartiger Fördermaßnahmen berücksichtigt werden (siehe gesamtwirtschaftliche Bewertung der Elektromobilität) .
- Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der intensiveren Untersuchung von Pkw-Kaufentscheidungen (Grundlagenforschung)

Maßnahmen:

1. Durchführung einer Erhebung fahrzeugspezifischer Langzeitdaten für Pkw-Bewegungsmuster inklusive Regionen-/Ländervergleich unter jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen, unter Berücksichtigung von Urlaubsfahrtweiten
2. Entwicklung von Tools zur automatisierten Auswertung der GPS-Fahrzeugzyklen (z.B. Datenaufbereitung der Parkstandortanalysen)
3. Verbesserung der Technologie von E-Pkw (besonders Batterie) zur Erfüllung der Nutzeranforderungen

Tabelle 2.7.22: Einteilung der Maßnahmen zu Verkehrsverhalten und Marktdurchdringung nach Zielgruppen

	Forschung	Industrie	Politik	Verkehrsbetriebe
Maßnahme 1	✓			
Maßnahme 2	✓			
Maßnahme 3		✓		

2.7.3.2 Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Elektromobilität

Erkenntnisse:

- Marktdurchdringung mit Elektroautos:** Die Erwartungen und zugleich die Zielsetzung der österreichischen Bundesregierung gemäß „Nationalem Einführungsplan Elektromobilität“ bezüglich der Entwicklung der Elektromobilität erscheinen nur mit einer derzeit nicht absehbaren Beschleunigung der technologischen Entwicklung erreichbar. Alternativ beim Eintreffen einer laut Autoindustrie wahrscheinlichen technologischen Entwicklung ist dieses Ziel nur mit einer deutlichen Erhöhung des Treibstoffpreises für den Verbraucher erreichbar. Dies setzt z.B. eine in den nächsten 16 Jahren schrittweise auf 150 % des heutigen Treibstoffpreises anwachsende reale Treibstoffpreissteigerung voraus, die durch eine Treibhausgasabgabe und/oder Treibstoffpreissteigerung auf Grund der Produktionskosten oder Rahmenbedingungen des Energiemarktes bewirkt werden kann. Kaufprämien wirken spürbar erst ab einer Höhe von etwa 4.000 bis 5.000.- € pro Elektroauto und sind nur schwer zu finanzieren und in dieser Höhe politisch kaum zu argumentieren.
- Elektromobilität aus betriebswirtschaftlicher Nutzersicht:** Aus Nutzersicht ist in dem nächsten Jahrzehnt nicht zu erwarten, dass die Pkw-Betriebskosten eines Elektroautos unter Einrechnung der Investitionen mit dem herkömmlichen Pkw konkurrieren können. Eine Senkung der Betriebskosten unter das Niveau herkömmlicher Autos ist nur mit Einführung einer hohen Kaufprämien von mindestens € 5.000.- und/oder bei starken Treibstoffpreissteigerungen von mehr als 100 % zu erwarten.
- Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Elektromobilität:** Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der Nutzen der Elektromobilität eindeutig positiv. Der positive Nutzen ergibt sich vor allem durch die Reduktion der Abgasemissionen und der Treibhausgase. Der absolute gesamtwirtschaftliche Nutzen ist bei einer starken bzw. raschen technologischen Entwicklung der Elektromobilität und bei starken Treibstoffpreiserhöhungen auf Grund steigender Produktionskosten bzw. Marktpreise hoch. Unter der Voraussetzung einer mittleren technologischen Entwicklung, die als sehr wahrscheinlich einzuschätzen ist, kann der gesamtwirtschaftliche Nutzen vor allem durch eine Treibstoffabgabe auf den Treibstoffpreis maximiert werden. Wenn diese Einnahmen zweckgebunden zur Forschungsförderung der Elektromobilität verwendet wird, kann damit ein Synergieeffekt erreicht werden, der die technologische Entwicklung antreibt.

Maßnahmen:

1. Förderung der Technologieentwicklung der E-Mobilität, besonders von Klein- und Mittelklassefahrzeugen
2. Einführung indirekter Maßnahmen zur Förderung der E-Mobilität (Internalisierung externer Kosten (CO₂-Abgaben), Ausbau des Angebots von Alternativen, z. B. Mobilitätspackages – E-Pkw für „last urban/rural mile“ kombiniert mit Langstrecken-ÖV, Kauf von „Mobilität“ statt Pkw)
3. Bewusstseinsbildung und Information zu E-Fahrzeugen und ihrer Nutzung

Tabelle 2.7.23: Einteilung der Maßnahmen zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung der Elektromobilität nach Zielgruppen

	Forschung	Industrie	Politik	Verkehrsbetriebe
Maßnahme 1			✓	
Maßnahme 2			✓	✓
Maßnahme 3	(✓)		✓	

2.7.3.3 Fahrzeug- und Batterieanforderungen

Erkenntnisse:

- Für die Bewertung von Batterielebensdauer im Zusammenhang mit Ladesteuerung ist ein exaktes Batteriemodell erforderlich, welches nicht nur die SOC-Abhängigkeit, sondern auch die Leistungs- und Stromabhängigkeit berücksichtigt.
- Die thermische Belastung der Batterie stellt bei Normalladung (3,7 kW) keine Problematik dar.
- Schnellladung ist nur in beschränktem Maße möglich. Eine Obergrenze für Ladeleistung ist auf Grund von Batterietemperatur und Belastung von Netzkomponenten vorhanden.
- Unterschiedliche Fahrzeugklassen erfordern unterschiedliche Hochspannungsbereiche. Um elektrische Fahrzeuge effizient betreiben zu können ist auch eine Abstimmung der dazugehörigen Leistungselektronik (Spannungsniveau) erforderlich.
- Zellenanordnung in der Batterie, Kühlungsart und Umgebungstemperatur stellen wesentliche Punkte der Temperaturentwicklung und Betriebsgrenzen des Energiespeichers dar.
- Bei Fahrzeugen mit integrierten Range Extender ist die zusätzliche elektrische Leistung für den Betrieb ausschlaggebend, nicht das anfallende Mehrgewicht.

- Die Auslegung der elektrischen Antriebskomponenten sollte auf das Einsatzgebiet und die Einsatzart des elektrischen Fahrzeuges angepasst werden, da sonst der Energieverbrauch insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten erheblich ansteigt und sich die Reichweite dementsprechend verringert. Für jede Kombination (Fahrzeug und Fahrzyklus) gibt es eine optimale Konfiguration des Antriebsstranges, welche maximale Fahrperformances bei minimalem Energieverbrauch bietet.
- Um die Reichweite des Fahrzeugs zu erhöhen sollte die Höchstgeschwindigkeit begrenzt werden. Anderenfalls steigt der Fahrleistungsbedarf überproportional zu der Fahrzeuggeschwindigkeit an und es müsste für den gleichen Fahrzyklus eine größere Batterie verwendet werden.
- Um elektrische Fahrzeuge effizienter zu betreiben sollte speziell bei Betrieb in großen Geschwindigkeitsbereichen ein schaltbares mechanisches Getriebe (z.B. 2 Stufen) verwendet werden. Dadurch kann die elektrische Antriebsmaschine in optimaleren Arbeitspunkten betrieben werden.
- Aus den gemessenen und behandelten Kombinationen (Fahrzeug und Fahrzyklus) im Projekt SEM, erwiesen sich folgende Batteriegrößen als zweckmäßig: Kleinwagen (15,5kWh), Mittelklasse (22,1 kWh), SUV und Transporter (31 kWh)

Maßnahmen:

1. Forschung im Bereich der Nebenaggregate, damit die Reichweiten-Abhängigkeit der Elektrofahrzeuge vom Zusatzverbrauch ermittelt werden kann.
2. Entwicklung detaillierter, thermischer Batteriemodelle zur genauen Darstellung der Temperaturprofile.
3. Entwicklung von Gesamtfahrzeugmodellen zur genaueren Identifizierung von Wärme- und Energieflüssen.
4. Erarbeitung intelligenter Betriebsstrategien zur optimalen Nutzung und Verteilung anfallender Wärme- und Energiemengen.
5. Genauere Untersuchungen bezüglich Nutzung von Range Extender (Leistungsklasse, Betriebsstrategie).
6. Forschungsarbeiten bezüglich Batteriealterung bei verschiedenen Ladestrategien durchführen.

Tabelle 2.7.24: Einteilung der Maßnahmen zu Fahrzeug- und Batterieanforderungen nach Zielgruppen

	Forschung	Industrie	Politik	Verkehrsbetriebe
Maßnahme 1	✓	✓		
Maßnahme 2	✓			
Maßnahme 3	✓			
Maßnahme 4	✓			
Maßnahme 5	✓	✓		
Maßnahme 6	✓			
Maßnahme 7		✓	✓	✓

2.7.3.4 Ladeinfrastruktur (Erfordernisse und Kosten)

Erkenntnisse:

- **Erfüllbarkeit mit Normalladung:**
 - Einflussgrößen der Erfüllbarkeit von Fahrprofilen sind die Batteriegröße, die Ladeleistung und der Ladestellenausbau (Art und Ort). Die Batteriegröße ist das wesentlichste Kriterium.
 - Energetisch relevante Standorte sind (entsprechend ihrer langen und regelmäßigen Stehdauer) „Zuhause“ und „Arbeitsplatz/Ausbildung“ sowie ausgewählte „Freizeiteinrichtungen“. An diesen Stellen sollte Ladeinfrastruktur vorrangig entstehen.
 - Für Ladeinfrastruktur an den Standplatzorten Zuhause und Arbeitsplatz/Ausbildung sowie bei ausgewählten Freizeitstandorten sind max. Anschlussleistungen von 3,7 kW auf Grund der relativ langen Standzeiten ausreichend.
 - Im Segment Kleinwagen und Mittelklasse ist Normalladung für einen großen Anteil der betrachteten Fahrzeuge ausreichend.
- **Schnellladeinfrastruktur für Österreich**
 - Schnellladeinfrastruktur kann die Erfüllbarkeit von Fahrprofilen bei längeren Distanzen (zumeist Freizeitfahrten) deutlich erhöhen.
 - Diese Analyse zeigt die Mindestanforderung an Schnellladestellen einzelner Pkw für das Zurücklegen von Distanzen zwischen zwei beliebigen Orten innerhalb Österreichs auf dem hochrangigen Straßennetz (Autobahn, Schnellstraße). Durchdringungsszenarien sind nicht berücksichtigt.
 - Bei Entfernungen von bis zu 100 km zwischen den Schnellladestationen werden unter den getroffenen Rahmenbedingungen österreichweit mind. 24 Einrichtungen benötigt.
 - Bei Entfernungen von bis zu 70 km zwischen den Schnellladestationen sind mind. 38 Einrichtungen bei gegebenen Rahmenbedingungen vorzusehen.

- **Kostenanalyse** der Ladeinfrastruktur
 - Die Kosten setzen sich aus mehreren Komponenten zusammen. Neben der Hardware der Ladestation zählen die Errichtung der Ladestation bzw. Parkmöglichkeit und die Errichtung des Netzanschlusses zu den Investitionskosten. Zusätzlich fallen auch laufende Kosten an (Standplatz, Wartung und Netzanschluss).
 - Die Materialkosten der Ladestation steigen exponentiell mit der max. Anschlussleistung je Fahrzeug. Öffentliche Ladestationen sind verglichen mit privaten und halböffentlichen Ladestellen mit gleicher Ladeleistung in der Investition wie auch im laufenden Betrieb teurer.

Maßnahmen:

1. Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht sollten die Orte Zuhause, Arbeitsplatz und ev. Freizeit mit Normalladestellen (3,7 kW) ausgestattet werden.
2. Verifikation der Ladeinfrastrukturergebnisse durch größere Langzeitdaten-Stichprobe
3. Ladeinfrastrukturkonzepte für Straßenrandparker sind zu prüfen und ggf. entwickeln.
4. Forschungsarbeiten bzgl. Einführung und Erfordernisse einer Schnellladeinfrastruktur für ganz Österreich sollte tiefergehend durchgeführt werden.
5. Entwicklung höherer Batteriespeicherdichten für eine flächendeckende Einführung der Elektromobilität (höhere Reichweiten).

Tabelle 2.7.25: Einteilung der Maßnahmen zu Ladeinfrastruktur nach Zielgruppen

	Forschung	Industrie	Politik	
Maßnahme 1		✓		
Maßnahme 2	✓			
Maßnahme 3	✓	✓	✓	
Maßnahme 4	✓			
Maßnahme 5	✓			

2.7.3.5 Ladeverhalten und Netzintegration

Erkenntnisse:

- **Ungesteuertes Laden** der Elektroautos wird zwangsweise zu einer Erhöhung der Abendspitze im elektrischen Netz führen.
- Eine Ausweitung der Ladestellen auf sämtliche Standplatz-Orte kann das Ladeprofil beeinflussen, aber zu den Spitzenzeiten nicht wesentlich reduzieren.
- Höhere Ladeleistungen (ohne zusätzlichen Zwischenhalt) führen nicht zu größerer Erfüllungsrates der Fahrprofile. Es entstehen kürzere, jedoch auch höhere Lastspitzen, was netztechnisch keine Verbesserung darstellt.

- Der Gleichzeitigkeitsfaktor (Verhältnis von maximal auftretender zur installierten Leistung) des Ladens von Elektrofahrzeugen klingt mit zunehmender Fahrzeugzahl stark ab. Ab 300 Fahrzeugen beträgt die Gleichzeitigkeit nur mehr 0,25-fache der installierten Leistung (3,7 kW). Bei einer Leistung von 11 kW beträgt die Gleichzeitigkeit bei 300 Fahrzeugen nur 0,12.
- **Ladesteuerung:** Zur Verringerung oder Vermeidung von Spitzenlasten ist eine Ladesteuerung vorzusehen. Zahlreiche Varianten sind möglich. Die direkte Nutzung von erneuerbaren Energien ist aufgrund mehrerer Faktoren (Effizienzerhöhung, Netzthemen, etc.) vorteilhaft.
- Zwei Ladestrategien mit direkter Photovoltaiknutzung zeigen sehr gute Eigenschaften für den praktischen Einsatz (hoher energetischer Deckungs- und Integrationsgrad bis an die 75 %).
- Höchste Deckungsraten sind zu erzielen, wenn Photovoltaik und Ladeinfrastruktur zuhause nur am Arbeitsplatz ausgebaut werden. Eine Errichtung von Photovoltaik und Ladeinfrastruktur bei Park&Ride, Firmen und dgl. ist deswegen zu unterstützen.

Maßnahmen:

1. Entwicklung und Aufbau von Ladeinfrastruktur mit der Möglichkeit auf Nachrüstung zur Ladesteuerung.
2. Förderung und Aufbau von Kombi-Paketen: Photovoltaikanlagen und Ladestellen am selben Ort mit abgestimmter Ladesteuerung.
3. Konkrete Netzbetrachtungen im Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz (Berücksichtigung von unsymmetrischen Belastungen von Erzeugung und Verbrauch)
4. Gesamtszenarien des zeitlichen Ladebedarfs und der Ladesteuerungsmöglichkeit für Österreich ermitteln
5. Modellentwicklung für Prognose von Erzeugung und Verbrauch, damit Deckungsraten und Netzverträglichkeit steigen.

Tabelle 2.7.26: Einteilung der Maßnahmen zu Ladeverhalten und Netzintegration nach Zielgruppen

	Forschung	Industrie	Politik	
Maßnahme 1		✓		
Maßnahme 2	✓	✓	✓	
Maßnahme 3	✓			
Maßnahme 4	✓			
Maßnahme 5	✓			

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen – Zusammenfassung

Das Projekt Smart Electric Mobility liefert Antworten auf energietechnische und nutzerorientierte Herausforderungen und Chancenfelder der Elektromobilität im Individualverkehr.

Eine konzipierte und durchgeführte GPS-Langzeiterhebung des Verkehrsverhaltens diente zur Erstellung eines wichtigen Datenstamms im fahrzeugbezogenen Analyseverfahren, welcher umfassend im Projekt SEM angewendet wurde und für weitere Analysen im Verkehrs- und Energiebereich zur Verfügung steht.

Aus Sicht der Verkehrsgrundlagenforschung im Bereich des **Nutzerverhaltens** ist ein Individualverhaltensmodell entstanden, welches es erlaubt, Kaufwahrscheinlichkeiten für Pkw mit unterschiedlichen Antriebstechnologien unter bestimmten Rahmenbedingungen vorherzusagen. Mit der Methode (Befragungsablauf und -design), welche bei der vertieften Nutzerbefragung angewandt wurde, konnten sehr gute Erfahrungen gesammelt werden.

Mit Hilfe des Nachfragemodells (AP6) können E-Pkw-Neuwagenanteil in den verschiedenen Trendszenarien prognostiziert werden. Ein Vergleich mit anderen Studien zeigt, dass die SEM-Ergebnisse als sehr reale Schätzungen interpretiert werden können. Letzteres ist auch durch den verwendeten situationsbedingten Erhebungs- und Kaufmodellansatz bedingt, der eine sehr realistische Schätzung durch die NutzerInnen sicherstellt. Ein wesentliche Erkenntnis der Nachfragestudie liegt darin, dass die erwünschten Anteile der Elektroautos an Neuwagen nur durch eine deutliche Verbesserung der Technologie im Sinne einer deutlichen Senkung der Kaufpreise und /oder einem signifikanten Anstieg der Treibstoffpreise erreicht werden kann. Letzteres kann auch durch z.B. eine Treibhausgasabgabe-Abgabe auf den Treibstoffpreis erreicht werden. Kaufprämien durch die öffentliche Hand in einer Größenordnung von bis zu € 5.000,- pro Elektroauto haben nicht den erwünschten Effekt und stellen eher eine Vergeudung öffentlicher Mittel dar (siehe gesamtwirtschaftliches Bewertungsverfahren, AP7).

Zur Untersuchung der geplanten elektrischen **Fahrzeugkonzepte** wurde eine physikalische bzw. numerische Simulation erstellt. Die Simulation wurde im Simulationsprogramm DYMO-LA auf Basis der MODELICA Standard Bibliotheken entwickelt. Das Simulationsmodell umfasst sämtliche Fahrwiderstände eines Kraftfahrzeugs wie Luftwiderstand, Rollwiderstand und Steigungswiderstand. Der gesamte Antriebsstrang des Fahrzeugs mit den relevanten Transmissions- und Antriebskomponenten, wie Getriebe und Räder, wurde implementiert, inklusive der Modellierung der elektrischen Komponenten wie Batterie und elektrischer Maschine. Ebenso wurden die Regel- und Steuerkomponenten aufgebaut.

Die thermische Belastung der Batterie stellt bei Normalladung keine Problematik dar, wobei die Schnellladung nur in beschränktem Maße (einmal pro Tag und Fahrzeug / Obergrenzen für Ladeleistung auf Grund von Batterietemperatur oder Standort) möglich wäre. Unterschiedliche Fahrzeugklassen erfordern, abhängig von Fahrleistungen bzw. Fahrzyklen, un-

verschiedene Hochspannungsbereiche der Batterie und der elektrischen Maschine. Um elektrische Fahrzeuge effizient betreiben zu können ist auch eine Abstimmung der dazugehörigen Leistungselektronik (Spannungsniveau) erforderlich.

Bei Fahrzeugen mit integriertem Range Extender ist die zusätzliche elektrische Leistung ausschlaggebend für den Betrieb und die Reichweitenerhöhung, nicht für das anfallende Mehrgewicht des Fahrzeugs. Genauere Untersuchungen bezüglich Nutzung von Range Extender (Leistungsklasse, Betriebsstrategie usw.) in Kombination mit Normal- und Schnellladung der Batterie sollten durchgeführt werden.

Aus Sicht des **Energiesystems** konnten wertvolle Aussagen zum ungesteuerten Ladeverhalten der Elektrofahrzeuge gewonnen werden, die eine Abschätzung für unterschiedliche Marktdurchdringungen zulassen. Die entwickelte Lastprofilmethodik sowie die Gleichzeitigkeit stellen für die Energiesystembetrachtung praxistaugliche Hilfsmittel dar. Für ein großes Fahrzeugkollektiv kann bei ungesteuertem Laden eine zusätzliche Abendlastspitze von 0,5 bis 0,7 kW pro Elektroauto erwartet werden. Die Gleichzeitigkeit der Maximalbelastung geht bei mehreren hundert Fahrzeugen je nach Ladeleistung zumindest auf Werte unter 0,3 zurück. Eine Marktdurchdringung von 50 % E-Fahrzeuge würde jedoch die Netzspitzenbelastung um ca. 58 % erhöhen.

Es wurden mehrere Ladestrategien unter direkter Nutzung von erneuerbaren Energien (Photovoltaik) entwickelt und analysiert. Die Ergebnisse zeigen unter gegebenen Rahmenbedingungen eine hohe Rate an Deckungsgrad der Elektromobilität und hohem Integrationsgrad der PV von bis zu 75 %. Die Ladestrategien werden in aufbauenden Projekten weiter eingesetzt und verbessert.

Die erstmals verfügbaren Datenstrukturen des Nutzerverhaltens zeigen bzgl. Standortverteilung die für Ladeinfrastruktur relevanten Plätze an. Die Sensitivitätsanalysen der Parameter sowie die Erfüllbarkeitsanalysen ergeben deutlich den Zielbereich reiner Elektrofahrzeuge (Kleinwagen und Mittelklasse). Es resultiert daraus die Ladeinfrastrukturanforderung, die zum überwiegenden Teil mit heute üblichen Ladeleistungen und an wenigen energetisch wirksamen Hauptstandorten (Zuhause, Arbeitsplatz/Ausbildung) technisch erfüllbar ist. Wichtigstes Kriterium bei der Erfüllbarkeit ist die Batteriegröße. Speziell die Freizeitfahrten, die zumeist längere Distanzen aufweisen, erfordern Alternativen zum Normalladen. Hierfür wurden einige Konzepte wie Schnellladung und Wegsubstitution durchexerziert und mögliche Verteilungspläne konzipiert. Die Schnellladung kann vorwiegend auf mittleren Distanzen bis derzeit 200 km eine Option darstellen und die Reichweite erhöhen. Sehr lange Distanzen werden auch mit der Schnellladung keine Sinnhaftigkeit erfahren, da die Leistungsaufnahme wie auch die Batteriekapazität beschränkt sind und somit die erforderliche Stehdauer zum Schnellladen proportional ansteigt.

Zukünftig sollen diese Aussagen erweitert werden und in detaillierteren Modellen diversifiziert werden (Wochentagsunterscheidung, verteilte Anordnung der Fahrzeuge, elektrische Netzbetrachtungen, Regionale Unterscheidungen und Gesamtbetrachtung Österreichs, etc.).

Basierend auf dem Kaufnachfragemodell wurden verschiedene Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklung der Technologie von Elektroautos, des Treibstoffpreises und

von Anreizmaßnahmen zur Förderung der Elektromobilität entwickelt. Das **gesamtwirtschaftliche Bewertungsverfahren** beinhaltet die folgenden Wirkungskomponenten

- der Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur für Elektroautos,
- der Fahrzeugbetriebskosten,
- der Umweltkosten inklusive der Klimakosten.

Der gesamtwirtschaftliche Nutzen der untersuchten Bewertungsszenarien wurde aus der monetär dargestellten Nutzen-Kostendifferenz der definierten Bewertungsszenarien mit dem zugehörigen Referenzszenario ermittelt. Das Bewertungsergebnis beinhaltet für alle Bewertungsszenarien auch die gesamtwirtschaftliche Kostenwirksamkeit für die eingesparte Menge der Treibhausgase und den monetär ausgedrückten spezifischen Nutzen je zurückgelegtem Kilometer mit einem Elektroauto.

4 Ausblick und Empfehlungen

Die Wahl der Kombination der Fachgebiete Nutzer, Fahrzeug/Batterie und Energiesystem erwies sich als besonders förderlich. So kann ein Segment, welches in der Marktdurchdringung noch sehr spärlich vorhanden ist, sehr ausführlich durch synthetische Analysen beschrieben werden. Die detaillierte Empfehlungsliste für sämtliche Zielgruppen war Teil des Projekts SEM und ist im Abschnitt 2.7.3.1 zu finden. Für die drei im Projekt SEM beteiligten Fachgebiete ergaben sich durch das Projekt SEM weiterführende Elemente für Forschung und Entwicklung:

- Die Langzeiterhebung von fahrzeugspezifischen Verkehrsdaten (bisherige Analysen vorwiegend personenbezogen) mittels GPS-Loggern ist zukunftssträchtig. Größere Datenstichproben über das ganze Bundesgebiet sollten erstellt werden. Die Methodik zur Erhebung wurde im Projekt „Smart Electric Mobility“ erarbeitet. Es bedarf aber bei größeren Datenstichproben einer automatisierten Aufbereitung.
- Für die Etablierung von Elektromobilität sind direkte und indirekte Maßnahmen zur Förderung erforderlich, genauso wie eine umfassende Bewusstseinsbildung und Information. Hierbei sind nicht konventionelle, sondern neuartige Konzepte gefragt, die es gilt, vorab auf Wirksamkeit zu überprüfen.
- Die Fahrzeugbatterien konnten in bestimmten Konfigurationen bzgl. Normal- und Schnellladung auf thermische Erfüllbarkeit der Fahrprofile untersucht werden. Diese Analysen können zukünftig erweitert und exaktere Modelle entwickelt werden. Auf Grund der nun vorliegenden fahrzeugbezogenen Fahrprofile über mehrere Wochen sind Betriebsstrategien für Range Extender hinsichtlich Leistungserfordernisse umfangreich zu untersuchen.
- Für die Bewertung von Batterielebensdauer im Zusammenhang mit Ladesteuerung und Batteriebelastung ist ein exaktes Batteriemodell erforderlich, welches auch die Leistungs- und Stromabhängigkeit berücksichtigt. Hierzu sollten weitere Forschungsarbeiten stattfinden, die eine detaillierte Modellierung der elektrischen Antriebskomponenten, insbesondere Batterien, absichern sollen.
- Neben den technischen und ökologischen Aspekten, ist es hinsichtlich einer effizienten Umsetzung wesentlich, auch das wirtschaftliche Potential der elektrischen Fahrzeugkonzepte für Österreich zu untersuchen.
- Die erhobenen Ladeinfrastruktur-Erfordernisse erlauben Aussagen zu einem vorrangigen Ladestellenausbau. Eine größere fahrzeugbezogene Datenstichprobe könnte die Ergebnisse verifizieren und für die Fahrzeuggesamtheit und im regionalen Vergleich innerhalb Österreichs auf Erfüllbarkeit und Rahmenbedingungen prüfen.

- Die punktuelle Leistungsbetrachtung der Ladeprozesse sollte zukünftig auf verteilte Netzbetrachtung ausgedehnt und Aspekte der Unsymmetrie der Erzeugung und des Verbrauchs einbezogen werden. Hinsichtlich der effizienten Nutzung von erneuerbaren Energien sind Konzepte der erzeugungsorientierten Ladesteuerung (ev. unter Berücksichtigung von Prognosemodellen) zu forcieren.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Sammer, G., Meth, D., & Gruber, C. (2008): **Elektromobilität - Die Sicht der Nutzer.** In: Elektrotechnik und Informationstechnik, Ausgabe 11/2008, S. 393-399.
- [2] Herry, M., & Sammer, G. (1999). **Mobilitätserhebung österreichischer Haushalte.** Bundesverkehrswegeplan. Arbeitspaket A3-H2. Wien: Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr (Hrsg.): Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen. Band 87.
- [3] Eidgenössisches Department für Umwelt, V. E. (Juni 2005). **Untersuchung der Stabilität des Verkehrsverhaltens.** Abgerufen am 19. März 2010 von <http://www.ivt.ethz.ch/vpl/publications/reports/ab287.pdf>
- [4] Loechl, M. (2005). **Stability of Travel behaviour.** Travel Survey Metadata Series 16, 679. Zürich: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT, ETH Zürich.
- [5] Hössinger R., Link, Chr., Raser, E., Sammer, G., Stark, J., Lechner, J., Maier, G., Sonntag, A. (2011): **Emissionshandel und Straßenverkehr** - Potenzielle Design Optionen und deren Auswirkungen auf Verkehrsnachfrage und Flottenzusammensetzung in Österreich. (MACZE - Möglichkeiten und Auswirkungen eines EU-weiten CO₂-Zertifikatehandels für den Straßenverkehr Österreich). Forschungsbericht. Klima- und Energiefonds, Wien.
- [6] Tietz, H. (2007). **Systeme der Ver- und Entsorgung.** Wiesbaden: Teubner Verlag.
- [7] Linssen, J., Birnbaum, U., Markewitz, P., Martinsen, D., & Vögele, S. (2009). **Potenzialabschätzung zum Einsatz von Elektrofahrzeugen in Deutschland.** 6. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, (S. 7). Wien.
- [8] auto-motor-und-sport.de. (August 2009). <http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/smart-fortwo-electric-drive-der-elektro-smart-startet-im-november-1384131.html>.
- [9] auto-motor-und-sport.de. (März 2007). Leopard erobert Europa. In: auto-motor-und-sport.de. Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG.
- [10] Elektroauto Nissan Leaf wird günstig.<http://www.oe24.at/umwelt/Elektroauto-Nissan-Leaf-wird-guenstig-0703755.ece>. (Mai 2010).
- [11] ev'ie, C. C. (Juli 2010). <http://www.theelectriccarcorporation.co.uk/index.php>.
- [12] Voth, D. (Mai 2010). Erste Fakten zum E-Golf. In: autobild.de.
- [13] www.mitsubishi-motors.at/models/IMIEV. (Juli 2010).
- [14] Haas, Reinhard; Kloess, Maximilian; Könighofer, Kurt; Canella, Lorenza; Jungmeier, Gerfried; Prenninger, Peter; Weichbold, Andreas (2009) (2009): **Elektra - Entwicklung von Szenarien der Verbreitung von Pkw mit teil- und vollelektrifiziertem**

Antriebsstrang unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen. Endbericht, Projektnummer 816074, A3plus - Austrian Advanced Automotive Technology. Wien: TU Wien.

- [15] Kortus-Schultes, D. (. (2010). **Fahrerinnen und Fahrer von Pkw mit alternativen Antriebsenergien.** Schriftenreihe: Kompetenzzentrum Frau und Auto. Band 7: Nutzerprofile. Göttingen : Hochschule Niederrhein.
- [16] Steinkemper, H. (3 2010). **Wettlauf um die zweite Erfindung des Automobils. Elektromobilität als Baustein einer nachhaltigen Klima-, Energie- und Wirtschaftspolitik.** Internationales Verkehrswesen (62) , S. 17ff.
- [17] Austrian Automotive Association Service GmbH. (2010). **Elektromobilität in Österreich.** Momentaufnahme der Forschung und Industrie. Wien: Austrian Automotive Association Service GmbH.
- [18] Brauner, G. (2008). **Infrastrukturen der Elektromobilität.** In: Elektrotechnik & Informationstechnik, Ausgabe 11/2008, S. 382-386.
- [19] Klühspies, J. (2010). **Elektromobilität - Ein Trend zwischen Illusion, Hype und echter Perspektive.** In C. N. (Hrsg.), Elektromobilität - Teil II (S. 68). Wien: Club Niederösterreich.
- [20] Wolfsegger, C. (2010). **Elektromobilität: Chance für nachhaltige Mobilitäts Zukunft.** In C. N. (Hrsg.), Elektromobilität Teil I (S. 68). Wien: Club Niederösterreich.
- [21] Die besten Autos (Leserwahl) 2009. (Jänner 2009). auto-motor-und-sport.de, Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG .
- [22] (Juni 2010). Elektroautos stoßen auf große Akzeptanz. Pressemitteilung www.stromfahren.at.
- [23] Karmasin Motivforschung, Prolytic – Marketing Engineering, Consulting & Software GmbH. (2010). **Marktstudie E-Mobilität.** Wien.
- [24] Shell Deutschland Oil GmbH. (2009). **Shell Pkw-Szenarien bis 2030.** Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Hamburg: Shell Deutschland Oil GmbH.
- [25] Europäische Umweltagentur. (2010). **Towards a resource-efficient transport system,** TERM 2009: indicators tracking transport and environment in the European Union. Kopenhagen.
- [26] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.). (2002). **Generalverkehrsplan Österreich 2002.** Verkehrspolitische Grundsätze und Infrastrukturprogramm. Wien.
- [27] Bundeskanzleramt der Republik Österreich (Hrsg.). (2007). **Regierungsprogramm 2007-2010.** Wien.

- [28] Dorda, A. (2010): **Nationaler Einführungsplan Elektromobilität Österreich**. Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche. http://www.bmvit.gv.at/innovation/downloads/einfuehrungsplan_elektromobilitaet.pdf, aufgerufen am 09.03.2011.
- [29] Pötscher, F., Winter, R., & Lichtblau, G. (2010). **Elektromobilität in Österreich. Szenario 2020 und 2050**. Reports, Band 0257. Wien: ISBN: 978-3-99004-058-4.
- [30] (August 2009). Frankreich plant Stromzapfsäulen-Pflicht. Pressemitteilung http://www.bem-ev.de/news/2009/august/12_10.php.
- [31] Herry M., Steinacher I., Tomschy R. (2008, Amt der NÖ Landesregierung): **Mobilität in NÖ – Ergebnisse der landesweiten Mobilitätsbefragung 2008**, Ergebnisbericht, Wien 2008.
- [32] Infas, DLR (2010, Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung): **Mobilität in Deutschland 2008**, Ergebnisbericht, Bonn und Berlin, Februar 2010
- [33] Jossen A. und Weydanz W. (2006): **Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen**, Ubooks Verlag, Neusäß, 2006.
- [34] **Anschlussbedingungen der Oberösterreichischen Verteilnetzbetreiber**, <http://www.ooe-ausfuehrungsbestimmungen.at/de/776/>
- [35] Kiefer Gerhard (1999): **VDE 0100 und die Praxis**, Wegweiser für Anfänger und Profis, 9. Auflage, VDE Verlag, 1999.
- [36] Hartig Ralf (2001, TU Chemnitz): **Untersuchung zur Optimierung des Energiemanagements im Privatkundenbereich**, Dissertation an der Fakultät für Elektrotechnik, Thema Gleichzeitigkeiten, S. 47
- [37] Leitinger C., Litzlbauer M. (2011, TU Wien): **Netzintegration und Ladestrategien von Elektromobilität**, Fachbeitrag im Journal e&i des OVE, Heft 1-2/2011.
- [38] <http://www.vlotte.at/inhalt/at/105.htm> (24/11/2010)
- [39] http://www.lemnet.org/LEMnet_Land.asp?land=A (24/11/2010)
- [40] <http://www.vlotte.at/inhalt/at/97.htm> (24/11/2010)
- [41] <http://www.ftw.at/neuigkeiten/projektstart-fuer-kofla> (24/11/2010)
- [42] <http://www.e-connected.at/> (18/01/2011)
- [43] <http://www.electrodrive-salzburg.at/wie.php> (01/12/2010)
- [44] <http://www.salzburg-ag.at/infomenu/presse/presseaussendungen/presse/article/salzburg-ist-modellregion-fuer-elektromobilitaet-736/> (03/12/2010)
- [45] <http://www.electrodrive-salzburg.at/ladestationen.php> (03/12/2010)
- [46] Becks T., et al. (2010): **Wegweiser Elektromobilität**, VDE Verlag, Berlin.

- [47] <http://www.rwe-mobility.com> (03/12/2010)
- [48] Kloess M. (2011, TU Wien): **Potentials of hybrid and electric cars to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions in passenger car transport – Techno-economic assessment and model-based scenarios**, Dissertation, März 2011, Technischen Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.
- [49] Litzlbauer M. (2009, TU Wien): **Erstellung und Modellierung von stochastischen Ladeprofilen mobiler Energiespeicher in MATLAB**, Diplomarbeit, Oktober 2009.
- [50] <http://maps.google.at> (19/05/2011)
- [51] <http://www.kwf.at/wibis/elemente/druck/Karten/Oesterreich/Oesterreich.png> (19/05/2011)
- [52] <http://www.oeamtc.at/verkehrsservice/output/html/img/oesterreich.jpg> (19/05/2011)
- [53] Projekt „**V2G-Interfaces**“ (2011), TU Wien EEG, Siemens AG Österreich, ElectroDrive Salzburg und TU Wien ICT.
- [54] Projekt „**VLOTTE**“ (2011), illwerke vkw.
- [55] Fraunhofer ISI (2011): **Die Wirtschaftlichkeit von Ladeinfrastrukturkonzepten**, <http://www.fraunhofer-isi-cms.de/elektromobilitaet/> (19/05/2011).
- [56] Lunz B. (2011, RWTHAachen): **Ladeinfrastrukturkonzepte für Elektromobilität**, Life needs power, 05. April 2011, Hannover.
- [57] Bickert S. (2011, Forschungszentrum Jülich GmbH): **Total Costs of Ownership von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung von Batteriekosten, Wertverlust und Batteriealterung**, HdT-Tagung „Kraftwerk Batterie - Lösungen für Automobil und Energieversorgung“, 01. – 02. März 2011, Aachen.
- [58] Kley F. (2011, Fraunhofer ISI): **Assessment of Future EV Charging Infrastructure**, International Advanced Mobility Forum, 10. März 2009, Genf.
- [59] Biermayr et.al. (2011, TU Wien): **Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2010**, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 26/2011, S.20
- [60] Axhausen, K. & Sammer, G. (2001): **Hypothetische Märkte als Befragungsthema** (Hypothetical markets as a topic of surveys). In: Internationales Verkehrswesen, Heft 6, 53. Jahrgang, S. 274-278, Deutsche Verkehrs-Verlags GmbH, Hamburg.
- [61] Axhausen, K. (2003). **Befragungsmethoden für hypothetische Märkte**. In H.-D. K. G. Steierwald, Stadtverkehrsplanung. Heidelberg: Springer.
- [62] Köstenberger, H., Fallast, K., Sammer, G., Brög, W. & Schwertner, B. (1983): **Verkehrsverhalten der Grazer Wohnbevölkerung**, Grundlagenuntersuchung. Verlag für die technische Universität Graz.

- [63] Pfaffenbichler, Paul; Emmerling, Bettina; Jellinek, Reinhard, Krutak, Robin (2009): **Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“**. Endbericht. Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (Hrsg), Wien.
- [64] Roland Berger Consultants (Hrsg.)(2009): Powertrain 2020. **China's ambition to become market leader in E-Vehicles**.
www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_China_20090512.pdf, aufgerufen am 11.03.2011.
- [65] Sammer, G. (2003): Ensuring Quality in Stated Response Surveys. In: P. Stopher and P. Jones (Hrsg.): **Transport Survey Quality and Innovation**. Pergamon Oxford. S. 365-375.
- [66] Sammer, G., Gruber, Ch. & Röscher G. (2006): **Quality of Information and Knowledge about Mode Attributes in Mode Choice**. In: Proceedings of the 11th International conference on Travel Behaviour Research, Session S1 Travel behavioural analysis, modelling and forecasting, Kyoto, 16-20, August 2006.
- [67] Sammer, G. & Klementsitz, R. (2011): **Rankingmodell zur Evaluierung und Förderung von Umweltverbundmaßnahmen**. Vorschlag eines Bewertungsverfahrens. Wien.
- [68] Schlick, Thomas; Hertel, Guido; Hagemann, Bernhard; Maiser, Eric; Kramer, Michael (2011): **E-Mobility – a promising field for the future**. Opportunities and challenges for the German engineering industries. Roland Berger Strategy Consultants, VDMA.
- [69] Shell Deutschland Oil GmbH (2009): **Shell Pkw-Szenarien bis 2030**. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Hamburg: Shell Deutschland Oil GmbH.
- [70] Statistik Austria (2011a): **Statistisches Jahrbuch 2011**. Wien.
- [71] Statistik Austria (2011b): **Kfz-Zulassungen 2010**. Wien.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge/_neuzulassungen/index.html; aufgerufen am 22.04.2011
- [72] Vermunt, J., & Magidson, J. (2005). **Latent Gold Choice 4.0 Users Guide**. Belmont: Statistical Innovations, Inc. .
- [73] Wittink, D. V. (1994): **Commercial use of conjoint analysis in Europa: results and critical reflections**. In: International Journal of Research in Marketing, 11 (1), S. 41-52.
- [74] Bickel, P., Sieber, N., Arampatzis, G., Esposito, R., Fagiani, P., Hunt, A., Kelly, Ch., Laird, J., Odgaard, T., Ricci, A. (2006): **HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment**, Sixth Framework Programme 2002 – 2006, FP6-2002-SSp-1/502481. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.

- [75] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (Hrsg.) (2011): **Energiestatus Österreich 2011**. Wien.
- [76] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.) (2009): **Verkehrsprognose Österreich 2025+**. Wien.
- [77] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.) (2006): **Leitfaden zur Erstellung des Umweltberichtes im Rahmen der strategischen Prüfung – Verkehr für Netzveränderungen im hochrangigen Bundesverkehrswegenetz (SP-V-Leitfaden)**. Wien.
- [78] Helmers, E. (2010): **Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe - auf dem Weg vom Diesel-Pkw-Boom zu Elektroautos**. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Ausgabe 22, S. 564-578, Springer, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.
- [79] Herry, M. (2007): **Verkehr in Zahlen**. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- [80] Intraplan Consult GmbH, Verkehrswissenschaftliches Institut Stuttgart GmbH (2006): **Standardisierte Bewertung von Verkehrsweeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs**. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. München und Stuttgart.
- [81] Kaltschmitt, M.; Streicher, W. (2009): **Ökologische und ökonomische Aspekte einer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Österreich (Teil 2)**. In: VEÖ-Journal 11/12/2009, S. 43 – 47, Hamburg.
- [82] Schuster, A., Leitinger, Chr. (2010): **Wissenschaftliche Begleitforschung in der Elektromobilitäts-Region VLOTTE**, TU Wien.
- [83] Sammer, G., Stark, J., Link, Ch. (2011): **Einflussfaktoren auf die Nachfrage nach Elektroautos**. In: Elektrotechnik und Informationstechnik, Heft 1-2, S. 22-27, Springer, Wien.
- [84] Snizek+Partner Verkehrsplanung (2010): **S1 Wiener Außenring Schnellstraße Schwechat-Süßenbrunn**. Im Auftrag von Asfinag Bau Management, Wien.
- [85] Anderl M., Bednar W., Böhmer S., et al (2010): **Klimaschutzbericht 2010**, Umweltbundesamt, Wien.
- [86] Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen (2002): **Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen**, RVS 02.01.22. Wien.

6 Anhang

6.1 Anhang 1: Eingangsgrößen für die Variablen des Bewertungsverfahrens

Anhang 1 listet die verwendeten Eingangsdaten für das Bewertungsverfahren mit den zugehörigen Quellenangaben auf (siehe Kapitel 2.7.2.3).

Anhang 1: Verwendete Eingangsgrößen für die Variablen des Bewertungsverfahrens mit Quellenangabe für die Ermittlung des Mengen- und Wertgerüsts; Monetäre Werte beziehen sich auf eine Preisbasis Jänner 2010.

Bezeichnung der Eingangsvariable	Eingangsvariable	Quelle für Datenbasis
Einwohner im Untersuchungsgebiet 2010	3.610.835 Personen	[70]
Bestand Pkw 2010 im Untersuchungsgebiet	1.812.083 Pkw	[71]
davon Elektroautos	0,007%	[71]
Pkw Neuzulassungen 2010 im Untersuchungsgebiet	134.064 Pkw	[71]
davon Elektroautos	0,034%	[71]
Bestand Pkw 2025	2.137.457 Pkw	[84]
Pkw Neuzulassungen 2025	158.137 Pkw	[84]
jährliche Pkw-Fahrleistung im Untersuchungsgebiet 2010	25.159 Mio. Pkw-km/a	[84]
jährliche Pkw-Fahrleistung im Untersuchungsgebiet 2025	30.960 Mio. Pkw-km/a	[84]
Durchschnittliche Jahreskilometerleistung der Pkw im Untersuchungsgebiet 2010	13.884 km/a	[70]
Durchschnittliche Jahreskilometerleistung der Pkw im Untersuchungsgebiet 2025	13.544 km/a	[84]
durchschnittlicher Pkw-Besetzungsgrad	1,18 Pers./Pkw	-
durchschnittliche Tür-zu-Tür Geschwindigkeit	30 km/h	-
durchschnittliche Weglänge MIV	12 km	[79]
Mittlere Reisezeitkosten der Verkehrsteilnehmer	10,55 €/h	[86], gewichtet nach Verteilung der Verkehrszwecke für Wien
Unfallrate Pkw-Innerorts – Getötete	0,009 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Unfallrate Pkw-Innerorts – Schwer Verletzte	0,232 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Unfallrate Pkw-Innerorts – Leicht Verletzte	1,359 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Unfallrate Pkw-Außerorts – Getötete	0,008 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Unfallrate Pkw-Außerorts – Schwer Verletzte	0,080 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Unfallrate Pkw-Außerorts – Leicht Verletzte	0,247 Pers./Mio. Fzg. km	[80]
Anteil der verkehrslärmgestörten Personen an Anwohnern von Straßen	19%	[70] (schwere und mittlere Beeinträchtigung)
Durchschnittliche Fahrzeugkilometer/EW und Tag	24km/24h	[84]

Bezeichnung der Eingangsvariable	Eingangsvariable	Quelle für Datenbasis
Anteil des Innerortsverkehrs für die motorisierten Wege Pkw	70%	-
Anteil des Innerortsverkehrs für die motorisierten Wege Elektroauto	75%	-
Pkw-Fahrzeugbetriebskosten 2010 (inklusive Energiekosten), ohne Steuern und Abgaben	0,29 €/km	[80]
Emissionen Pkw NOx	0,59 g/km	[74]
Emissionen Pkw flüchtige organische Verbindungen NMVOC	0,163 g/km	[74]
Emissionen Pkw Feinstaub PM10	0,035 g/km	[74]
Emissionen Pkw Feinstaub PM2,5	0,014 g/km	[74]
Emissionen Pkw CO ₂	158 g/km	[78]
Emissionen Elektroauto NOx	0,066 g/km	[78]
Emissionen Elektroauto flüchtige organische Verbindungen NMVOC	0 g/km	Hochgerechnet nach [78] und [81]
Emissionen Elektroauto Feinstaub PM10	0,0065 g/km	Hochgerechnet nach [78] und [81]
Emissionen Elektroauto Feinstaub PM2,5	0,0026 g/km	[78]
Emissionen Elektroauto CO ₂	70 g/km	[75]
Reisezeitkostensatz Geschäftsverkehr	30,15 €/h	[86]
Reisezeitkostensatz Berufspendelverkehr	11,06 €/h	[86]
Reisezeitkostensatz sonstiger Verkehr	8,04 €/h	[86]
Gemittelter Kostensatz über alle Verkehrszwecke (Gewichtung nach Verteilung der Verkehrszwecke Wien)	10,55€/h	Berechnung auf Basis [86]
Kostensatz für 1 getötete Person	2.851.141 €/Person	[86]
Kostensatz für 1 schwerverletzte Person	337.404 €/Person	[86]
Kostensatz für 1 leichtverletzte Person	24.205 €/Person	[86]
Kostensatz für 1 lärmgestörte Person	1.005 €/Person	SPV-Leitfaden 2006
Schadstoffemission Nox	10.251 €/t	[86]
Schadstoffemission NMVOC (Kohlenwasserstoffe und Methan)	2.010 €/t	[86]
Schadstoffemission PM10 (Stadtgebiet)	100.500 €/t	[86]
Schadstoffemission PM10 (Außerorts)	30.150 €/t	[86]
Schadstoffemission PM 2,5 (Stadtgebiet)	301.500 €/t	[86]
Schadstoffemission PM10 (Außerorts)	80.400 €/t	[86]
Klimakosten CO ₂	245 €/t	[80]

6.2 Anhang 2: Eingangsvariablen in das Bewertungsverfahren für das Untersuchungsgebiet Ostregion

Anhang 2 gibt einen Überblick über die definierten Eigenschaften und Rahmenbedingungen und über die Eingangsvariablen der untersuchten Bewertungsszenarien für das Bewertungsverfahren. Die gesamtwirtschaftlichen Fahrzeugbetriebskosten für Pkw bzw. Elektroautos sind als Mittelwert über den Betrachtungszeitraum unter den jeweiligen Bedingungen des Bewertungsszenarios dargestellt. Zum Überblick sind auch die verfügbaren Angaben aus dem „Nationalen Einführungsplan Elektromobilität“ aufgenommen (siehe Kapitel 2.7.2.3).

Anhang 2: Eingangsvariablen in das Bewertungsverfahren für das Untersuchungsgebiet Ostregion

Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklungen der Technologie, des Treibstoffpreises, von Anreizmaßnahmen für Elektromobilität		Annahmen aus dem Kaufnachfragemodell AP6			Fahrzeug- betriebskosten Mittelwert 2010 - 2025 [€/km]	Marktdurchdrin- gung Neuzulas- sungen 2025 [Anteil Elektroautos an Neuzulassun- gen]	Marktdurchdrin- gung Pkw- Bestand 2025 [Anteil Elektroautos am Pkw-Bestand]	Jahresfahr- leistung Elekt- roautos 2025 [Mio. Pkw- km/Jahr]
		Eigenschaft / Rahmenbedingung	2010	2025				
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung								
ETO	Fortschreibung des Ist-Zustandes	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014			Pkw: 0,29 €/km	1,2% 1.908 Elektroau- tos	0,6% 12.961 Elektroau- tos	148,3 Mio. Pkw- km/Jahr
		Reichweite Elektroauto	150 km	150 km				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Indexangabe)	100%	116%	Elektroauto: 0,30 €/km			
ET1	mittlere technolo- gische Entwick- lung der Elektroau- tos (Durch- schnittsszenario der Fahrzeugin- dustrie)	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,29 €/km	5,7% 8.989 Elektroau- tos	2,2% 47.747 Elektroau- tos	594,8 Mio. Pkw- km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km	Elektroauto: 0,31 €/km			
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; In- dexangabe auf Basispreis)	100%	70%				

		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Indexangabe)	100%	116%					
ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse			ab 2012	Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	13,1% 20.652 Elektroautos	4,6% 97.609 Elektroautos	1.244,2 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse			ab 2014				
		Reichweite E- Auto	150 km	300 km					
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	60%					
		Treibstoffpreis (reale Preise)	100%	116%					
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien									
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2014			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos	148,3 Mio. Pkw-km/Jahr	
		Reichweite Elektroauto	150 km	150 km					
		Kaufpreis Elektroauto	100%	86%					
		Treibstoffpreis (reale Preise)	100%	116%					
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	6,1% 9.623 Elektroautos	2,4% 51.079 Elektroautos	636,3 Mio. Pkw-km/Jahr	
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016							
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km					
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	70%					
		Kaufprämie	€ 1.000,-	€ 1.000,-					
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Indexangabe)	100%	116%					
KP2	hohe Kaufprämie	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab							

mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	2013			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,28 €/km	8,1% 12.743 Elektroautos	3,2% 67.471 Elektroautos	840,5 Mio. Pkw-km/Jahr	
	Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016							
	Reichweite Elektroauto	150 km	225 km					
	Kaufpreis Elektroauto	100%	70%					
	Kaufprämie	€ 5.000,-	€ 5.000,-					
	Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Indexangabe)	100%	116%					
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über den Produktpreis)								
TP0	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Produktpreis	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,31 €/km bzw. 0,35 €/km Elektroauto: 0,31 €/km	1,2% 1.908 Elektroautos	0,6% 12.961 Elektroautos	148,3 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	150 km				
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	86%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Erhöhung über Produktpreis)	100%	116%				
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,31 €/km Elektroauto: 0,31 €/km	6,9% 10.918 Elektroautos	2,6% 56.473 Elektroautos	703,5 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km				
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	70%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Erhöhung über Produktpreis)	100%	150%				

		le Preise, Erhöhung über Produkt- preis)						
TP2	starke Treibstoff- preissteigerung über Produktpreis mit mittlerer tech- nologischer Ent- wicklung der Elekt- roautos	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,35 €/km Elektroauto: 0,31 €/km	10,7% 19.910 Elektroau- tos	3,9% 83.607 Elektroau- tos	1.041,5 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km				
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; In- dexangabe auf Basispreis)	100%	70%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (rea- le Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten , Indexan- gabe)	100%	250%				
Bewertungsszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben)								
TA0	Referenz- Treibstoffpreis- steigerung Abga- ben	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	1,2% 1.908 Elektroau- tos	0,6% 12.961 Elektroau- tos	148,3 Mio. Pkw- km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	150 km				
		Kaufpreis Elektroauto	100%	86%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (rea- le Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten , Indexan- gabe)	100%	116%				
TA1	moderate Treib- stoffpreissteige- rung über Abga- ben mit mittlerer	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	6,9% 10.918 Elektroau- tos	2,6% 56.473 Elektroau- tos	703,5 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km				

	technologischer Entwicklung der Elektroautos	Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	70%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten und CO ₂ -Abgabe, Indexangabe)	100%	150%				
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittlerer technologischer Entwicklung der Elektroautos	Verfügbarkeit Elektroauto - Kompaktklasse ab 2013			Pkw: 0,29 €/km Elektroauto: 0,30 €/km	10,7% 19.910 Elektroautos	3,9% 83.607 Elektroautos	1.041,5 Mio. Pkw-km/Jahr
		Verfügbarkeit Elektroauto - Mittelklasse ab 2016						
		Reichweite Elektroauto	150 km	225 km				
		Kaufpreis Elektroauto (Basispreis: 2,2-facher Kaufpreis von benzin- und dieselgetriebenen Pkw; Indexangabe auf Basispreis)	100%	70%				
		Treibstoffpreis, Energiepreis (reale Preise, Basis 2010, Erhöhung über Produktionskosten und CO ₂ -Abgabe, Indexangabe)	100%	250%				
Szenario „Nationaler Einführungsplan Elektromobilität“								
Ziel 2020: 140.000 Elektroautos in Österreich						lin. Trendentwicklung 6.368 Elektroautos / Jahr	4,0% 86.206 Elektroautos	1.073,8 Mio. Pkw-km/Jahr

6.3 Anhang 3: Nutzen und Kosten für benzin- und dieselgetriebene Pkw und Elektroautos für jedes Bewertungsszenario und jedes Referenzszenario

Anhang 3 gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Bewertungsverfahrens, nämlich die Nutzen- und Kostenkomponenten der Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklungen der Technologie, des Treibstoffpreises, von Anreizmaßnahmen für Elektromobilität und der Referenzszenarien in € über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010). Positive Werte entsprechen einem Nutzensaldo, negative Werte einem Kostensaldo.

Anhang 3: Gesamtwirtschaftliche Nutzen- und Kostenkomponenten der Bewertungsszenarien und der zugehörigen Referenzszenarien, diskontiert über den Betrachtungszeitraum 2010-2025 (Barwert 2010); Positive Werte entsprechen einem Nutzensaldo, negative Werte einem Kostensaldo

Bewertungsszenarien für unterschiedliche Entwicklungen der Technologie, des Treibstoffpreises, von Anreizmaßnahmen der Elektromobilität		Marktdurchdringung 2025 [Anteil E-Autos am Pkw-Bestand]	Antriebsart ¹⁾	Kosten für Ladeinfrastruktur ²⁾ [€/ (2010-2025)]	Fahrzeugbetriebskosten ³⁾ [€/ (2010-2025)]	Schadstoffkosten [€/ (2010-2025)]	Klimakosten [€/ (2010-2025)]	Zunahme der CO ₂ -Emissionen [t/ (2010-2025)]	Verkehrsleistung [km/ (2010-2025)]
Kosten der Bewertungs- und Referenzszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher technologischer Entwicklung									
ETO	Fortschreibung des Ist-Zustandes	0,6	E	-7.049.831	-256.371.575	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-105.179.726.068	-4.445.343.764	-13.825.041.695	70.354.472	445.281.467.539
ET1	mittlere technologische Entwicklung der Elektroautos (Durchschnittsszenario der Fahrzeugindustrie)	2,2	E	-22.487.570	-1.044.040.041	-5.143.608	-47.536.632	261.970	4.508.946.009
			BD	0	-104.439.086.742	-4.414.231.234	-13.728.281.570	69.821.008	441.905.116.491

ET2	starke technologische Entwicklung der Elektroautos	4,6	E	-42.776.813	-2.063.324.597	-8.672.439	-80.149.672	441.795	9.419.944.899
			BD	0	-103.361.805.721	-4.368.977.173	-13.587.541.209	69.045.071	436.994.117.601
Kosten der Bewertungs- und Referenzszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Kaufprämien									
KP0	keine Kaufprämie mit Fortschreibung des Ist-Zustandes	0,6	E	-7.049.831	-256.371.575	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-105.179.726.068	-4.445.343.764	-13.825.041.695	70.354.472	445.281.467.539
KP1	niedrige Kaufprämie mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	2,4	E	-24.060.889	-1.116.699.792	-5.501.545	-50.844.639	280.208	4.822.851.220
			BD	0	-104.370.228.220	-4.411.338.648	-13.719.285.613	69.771.411	441.591.211.280
KP2	hohe Kaufprämie mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	3,2	E	-31.799.410	-1.474.138.230	-7.262.358	-67.117.868	369.926	6.367.059.484
			BD	0	-104.031.489.342	-4.397.109.019	-13.675.031.393	69.527.426	440.047.003.016
Kosten der Bewertungs- und Referenzszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über den Produktpreis)									
TP0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Produktprei moderat	2,6	E	-7.049.831	-264.486.776	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-106.207.574.187	-4.295.441.801	-13.358.845.830	67.784.214	429.014.013.346
TP1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	2,6	E	-26.096.637	-1.243.656.731	-6.080.963	-56.199.554	309.731	5.330.992.738
			BD	0	-105.227.853.068	-4.256.754.244	-13.238.527.330	67.120.867	424.815.615.569

TP0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Produktpreis stark	2,6	E	-7.049.831	-269.014.565	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-110.265.097.474	-4.016.308.271	-12.490.739.131	62.998.119	398.722.269.012
TP2	starke Treibstoffpreissteigerung über Produktpreis mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	3,9	E	-37.295.448	-1.871.547.674	-8.995.570	-83.136.013	458.238	7.887.062.071
			BD	0	-108.436.824.249	-3.954.066.947	-12.297.168.299	61.930.913	391.967.801.902
Kosten der Bewertungs- und Referenzszenarien zur Ermittlung der Effekte unterschiedlicher Treibstoffpreissteigerungen (Erhöhung über Abgaben)									
TA0.1	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Abgaben moderat	2,6	E	-7.049.831	-256.371.575	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-101.611.283.057	-4.295.441.801	-13.358.845.830	67.784.214	429.014.013.346
TA1	moderate Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	2,6	E	-26.096.637	-1.205.409.565	-6.080.963	-56.199.554	309.731	5.330.992.738
			BD	0	-100.690.318.840	-4.256.754.244	-13.238.527.330	67.120.867	424.815.615.569
TA0.2	Referenz-Treibstoffpreissteigerung Abgaben stark	2,6	E	-7.049.831	-256.371.575	-1.293.660	-11.955.852	65.804	1.132.594.961
			BD	0	-94.966.459.466	-4.016.308.271	-12.490.739.131	62.998.119	398.722.269.012
TA2	starke Treibstoffpreissteigerung über Abgaben mit mittl. techn. Entwicklung der Elektroautos	3,9	E	-37.295.448	-1.783.203.055	-8.995.570	-83.136.013	458.238	7.887.062.071
			BD	0	-93.484.793.640	-3.954.066.947	-12.297.168.299	61.930.913	391.967.801.902

1) benzin- und dieselgetriebenen Pkw = BD; Elektroautos = E

2) Investitionskosten einschl. Finanzierungskosten, Re-Investitionen, Betriebs- & Unterhaltungskosten für Schaffung von Ladeinfrastruktur

3) sämtliche Fahrzeugnutzerkosten