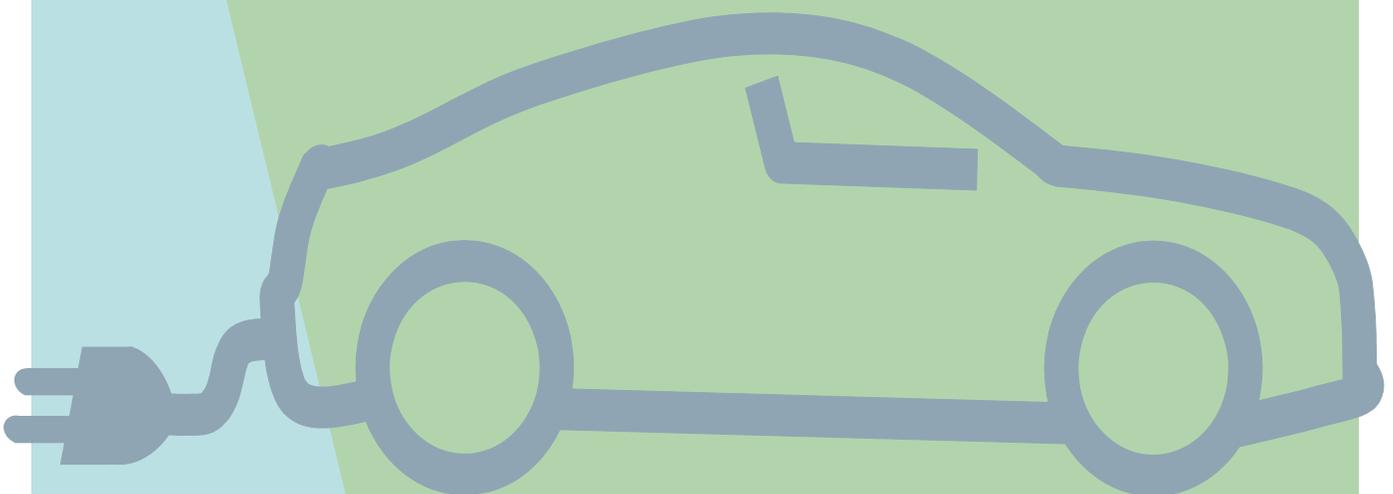


Marktmodell Elektromobilität

A brown clipboard with a black tab at the top and a white sheet of paper. The text is printed on the white sheet.

Schlussbericht

September 2011
ESMT Berlin



Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	3
Abkürzungen	6
1. Kurzdarstellung	7
2. Eingehende Darstellung der Ergebnisse.....	15
2.1. Ausgangslage	15
2.2. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	16
2.3. Effizienz als Schlüssel.....	17
2.4. Modellansatz	18
2.4.1. Modul Nachfragesimulation	19
2.4.2. Modul Politikentscheidungen	24
2.4.3. Modul Optimierung unter CAFE.....	25
2.4.4. Modul Energie und Infrastruktur	26
2.4.5. Modul Volkswirtschaftliche Gesamtbewertung.....	27
2.5. Exogene Faktoren	31
2.5.1. Öl- und Strompreise	31
2.5.2. Kostendegression der Batterie	32
2.6. Das Referenzszenario	36
2.7. Auswirkungen auf Öl, Emissionen, Steuern.....	38
2.8. Sensitivitäten des Referenzszenarios.....	40
2.9. Instrumente 2020: Fokus Leitmarkt	42
2.9.1. Politikfolgenanalyse: Zahlung eines Anreizes	44
2.9.2. Bonus-Malus-System.....	49
2.9.3. Flottenkäufe durch die Öffentliche Hand	51
2.9.4. Ladestrompreis 15 cent	53
2.9.5. Dienstwagensteuer und Sonder-AfA	54
2.9.6. KfW - Kredite.....	56
2.9.7. Befreiung von der Kfz - Steuer	58
2.9.8. Freies Parken.....	58
2.9.9. Zusammenfassung der monetären Maßnahmen.....	63
2.10. Integration mit dem Energiesektor	65
2.10.1. Erneuerungs- und Erweiterungsbedarf des Netzes	67

2.10.2.	Ladestellen für Laternenparker	70
2.10.3.	Politikmaßnahme: Subventionen für Laternenparker	71
2.10.4.	Schnellladestationen	72
2.10.5.	Politikfolgenanalyse: Subvention von Schnellladestationen	73
2.10.6.	Netzintegration und Teilnahme am Regelenergiemarkt	73
2.11.	Instrumente 2040: Effizienter Klimaschutz	77
2.11.1.	CAFE 40 vs CAFE 60	77
2.11.2.	CAFE 110	80
2.11.3.	Beitrag der Instrumente zur Emissionsreduktion	81
2.12.	Ausblick	81
3.	Darstellung des Nutzens des Projekts	84
4.	Darstellung der Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	85
5.	Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung der Ergebnisse	86
6.	Angaben zu den Personalkosten und Investitionen	87
	Projektteam	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	MMEM - Teilmodelle, Quelle: MMEM (2011)	19
Abbildung 2:	MMEM - Modellierung der Kaufentscheidungen und des Markthochlaufs, Quelle: MMEM (2011)	21
Abbildung 3:	Differenzierung der Fahrzeuge nach 9 Technologien und 11 KBA-Segmenten	21
Abbildung 4:	Exemplarische Entwicklung der relativen Zahlungsbereitschaften im Vergleich zum Diesel PKW ..	22
Abbildung 5:	Simulationsmethoden für private und gewerbliche Käufer	24
Abbildung 6:	Politikmaßnahmen im MMEM	25
Abbildung 7:	Schema Kosten-Nutzen Analyse	29
Abbildung 8:	Schematische Darstellung Ökonomisches Modell	30
Abbildung 9:	Modellannahmen zur Entwicklung des Ölpreises	31
Abbildung 10:	Die zwei Effekte der 2-Factor-Learning-Curve auf die Kostendegression	33
Abbildung 11:	Vorhersagen zur Kostendegression des Batteriepreises	35
Abbildung 12:	Auswirkungen von Forschungsinvestitionen auf den Batteriepreis und Industrieprognose	36
Abbildung 13:	Referenzszenario MMEM	37
Abbildung 14:	Fahrzeugkäufe (1000 Fahrzeuge / Monat) im MMEM Referenzszenario	38
Abbildung 15:	Reduzierung Kraftstoffverbrauch im MMEM Referenzszenario, Milliarden Liter	39
Abbildung 16:	Reduzierung Emissionen im MMEM Referenzszenario	39

Abbildung 17: Reduzierung Steuerbasis im MMEM Referenzszenario	40
Abbildung 18: Sensitivitäten des Referenzszenarios	41
Abbildung 19: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM - Beispiel Kaufanreiz	43
Abbildung 20: Änderung des Nettonutzens im Vergleich zum Referenzszenario im Zeitverlauf	44
Abbildung 21: Veränderung Konsumentenwohlfahrt Fahrzeuganschaffung	45
Abbildung 22: Veränderung der CO2-Emissionen	47
Abbildung 23: Auswirkung eines Kaufanreizes auf Beschäftigungsnachfrage	48
Abbildung 24: Veränderung des Nettonutzens bei einem Bonus-Malus-System nach französischer Ausgestaltung	50
Abbildung 25: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei einem Bonus-Malus-System nach französischer Ausgestaltung	51
Abbildung 26: Veränderung des Nettonutzens bei Flottenkäufen	52
Abbildung 27: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei Flottenkäufen	52
Abbildung 28: Veränderung des Nettonutzens bei Senkung des Ladestrompreises auf 15 cent bis 2020	53
Abbildung 29: Veränderung des Nettonutzens bei Senkung des Ladestrompreises auf 15 cent von 2011 bis 2020	54
Abbildung 30: Veränderung des Nettonutzens bei der Reduzierung der Dienstwagensteuer	55
Abbildung 31: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei der Reduzierung der Dienstwagensteuer	56
Abbildung 32: Kosten-Nutzen-Bilanz KfW	57
Abbildung 33: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei KfW-Krediten	57
Abbildung 34: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei Befreiung der xEV von der Kfz-Steuer	58
Abbildung 35: Kosten für öffentliche Stellplätze	59
Abbildung 36: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren	60
Abbildung 37: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren	61
Abbildung 38: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren	62
Abbildung 39: Frei Parken - Veränderung der Beschäftigungsnachfrage	62
Abbildung 40: Maßnahmen Markthochlauf	63
Abbildung 41: Maßnahmen Markthochlauf	64
Abbildung 42: Ladeverhalten rein batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge	67
Abbildung 43: Strombedarf durch Netzladen von Elektrofahrzeugen in Prozent der Jahresstromnachfrage	67
Abbildung 44: Netzverstärkungsbedarf durch Elektroautos	68
Abbildung 45: Regionstypen und Marktdurchdringung	69
Abbildung 46: Durch Elektromobilität bedingte kumulative Netzinvestition MMEM	70
Abbildung 47: Entwicklung der Fahrzeugflotte, Differenzierung nach Autohaltern mit und ohne Stellplatz	71
Abbildung 48: Anzahl vom Markt hervorgebrachter Schnellladestationen	73
Abbildung 49: Anteil nicht mobiler Elektrofahrzeuge	74

Abbildung 50: Koordiniertes und unkoordiniertes Ladeverhalten der Elektrofahrzeugflotte (April 2020)	76
Abbildung 51: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „40g in 2040“	79
Abbildung 52: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „60g in 2040“	79
Abbildung 53: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „110g in 2020“	80
Abbildung 54: Jährliche Emissionen (Tonnen CO ₂) unter verschiedenen Flottenemissionsstandards	81

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 16EM0039 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Abkürzungen

xEV	Alle Fahrzeuge mit elektrischen Komponenten im Antriebsstrang und Netzanbindung
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
BEV	Battery Electric Vehicle
REV	Range Extender Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
TCO	Total Cost of Ownership, Gesamtkostenbetrachtung über die Lebenszeit eines Fahrzeugs
MMEM	Marktmodell Elektromobilität
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität

Gefördert durch



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

1. Kurzdarstellung

Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung und Anwendung eines umfassenden Simulationsmodells zur ökonomischen und ökologischen Langfristbetrachtung von Elektromobilität als einem Baustein einer postfossilen Mobilitätskultur in Deutschland.

Das Vorhaben liefert, unter Verwendung verschiedener Eingangsvariablen und unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Szenarien, als Ergebnisse Kosten-Nutzen-Analysen und die Berechnung insbesondere

- der Kapitalwerte von Investitionsentscheidungen sowohl auf der Infrastrukturseite als auch bei der Fahrzeugherstellung
- des Beitrags zur Emissionsreduktion
- der Rückwirkungen auf Beschäftigung und Wachstum.

Mit dem Simulationsmodell können verschiedene wirtschaftspolitische Szenarien und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für den Ausbau von Elektromobilität - auch in Teilmärkten und bei stufenweisem Ausbau - modelliert, durchgespielt und analysiert werden.

So kann das Vorhaben die politische Entscheidungsfindung argumentativ unterstützen und helfen, die ökonomische Ausgestaltung der Leitplanken für den Leitmarkt Elektromobilität im Rahmen des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität zu definieren.

Das Marktmodell Elektromobilität (MMEM) simuliert die Marktdurchdringung der Antriebstechnologien Benzin, Diesel, Hybrid, Plug-In Hybrid (PHEV), Range Extender (REV), Gas, Biofuel (E85), Brennstoffzelle (FCEV) sowie rein batterieelektrischen Antrieb (BEV) für die deutsche Personenfahrzeugflotte unter verschiedenen exogenen Rahmenbedingungen (u.a. Treibstoffpreise, Strompreise, Batteriekostenentwicklung, Entwicklung des Erzeugungssportfolios). Der Fokus liegt dabei auf den Fahrzeugen mit elektrischer Antriebskomponente. Verschiedene Politikoptionen (Flottengrenzwerte, Kaufprämien etc.) können modelliert werden und verändern die Attraktivität der Technologien und Segmente. MMEM nimmt eine volkswirtschaftliche Gesamtberechnung der Kosten und Nutzen der verschiedenen Szenarien vor und hilft bei der Abschätzung der Robustheit von Politikentscheidungen.

Die wesentlichen Merkmale des Marktmodells sind:

- die umfassende und segmentierte Simulation des Verhaltens der Hauptakteure der Elektromobilität, einschließlich der Fahrzeughersteller, Fahrzeugnutzer, Politik, dem Energiesektor und Infrastruktur sowie der Wechselwirkungen zwischen den Akteuren,
- die Modellierung der Marktreaktion auf Politikentscheidungen und Änderungen der externen Einflussfaktoren,
- eine dynamische Abbildung der Auswirkungen im Zeitverlauf,
- die explizite Berücksichtigung der Unsicherheit über die Entwicklung der wesentlichen Einflussfaktoren (beispielsweise Ölpreise) durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Monte-Carlo-Simulationen,
- und eine konsistente, faktenbasierte Bewertung der Politikfolgen über eine integrierte Kosten-Nutzen-Analyse.

Ausgehend von einem Referenzszenario lassen sich die Auswirkungen von Veränderungen exogener Faktoren und die Auswirkungen von Politikoptionen auf die Technologiediffusion und Segmentverschiebungen zugleich modellieren. Alle relevanten Faktoren werden im MMEM in einem Modelldurchlauf simultan berechnet und die Wechselwirkungen quantifiziert. Damit ist es möglich, Szenarien im Vergleich zum Referenzszenario zu simulieren und die Folgen unterschiedlicher Annahmen und Ansätze abzuschätzen. Insbesondere Kosten und Nutzen verschiedener Politikansätze sind so vergleichbar.

So machen höhere Ölpreise oder ambitionierte Emissionsgrenzwerte Elektromobilität attraktiver, höhere Strompreise oder eine langsame Kostenreduktion bei Batterien weniger attraktiv.

Das Modell zeigt die Nettobarwerte der Politikentscheidungen, ihren Beitrag zur Emissionsreduktion, und die Rückwirkungen auf Beschäftigung und Wachstum. Das Modell liefert damit eine faktengestützte Basis zur Abstimmung möglicher Förderinstrumente und damit einen methodisch gestützten Beitrag zur konstruktiven und nachhaltig orientierten politischen Unterstützung von Leitmarkt und Leitanieterschaft bei Elektromobilität. Zielkonflikte zwischen Teilzielen können benannt und die Resultate von bestimmten Entscheidungen transparent gemacht werden.

Insgesamt steht mit dem Marktmodell nicht nur ein umfassendes Modell zur Evaluierung der Auswirkungen von Elektromobilität, sondern ein Werkzeug zur Bewertung der Entwicklung der individuellen Mobilität in der Zukunft zur Verfügung.

Eine vereinfachte „public version“ ist unter www.mmem.eu der breiten Öffentlichkeit zugänglich.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde von Januar 2010 bis September 2011 als eigenständiges Projekt an der ESMT - European School of Management and Technology mit einem für das Projekt eigens zusammengestelltem Team aus einem Transportökonom, einem Energieökonom, zwei angewandten Ökonomen und einem Physiker mit Erfahrung in komplexen Modellierungsprojekten durchgeführt. Fakultätsmitglieder der ESMT wurden über Arbeitsaufträge in spezifische Arbeitspakete eingebunden.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Für den Projektantrag wurde im Herbst 2009 ein ausführlicher Arbeitsplan erstellt, dem mit leichten Adaptionen gefolgt wurde.

Um das „Marktmodell Elektromobilität“ zu einem von der Industrie, Forschung und den beteiligten Ministerien und politischen Entscheidungsträgern akzeptierten langfristigen Referenzmodell für politische Entscheidungen im Bereich Elektromobilität und Integration mit Erneuerbaren Energien zu machen, wurden in einer ersten Phase

- vorhandene vergleichbare (transport-) ökonomische Modelle recherchiert und bezüglich ihrer Vor- und Nachteile auf ihre Relevanz überprüft
- in einer Metaanalyse Annahmen vorhandener Studien validiert
- Daten für die gesamte Wertschöpfungskette von Elektromobilität (well-to-wheel-Ansatz) eingeholt, aggregiert und verdichtet
- Vorhandene Softwarewerkzeuge für die Modellierung vor einem Anforderungskatalog evaluiert und getestet bis zur Entscheidung für eine Simulationssoftware (GoldSim).

In einer zweiten Phase wurden Ansätze und Strukturgleichungen für die Teilmodelle Fahrzeugnachfrage - Angebot - Energie und Infrastruktur - Politikmaßnahmen - Volkswirtschaftliche Gesamtbetrachtung entwickelt und in die Simulationssoftware umgesetzt. Die Teilmodelle wurden mit den Daten und Variablen aus der ersten Phase kalibriert und dann Monte-Carlo-Simulationläufe mit dem Modell durchgeführt, um ein besseres Verständnis der Veränderung von Schlüsselfaktoren zu gewinnen.

Bei den Variablen, die eine Schlüsselposition in der Modellstruktur einnehmen, wurden die Daten in Kooperation mit der Fachöffentlichkeit adaptiert und verfeinert. Die makroökonomischen Daten zu Wachstum und Beschäftigung wurden integriert. Die Teilmodelle wurden zusammengeführt.

Das Marktmodell Elektromobilität wurde in einem Workshop am 22. November 2010 in Berlin mit Akademikern auf seine methodische Robustheit hin überprüft und in zwei weiteren Workshops am 10. Februar und am 13. April 2011 mit Unternehmensvertretern (Autohersteller, Batteriehersteller, Zulieferer für Antriebsstrangkomponenten, Energieunternehmen) und Vertretern der Zivilgesellschaft bezüglich der genutzten Daten und Annahmen validiert. Die im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) in 2010 und 2011 von verschiedenen AGs erarbeiteten Daten konnten teilweise genutzt werden.

In der dritten Phase wurden verschiedene Szenarien und Politikmaßnahmen durchgerechnet und die Ergebnisse der Simulationen auf Plausibilität und Stichhaltigkeit geprüft.

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Simulationsmodelle, die ähnlich wie MMEM aufgebaut sind, sind Standard für die Modellierung von transportökonomischen Fragestellungen (z.B. simcar, ETH Zürich entwickelt, TREMOD, U Leuven). Sie wurden vor allem für die Betrachtung der Auswirkung der Weiterentwicklung des konventionellen Antriebsstrangs und des Emissionsbeitrags der konventionellen Fahrzeugflotte entwickelt.

Die vorliegenden Modelle mit einem Fokus auf alternativen Antriebsstrangtechnologien und Elektromobilität sind allerdings selten zur Simulation von Politikentscheidungen geeignet. Die meisten konzentrieren sich auf die Untersuchung der Folgen einer exogen vorgegebenen Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ohne den Vergleich mit einem angemessen definierten Referenzszenario. Damit bewerten sie allenfalls den Nutzen einer undefinierten neuen Technologieentwicklung. Wie Politikentscheidungen diesen Nutzen verbessern können, und wie sich Rahmenbedingungen auf die Marktdurchdringung elektrischer Fahranteile auswirken, erschließt sich nur, wenn die Politikeffekte im Vergleich zu einem Referenzszenario bewertet werden.

Ein eminent wichtiger Faktor für die Evolution alternativer Antriebsarten ist die Flottenemissionsregulierung der EU. Wenn der elektrische Fahranteil als Nullemission gerechnet wird, hat die Ausgestaltung der Emissionsstandards in der EU-Regulierung 443 entscheidenden Einfluss auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen. Darüber hinaus ist die Interaktion mit dem Infrastruktur - und Energiesektor höchst relevant für Elektromobilität und für eine Kosten-Nutzen-Bewertung. Keines der den Autoren bekannten Modelle bildet diese Flottenemissionsgesetzgebung adäquat ab.

Mit den Erkenntnissen aus weiteren Flottenversuchen und einer größeren Anzahl von Fahrzeugen im Markt werden in den nächsten Jahren bessere Grundlagen für die Modellierung der Auswirkungen von alternativen Antrieben geschaffen. Das Marktmodell Elektromobilität ist so angelegt, dass verbesserte Nutzerdaten rasch in die Modellierung eingebracht werden können. Es besteht aus fünf separaten, aber sich gegenseitig beeinflussende „Modulen“: Nachfragesimulation, Politikmaßnahmen, Strategien der Automobilhersteller bezüglich Emissionsstandards, Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, und Volkswirtschaftliche

Gesamtbetrachtung. Das Marktmodell Elektromobilität kombiniert und erweitert eine Vielzahl von etablierten Modellierungsansätzen in den einzelnen Modulen:

- Der Markthochlauf wird durch Kombination eines Nested-Logit-Modells mit einem Bass-Diffusionsmodell simuliert. Für die Kalibrierung des Logit-Modells wurde eine Metaanalyse von 11 internationalen Conjoint-Studien zu alternativen Antrieben erstellt. Eine Abschätzung der Variablen für Adaption und Imitation im Diffusionsmodell basiert auf Auswertung aktueller Studien und Conjoint-Analysen zur Marktdiffusion von alternativen Antrieben und Verkaufszahlen von Hybridfahrzeugen.

- Die Fahrzeugkäufer können unter 99 Referenzfahrzeugen wählen, die sich an den 11 KBA-Segmenten und den neun betrachteten Antriebstechnologien ergeben. Die Eigenschaften dieser Fahrzeuge wurden durch eine Auswertung der aktuell am Markt verfügbaren meistgekauften Fahrzeuge und den im Markt vorhandenen bzw. angekündigten Fahrzeugen mit alternativen Antrieben bestimmt.

- Die Optimierung unter Flottenemissionsstandards wurde unter Heranziehung der Details der EU-Regulierung 443 und den verfügbaren TNO-Daten ins Modell umgesetzt.

- Für die Interaktion mit der Energieerzeugung nutzt das Simulationsmodell als Referenzszenario bis 2050 die Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen aus der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010). Alternative Szenarien sind im Modell hinterlegt und können ebenfalls durchgespielt werden. MMEM simuliert die Einspeisung der fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Sonne auf Basis empirischer Daten des Jahres 2010. Der Energiebedarf von Elektroautos wird entsprechend der Mobilität-in-Deutschland-Wegedaten tageszeitgenau berechnet und zur Simulation des Ladeverhaltens genutzt.

- Durch eine Input-Output-Analyse wurden die Wechselwirkungen mit dem Rest der Volkswirtschaft abgebildet. So kann man mit dem MMEM abschätzen, wie eine Veränderung der Nachfrage in den Schlüsselsektoren die Nachfrage nach Vorleistungen - beispielsweise Automobilzulieferer - beeinflusst. Insgesamt liefert das Modell damit Abschätzungen der direkten Veränderung der ökonomischen Aktivität in den Schlüsselsektoren und indirekte Einflüsse durch Veränderung der Nachfrage nach Vorleistungen der restlichen Volkswirtschaft. Mit Hilfe der strukturellen Unternehmensstatistiken des Statistischen Bundesamts und von Eurostat wurde im letzten Schritt analysiert, welche Beschäftigungseffekte durch Veränderungen der Ausbringung in den betroffenen Sektoren und im Rest der Volkswirtschaft im Vergleich zum Referenzszenario hervorgerufen werden.

Angabe der verwendeten Fachliteratur (Auswahl)

- Achtnicht, M. (2008). German Car Buyers' Willingness to Pay to Reduce Co2 Emissions. [SSRN eLibrary](#).
- Adler, T., L. Wargelin, et al. (2003). Incentives for Alternate Fuel Vehicles: A Large-Scale Stated Preference Experiment. [10th International Conference on Travel Behaviour Research](#). Lucerne.
- AECOM (2010). Carbon emissions factors for fuels - Methodology and values for 2013 and 2016. London, Carbon compliance: 22.
- AECOM Australia (2009). Economic Viability of Electric Vehicles, for the Department of Environment and Climate Change: 88.
- Ahn, J., G. Jeong, et al. (2008). "A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicles: A multiple discrete-continuous choice approach." [Energy Economics](#) 30(5): 2091-2104.
- Bass, F. M. (1969). "A New Product Growth for Model Consumer Durables." [Management Science](#) 15(5): 215-227.
- Batley, Toner, et al. (2004). "A mixed logit model of U.K. household demand for alternative-fuel vehicles " [International Journal of Transport Economics](#) XXXI(1): 23.
- Batley, R. and J. Toner (2003). Elimination-by-aspects and advanced logit models of stated choices for alternative-fuel vehicles, Proceedings of the European Transport Conference. Strasbourg.
- Baum, H., J. Dobberstein, et al. (2011). Nutzen-Kosten-Analyse der Elektromobilität.

- Beggs, S. D. and N. S. Cardell (1980). "Choice of smallest car by multi-vehicle households and the demand for electric vehicles." Transportation Research A 14(5-6): 389-404.
- Beggs, S. D., N. S. Cardell, et al. (1981). "Assessing the potential demand for electric cars." Journal of Econometrics 17(1): 1-19.
- Bettle, R., C. H. Pout, et al. (2006). "Interactions between electricity-saving measures and carbon emissions from power generation in England and Wales." Energy Policy 34(18): 3434-3446.
- Blesl M., Bruchof D., et al. (2009). Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung.
- Bradley, T. H. and A. A. Frank (2009). "Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles." Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(1): 115-128.
- Brady, J. and M. O'Mahony (2011). "Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles on climate change and urban air quality." Transportation Research Part D: Transport and Environment 16(2): 188-193.
- Brooker, A., M. Thornton, et al. (2010). Technology Improvement Pathways to Cost-Effective Vehicle Electrification. SAE 2010 World Congress. N. R. E. Laboratory. Detroit, Michigan, National Renewable Energy Laboratory: 18.
- Brownstone, D., D. S. Bunch, et al. (2000). "Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles." Transportation Research Part B: Methodological 34(5): 315-338.
- Brownstone, D. and K. Train (1999). "Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns." Journal of Econometrics 89(1-2): 109-129.
- Bunch, D. S., M. Bradley, et al. (1993). "Demand for clean-fuel vehicles in California: A discrete-choice stated preference pilot project." Transportation Research Part A: Policy and Practice 27(3): 237-253.
- C.A.R.M.E.N. (2011). "Preisentwicklung bei Bio-Ethanol (E85)." Retrieved 1.9.2011, 2011, from <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm>.
- Calfee, J. E. (1985). "Estimating the demand for electric automobiles using fully dis-aggregated probabilistic choice analysis." Transportation Research B 19(4): 287-301.
- Carlsson, F. and O. Johansson-Stenman (2003). "Costs and Benefits of Electric Vehicles." Journal of Transport Economics and Policy 37(1): 1-28.
- Caulfield, B., S. Farrell, et al. (2010). "Examining individuals preferences for hybrid electric and alternatively fuelled vehicles." Transport Policy 17(6): 381-387.
- Christidis, P., I. Hidalgo, et al. (2003). Dynamics of the introduction of new passenger car technologies: The IPTS transport technologies model. EUR 20762 EN, Joint Research Center.
- Cline, W. (1992). The Economics of Global Warming, Institute for International Economics.
- Dagsvik, J. and G. Liu (2009). "A framework for analyzing rank-ordered data with application to automobile demand." Transportation Research Part A 43: 1-12.
- Dagsvik, J. K., T. Wennemo, et al. (2002). "Potential demand for alternative fuel vehicles." Transportation Research Part B: Methodological 36(4): 361-384.
- Dasgupta, P. (2008). "Discounting climate change." Journal of Risk and Uncertainty 37(2): 141-169.
- de Boncourt, M. (2011). The Electric Vehicle in the Climate Change Race Tortoise, Hare or Both? Paris, ifri Gouvernance européenne et géopolitique de l'énergie.
- Deutsche Bank (2009). Autos & Auto Parts Electric Cars: Plugged In 2, Deutsche Bank.
- Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (2010) "DWV Jahresbericht 2010."
- Doucette, R. T. and M. D. McCulloch (2011). "Modeling the CO2 emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries." Energy Policy 39(2): 803-811.
- Empa Dübendorf (2007). Untersuchungsbericht Nr. 445'114(B) - Vergleich von Ethanol- (E85) und Benzinbetrieb an einen Ford Focus Flexifuel.
- EPRI and NRDC (2007). Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Volume 1: Nationwide Greenhouse Gas Emissions.
- Eurostat (2011). Structural Business Indicators, Eurostat.
- Ewing, G. O. and E. Sariloglu (1998). "Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives." Transportation Research D 3(6): 429-444.

- Faron, G., S. Pagerit, et al. (2009) "Evaluation of PHEVs Fuel Efficiency and Cost Using MonteCarlo Analysis."
- Golob, T. F., R. Kitamura, et al. (1991). Predicting the market penetration of electric and clean-fuel Vehicles. ITS Working paper Irvine, University of California.
- Göransson, L., S. Karlsson, et al. (2009). Plug-in hybrid electric vehicles as a mean to reduce CO2 emissions from electricity production. EVS24, Stavanger.
- Greene, D. L. (2001). TAFV Alternative Fuels and Vehicles Choice Model Documentation., Center for Transportation Analysis, Oak Ridge National Laboratory.
- Hacker, F., R. Harthan, et al. (2009). Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe - Critical Review of Literature -. ETC/ACC Technical Paper 2009/4 - July 2009: 169.
- Hawkes, A. D. (2010). "Estimating marginal CO2 emissions rates for national electricity systems." Energy Policy 38(10): 5977-5987.
- Hensley, R., S. Knupfer, et al. (2009). Electrifying cars: How three industries will evolve. McKinsey Quarterly, McKinsey & Company. 3.
- Hess, S., M. Fowler, et al. (2009). A joint model for vehicle type and fuel type. ETC.
- Högberg, M. (2006). Eco-driving? A discrete choice experiment on valuation of car attributes. School of Economics and Management, Lund University.
- Horst, J., G. Frey, et al. (2009). Auswirkungen von Elektroautos auf den Kraftwerkspark und die CO2-Emissionen in Deutschland, WWF Deutschland.
- IMUG (2010). Marktforschungsstudie zur Verbrauchakzeptanz von Elektrofahrzeugen - Ergebnisbericht. Hannover.
- International-Energy-Agency "International Energy Agency Implementing Agreement on Hybrid and Electric Vehicles."
- IWW, TRT, et al. (2000). Final Report of ASTRA (Assessment of Transport Strategies) on behalf of the European Commission DG VII. Karlsruhe.
- Kammen, D. M., S.M. Arons, D.M. Lemoine, and H. Hummel (2009). Plug-in Electric Vehicles: What role for Washington? Washington, D.C., Brookings Institution Press.: 170-191.
- Kavalec, C. (1996). CALCARS: The California Conventional and Alternative Fuel Response Simulator - A Nested Multinomial Logit Vehicle Demand and Choice Model, California Energy Commission.
- Kley, F., M. Wietschel, et al. (2010). Evaluation of European electric vehicle support schemes, Fraunhofer ISI, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 7/2010.
- Knight, M. J. (2001). Stated preferences for alternative-fuel vehicles. Institute for Transport Studies. Leeds, University of Leeds. MA dissertation.
- Knockaert, J. (2005). The choice for alternative cars. Leuven, KU leuven, Energy, transport and environment, Center for economic studies.
- Krail, M. (2008) "System-Based Analysis of Income Distribution Impacts on Mobility Behaviour." Luxembourg Income Study Working Paper Series.
- Kuwano, M., J. Zhang, et al. (2005). "Analysis of Ownership behavior of low-emission Passenger Cars in local Japanese Cities." Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 5: 1379 - 1393.
- Kyle, P. and S. H. Kim (2011). "Long-term implications of alternative light-duty vehicle technologies for global greenhouse gas emissions and primary energy demands." Energy Policy 39(5): 3012-3024.
- Lamberson, P. (2008). The Diffusion of Hybrid Electric Vehicles. Future Research Directions in Sustainable Mobility and Accessibility. Sustainable Mobility Accessibility Research and Transformation (SMART) at the University of Michigan Center for Advancing Research and Solutions for Society (CARSS).
- Lowe, M., S. Tokuoka, et al. (2010). Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain, Center on Globalization, Governance & Competitiveness Duke University: 76.
- Mabit, S. L. and M. Fosgerau (2011). "Demand for alternative-fuel vehicles when registration taxes are high." Transportation Research Part D: Transport and Environment 16(3): 225-231.
- Market Transformation Programme (2009). BNXS01: Carbon dioxide emissions factors for UK energy use, DEFRA: 8.

- Martinet, S. (2004). Nouvelles voies dans les accumulateurs lithium et les électrolytes de batteries, Commissariat à l'Énergie Atomique.
- Massiani, J. (2011). An investigation into the relevance and the critical issues of the notion of Opportunity Cost of Public Funds, European School of Management and Technology.
- McKinsey&Company (2009). A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis.
- MiD (2008). MOBILITÄT IN DEUTSCHLAND 2008 (MiD 2008), Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Moawad, A., P. Sharer, et al. (2009). Impact of Real World Drive Cycles on PHEV Fuel Efficiency and Cost for Different Powertrain and Battery Characteristics, Argonne National Laboratory.
- Mock, P., D. Hülsebusch, et al. (2009). Electric vehicles - A model based assessment of future market prospects and environmental impacts. Stavanger, Norway.
- National Research Council (2010). Transitions to Alternative Transportation Technologies - Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Committee on Assessment of Resource Needs for Fuel Cell and Hydrogen Technologies: 70 pages.
- Nationale Plattform Elektromobilität (2010). Zwischenbericht, Bericht der AG-2 Batterietechnologie, BMWi.
- Nationale Plattform Elektromobilität (2011). Zweiter Bericht, BMWi.
- Nemry, F. and G. Leduc (2009) "Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency." JRC Technical Notes.
- Nordhaus, W. D. (1994). Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change, MIT Press.
- Öko-Institut and ISOE (2011). Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft. Zweite Sitzung zum Stakeholder-Dialog „Elektromobilität und Klimaschutz“. F. H. Dr. Wiebke Zimmer, Peter Kasten (Öko-Institut e. V) and G. S. I. f. s.-ö. F.-I. Dr. Konrad Götz. Berlin.
- Pehnt, M., U. Höpfner, et al. (2007). Elektromobilität und erneuerbare Energien. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- Potoglou, D. and P. S. Kanaroglou (2007). "Household demand and willingness to pay for clean vehicles." Transportation Research Part D: Transport and Environment 12(4): 264-274.
- Pöyry (2010). Wind Energy and Electricity Prices - Exploring the 'merit order effect', European Wind Energy Association (EWEA).
- Prognos-EWI-GWS (2010). Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).
- Rousseau, Shidore, et al. (2007). "Research on PHEV Battery Requirements and Evaluation of Early Prototypes."
- Rousseau, A., N. Shidore, et al. (2007). "Research on PHEV Battery Requirements and Evaluation of Early Prototypes."
- Rousseau, A., N. Shidore, et al. "Impact of Battery Characteristics on PHEV Fuel Economy."
- Santini, D. J. and A. D. Vyas (2005). Suggestions for a New Vehicle Choice Model Simulating Advanced Vehicles Introduction Decisions (AVID): Structure and Coefficients. Chicago, The University of Chicago, Argonne National Laboratory.
- Simpson, A. (2006). Cost-Benefit Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Technology. 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS-22). Yokohama, Japan.
- Singh, M., A. Vyas, et al. (2003). VISION Model: Description of Model Used to Estimate the Impact of Highway Vehicle Technologies and Fuels on Energy Use and Carbon Emissions to 2050. Argonne, IL, U.S. Department of Energy, Argonne National Laboratory.
- Smith, W. J. (2010). "Can EV (electric vehicles) address Ireland's CO2 emissions from transport?" Energy 35(12): 4514-4521.
- Stern, N. P., S.;Bakhshi, V.; Bowen, A. (2006). Stern review on the economics of climate change, Cambridge University Press.
- Tetzlaff, K.-H., Ed. (2008). Wasserstoff für alle: Wie wir der Öl- Klima- und Kostenfalle entkommen, Books on Demand GmbH, Norderstedt, Germany.
- The Connecticut Center for Advanced Technology Inc. (2011) "Connecticut Hydrogen and Fuel Cell Deployment Transportation Strategy."

- Thiel, C., A. Perujo, et al. (2010). "Cost and CO2 aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios." Energy Policy 38(11): 7142-7151.
- Thomas, C. E. S. (2010) "Fuel cell and Battery Electric Vehicles Compared." Schriften des Forschungszentrums Jülich 78 - 6.
- Thomas, G. (2000). Overview of Storage Development DOE Hydrogen Program.
- Tompkins, M., D. Bunch, et al. (1998). "Determinants of Alternative Fuel Vehicle Choice in the Continental United States." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1641(-1): 130-138.
- Toyota Deutschland GMBH, Ö. P. Toyota zieht erfolgreiche Zwischenbilanz des Plug-in Testprogramms - Demonstrationsprojekt in Strassburg feiert ersten Geburtstag.
- U.S. Department of Energy (2007). "Plug-in Hybrid Electric Vehicle R&D Plan."
- UBA (2011). Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009, Umweltbundesamt.
- VCÖ (2011). Gesamtbilanz Verkehr - Rohstoffe, Fahrzeuge, Infrastruktur. Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“. Wien.
- Wansart, J. and E. Schnieder (2010). Modeling market development of electric vehicles - From system analysis to dynamic modeling. Braunschweig, Technische Universität Braunschweig.
- Zito, P. and S. Salerno (2004). "Potential demand and cost-benefit analysis of electric cars." European Transport 27: 1-14.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens wurden sowohl mit anderen vom BMU geförderten Projekten beim Öko-Institut /ISOE Informationen ausgetauscht als auch Ansatz in einem wissenschaftlichen Workshop und Eingangsdaten in zwei Industrieworkshops verifiziert. Darüber hinaus sind Arbeitsergebnisse der Nationalen Plattform Elektromobilität zeitnah in das Vorhaben eingeflossen. Ein Austausch bestand darüber hinaus mit Forschern an der TU Berlin und am DLR.

2. Eingehende Darstellung der Ergebnisse

2.1. Ausgangslage

Die traditionellen fossilen Energieträger Benzin und Diesel sind in ihrer günstigen Relation von Energiedichte und Preis ideal geeignet für die Mobilitätsbedürfnisse einer auf motorisierten Individualverkehr ausgerichteten Gesellschaft. Alternative Antriebstechnologien haben es in diesem Marktumfeld schwer, sich zu etablieren. Ob und wann sie sich behaupten können, ist von vielen Unbekannten und Rückkopplungen abhängig - und jegliche Prognose ist daher mit Unsicherheit behaftet.

Die Wechselwirkung mit dem Ölpreis zeigt eine der Rückkopplungen deutlich: Bei sehr hohen Ölpreisen maximieren Industrienationen ihre Effizienzanstrengungen und die Investitionen in Alternativen zum konventionellen Verbrennungsmotor. Die Nachfrage nach fossilen Rohstoffen sinkt. Die Ölproduzenten könnten versucht sein, ihr Produkt schnell auf den Markt zu bringen, bevor die Alternativtechnologien wirtschaftlich sind. Damit sinkt der Preis, wie auch im Fall einer durch hohe Ölpreise induzierten Rezession. Mit einem niedrigen Ölpreis verlieren alternative Technologien wieder an Attraktivität.

In Anbetracht dieser Rückkopplungseffekte ist die Transformation hin zu einer nicht-fossilen Mobilität ein langfristiges und bezüglich des Zeithorizont sehr unsicheres Projekt, bei dem alternative Antriebstechnologien im Wettbewerb zum etablierten und immer effizienteren Verbrennungsmotor stehen.

Bislang sind Fahrzeuge mit Alternativtechnologien auf Deutschlands Straßen wenig präsent. Alle bisherigen „Hoffnungsträger“ haben beim Verbraucher aus verschiedenen Gründen keinen nennenswerten Erfolg (Gas, Biokraftstoffe) oder sind noch nicht marktfähig (Brennstoffzelle). Denn die existierende Technologie ist so gut und ihr Angebot so ausdifferenziert, dass Alternativen für den Fahrzeugkäufer und die Hersteller nicht attraktiv sind.

Die Förderung alternativer Antriebe steht vor dem Dilemma jeder Systemtransformation, eine Technologie in einen wirkungsmächtigen und entwickelten Markt zu bringen, der dem Verbraucher im intensiven Wettbewerb der Hersteller und Modelle ein adäquates Produkt zu einem akzeptablen Preis liefert. Dies gilt auch für Elektromobilität.

Dabei bewegt sich das Setzen von Rahmenbedingungen für die Elektromobilität, für Mobilität insgesamt, in einem Spannungsfeld von ordnungspolitischen Grundvorstellungen, internationaler Industriepolitik, ökologischen Zielen und politischen Wünschen. Dabei sind lenkende Eingriffe in einen komplexen Markt immer mit Risiken und Nebenwirkungen verbunden. Wie die Umweltprämie, volkstümlich zu Recht als „Abwrackprämie“ bezeichnet, gezeigt hat, können die Auswirkungen einer Politikmaßnahme auch Mitnahmeeffekte und zeitlich nachgelagerte, gegenläufige Effekte einschließen.

Mit dem „Marktmodell Elektromobilität“ steht ein Werkzeug zur Verfügung, das es erlaubt, die Auswirkungen solcher lenkenden Eingriffe in den Markt im Zeitverlauf und mit Wechselwirkungen abzuschätzen.

Das vorliegende Dokument stellt Arbeitsweise und eine Auswahl an Ergebnissen des MMEM für eine nicht ausschließlich wissenschaftlich orientierte Öffentlichkeit vor: Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, die sich mit der Frage auseinandersetzen, wie die Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität ökonomisch adäquat zu gestalten ist.

2.2. Zusammenfassung der Ergebnisse

- Im Referenzszenario ohne Politikeingriff wird die Elektrifizierung des Antriebsstrangs vor allem durch Hybridisierung erreicht - zunächst als Mild-Hybrid, dann immer mehr als Vollhybrid (PHEV) und Range Extender Vehicle (REV), also batterieelektrische Fahrzeuge mit Reichweitenerweiterung durch einen benzinbetriebenen Generator. Das Politikziel der Bundesregierung von sechs Millionen Fahrzeugen mit Elektroantrieb in 2030 wird im Referenzszenario erreicht (Kapitel 2.6).
- HEV, PHEV und REV sind ohne weitere Anreize ab einem gewissen Zeitpunkt aufgrund des guten Verhältnisses zwischen Nutzen und Kosten für den Verbraucher attraktive Optionen. BEV sind nur für begrenzte Einsatzfelder attraktiv. BEV oder Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) werden ohne Infrastruktur keine signifikante Marktdurchdringung erzielen (Kapitel 2.6).
- Die relativ günstig zu erschließenden Optimierungspotentiale von Verbrennungsmotoren in Kombination mit verschiedenen Möglichkeiten der Hybridisierung bieten auch langfristig ein sehr großes Emissionsreduktionspotential. Im MMEM-Referenzszenario wird eine Reduktion der jährlichen CO₂-Emissionen der individuellen Mobilität um 50 Prozent bis 2035 ohne weitere Eingriffe und mit dem Beibehalten des Flottenemissionsstandards von 95g/km erreicht (Kapitel 2.7).
- Weniger Verbrauch bedeutet weniger Steuereinnahmen: Effizienzvorgaben und Elektrifizierung des Antriebsstrangs führen schon in zehn Jahren zu 10 Mrd. Euro Mindereinnahmen je Jahr. Ein Umbau der Besteuerung von Mobilität ist schon aus finanzpolitischen Gesichtspunkten geboten (Kapitel 8).
- Technologieoffenheit bei den Rahmenbedingungen und ein ambitionierter, aber technisch und wirtschaftlich umsetzbarer *langfristiger* Emissionsreduktionspfad können ein ökonomisches und ökologisches Optimum herstellen (Kapitel 2.9 und 2.11).
- Effizienzvorgaben z.B. durch Flottenemissionsstandards schaffen Wert, indem sie einen systematischen Entscheidungsfehler bei Fahrzeugkäufern abstellen: Der durchschnittliche, private Fahrzeugkäufer bewertet zukünftige Ausgaben für Treibstoffe zu niedrig. Effizienzvorgaben bieten die Möglichkeit, diese Fehleinschätzung über die Angebotsseite zu korrigieren. Dies wird durch Einsparungen beim Treibstoff für den Verbraucher kompensiert und stiftet außerdem Wert für die Hersteller und vermeidet Treibstoffimporte (Kapitel 2.11).
- Unter dem Schirm eines europäischen Emissionszertifikatehandels (ETS) führen elektrische Fahranteile keine zusätzlichen Emissionen herbei, wenn das Elektrofahrzeug ein verbrennungsmotorisches Fahrzeug verdrängt.
- Im MMEM-Referenzszenario werden im Januar 2020 ohne Förderung 460.000 Elektrofahrzeuge im deutschen Fahrzeugbestand sein. Moderate Änderungen von Ölpreis, Strompreis, Batteriekosten oder anderer Einflussfaktoren können diese Zahl aber auch auf 200.000 reduzieren oder 800.000 Fahrzeuge erhöhen (Kapitel 2.8).
- In einem System mit Flottenemissionsstandards kann eine zusätzliche Förderung von Elektromobilität zu unerwünschten Nebenwirkungen haben. Durch einen höheren Anteil an Elektrofahrzeugen führt eine solche Maßnahme zu weniger starken Effizienzbemühungen der Hersteller bei konventionellen Verbrennungsmotoren (Kapitel 2.9).
- Ähnlich können Supercredits das Gegenteil des gewünschten Effektes hervorrufen: Sie führen nicht zu mehr Elektrofahrzeugen, erhöhen die Gesamtemissionen und reduzieren den Beitrag der Automobilhersteller zur Optimierung des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs.

- Nur eine der der simulierten Fördermaßnahmen, nämlich die Flottenkäufe durch öffentliche Auftraggeber, hat im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse einen deutlichen positiven Nettonutzen gezeigt. Zumindest neutral ist die Reduktion der Bemessungsgrundlage der Dienstwagen, um die Fahrzeuge wie vergleichbar leistungsfähige Fahrzeuge zu besteuern, in Kombination mit einer Sonderabschreibung für die Fahrzeuge.
- Alle Fördermaßnahmen für Elektrofahrzeuge führen zu Kosten und Steuerverlusten gegenüber dem Referenzszenario. Vor allem die Reduzierung der Steuereinnahmen für Treibstoff führt zu einer Negativbilanz für den Staat. Ohne diesen Effekt können diese Fördermaßnahmen positive Effekte für Hersteller, Verbraucher und Umwelt erzielen (Kapitel 2.9).

2.3. Effizienz als Schlüssel

Alle im MMEM betrachteten Szenarien haben eines gemeinsam: Maßnahmen, die direkt oder indirekt die Treibstoffeffizienz des Fahrzeugparks erhöhen, führen sowohl bei Verbrauchern als auch bei den Herstellern zu erhöhten Nutzen.

Effizienz ist also gut für Hersteller und Fahrzeugnutzer. Die Hersteller können durch den Einbau von effizienz erhöhenden Komponenten ihren Wertschöpfungsanteil und damit Umsatz erhöhen. Der Nutzer spart über die niedrigeren Treibstoffkosten. Volkswirtschaftlich ist es vorteilhaft, mehr High-Tech in Deutschland herzustellen und weniger Öl zu importieren.

Warum handeln dann die Hersteller bislang nicht rational und bieten effiziente Fahrzeuge an? Die Antwort ist einfach: die Hersteller handeln rational, denn der Kunde entscheidet nicht rational. Der typische Fahrzeugkäufer berücksichtigt beim Kauf nicht die vollen Kosten der Fahrzeugnutzung über den Nutzungszeitraum. Er nimmt keine sogenannte „Total Cost of Ownership“ (TCO) - Kalkulation vor, die die zu erwartenden Einsparungen gegen einen höheren Kaufpreis verrechnet.

Der jetzige Kaufpreis ist dem Käufer sicher, die künftige Treibstoffersparnis unsicher. Der Fahrzeugkäufer sieht zwar eine Verbrauchsangabe gemäß NEFZ, fragt sich aber, wenn er derlei Überlegungen überhaupt anstellt: Welchen Verbrauch werde *ich* haben? Wie lange werde ich das Auto haben? Welchen Wiederverkaufswert erziele ich? Wie viel werde ich fahren? Was wird Benzin kosten? In der Bilanz berücksichtigen Käufer damit zukünftige Treibstoffkosten weit weniger, als es wirtschaftlich für sie sinnvoll wäre. Bei dieser starken Diskontierung der zukünftigen Treibstoffkosten handelt es sich um einen typischen Marktversagenstatbestand.

Diese Kurzsichtigkeit führt dazu, dass der Käufer sich für ein weniger effizientes Fahrzeug entscheidet, als ökonomisch optimal wäre.¹ Fahrzeuge mit elektrischen Anteilen im Antriebsstrang erfahren dadurch eine besondere Benachteiligung, da sie zwar eine höhere Treibstoffeffizienz haben, aber teurer sind als verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Die Wette auf Einsparungen durch Effizienz ist für den durchschnittlichen Kunden beim Kauf zu riskant. Lieber kauft er ein günstigeres Fahrzeug - oder eins mit mehr PS, Sicherheit, Features.

Wenn der durchschnittliche Käufer keine Zahlungsbereitschaft für effiziente Fahrzeuge hat, warum sollte ein Hersteller Milliarden investieren, um sehr treibstoffeffiziente Fahrzeuge anzubieten? Fahrzeuge wurden in den letzten Jahrzehnten schneller, schwerer, leistungsfähiger, sicherer, und das mit einer beachtlichen

¹ David Greene, John German, Automotive Fuel Economy: The Case for Market Failure, 2007, in: D. Sperling, J.S. Cannon (eds.), Reducing Climate Impacts in the Transportation Sector, Springer, 2009. de Haan, P., Mueller, M.G., Peters, A. 2007. Anreizsysteme beim Neuwagenkauf: Wirkungsarten, Wirksamkeit und Wirkungseffizienz. Bericht zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 14. Die Autoren zeigen mit Hilfe der prospect theory, daß Unsicherheit und Verlustvermeidung zur Diskontierung von Effizienz führen.

wachsenden Treibstoffeffizienz bezogen auf ihr Gewicht, die die Verbrauchswerte in psychologisch akzeptablen Grenzen hielt. Würde ein einzelner Hersteller ein effizienteres, jedoch teureres Fahrzeug anbieten als die Mitbewerber, würde das zu einem Verlust an Marktanteilen führen. Für die Hersteller ist es daher rational, genau die Fahrzeuge anzubieten, die der myopische Nutzer wünscht.

Alternative Antriebstechnologien, die sich durch höhere Anschaffungskoste und eine niedrigere Treibstoffeffizienz auszeichnen, sind davon direkt betroffen. Durch die Kurzsichtigkeit der Käufer dauert es dementsprechend länger, bis in deren Wahrnehmung sich eine Anschaffung eines Elektrofahrzeugs lohnt. Die Schlussfolgerungen aus diesem Marktversagen gehen jedoch über die Markteinführung von Elektrofahrzeugen hinaus. Die Quintessenz ist, dass sowohl Verbraucher als auch Hersteller sich verbessern könnten, wenn Käufer bei der Kaufentscheidung mehr Gewicht auf zukünftige Kosten legen würden.

Ein Flottenemissionsstandard korrigiert dies durch eine Veränderung des Angebots. Wenn nur noch effizientere Fahrzeuge angeboten werden, ist die kognitive Verzerrung des Autokäufers irrelevant. Einzelne Hersteller müssen in diesem Fall nicht mit Wettbewerbsnachteilen rechnen. Dass Effizienz und Freude am Fahren (bis zu gewissen Grenzen) kein Widerspruch sind, beweisen auch deutsche Oberklassehersteller momentan in Vorbereitung auf die Einführung von Flottenemissionsvorschriften in 2015. „Efficient Dynamics“ scheinen auch ökonomisch erfolgreich zu sein. Selbst Rennfahrzeuge der Formel Eins sollen ab 2013 mit Vier-Zylindern-1,6-Liter-Turbomotoren fahren.

Die Grenzen der Optimierung von Verbrennungsmotoren sind jedoch durch die Technik vorgegeben. Die Erhöhung des elektrischen Fahranteils bietet jenseits von optimierten Verbrennungsmotoren die Chance, Treibstoffeffizienz zu steigern und Emissionen zu senken.

2.4. Modellansatz

Simulationsmodelle, die ähnlich wie MMEM aufgebaut sind, sind Standard für die Modellierung von transportökonomischen Fragestellungen (z.B. simcar, ETH Zürich entwickelt, TREMOD, U Leuven). Sie wurden vor allem für die Betrachtung der Auswirkung der Weiterentwicklung des konventionellen Antriebsstrangs und des Emissionsbeitrags der *konventionellen* Fahrzeugflotte entwickelt.

MMEM - Grundstruktur

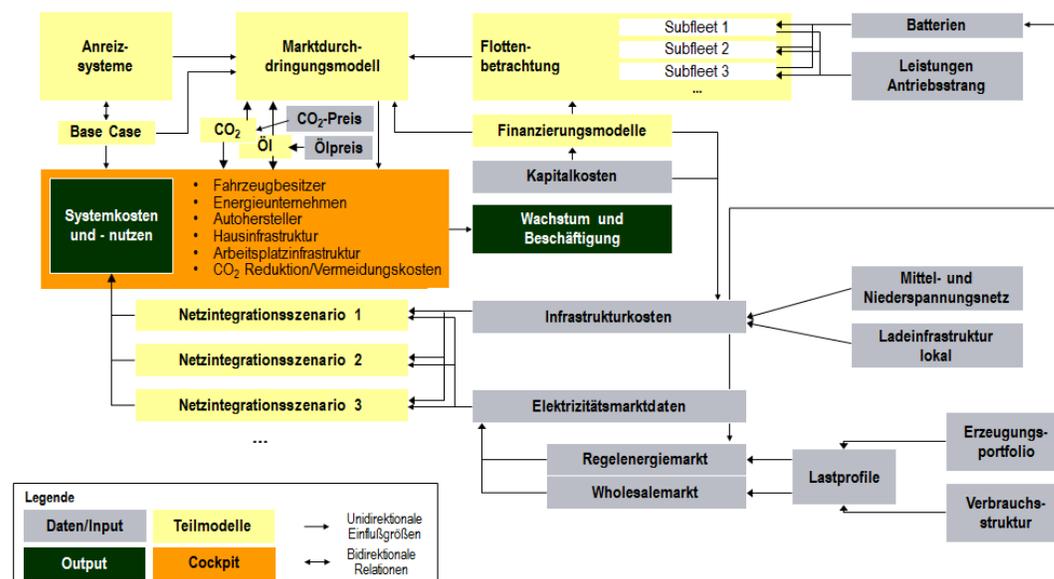


Abbildung 1: MMEM - Teilmodelle, Quelle: MMEM (2011)

Die vorliegenden Modelle mit einem Fokus auf alternativen Antriebsstrangtechnologien und Elektromobilität sind allerdings selten zur Simulation von Politikentscheidungen geeignet. Die meisten konzentrieren sich auf die Untersuchung der Folgen einer exogen vorgegebenen Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ohne den Vergleich mit einem angemessen definierten Referenzszenario. Damit bewerten sie allenfalls den Nutzen einer undefinierten neuen Technologieentwicklung. Wie Politikentscheidungen diesen Nutzen verbessern können, und wie sich Rahmenbedingungen auf die Marktdurchdringung elektrischer Fahranteile auswirken, erschließt sich nur, wenn die Politikeffekte im Vergleich zu einem Referenzszenario bewertet werden. Viele dieser Modelle wurden darüber hinaus für die USA entwickelt und haben damit keine Aussagekraft für die europäische Entwicklung.

Ein eminent wichtiger Faktor für die Evolution alternativer Antriebsarten ist die Flottenemissionsregulierung der EU. Wenn der elektrische Fahranteil als Nullemission gerechnet wird, hat die Ausgestaltung der Emissionsstandards in der EU-Regulierung 443 entscheidenden Einfluss auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen. Darüber hinaus ist die Interaktion mit dem Infrastruktur - und Energiesektor höchst relevant für Elektromobilität und für eine Kosten-Nutzen-Bewertung. Keines der den Autoren bekannten Modelle bildet diese Flottenemissionsgesetzgebung adäquat ab.

Die Datenlage für die Kalibrierung aller Modelle ist heterogen. Noch haben zu wenig Nutzer weltweit ein Elektroauto gefahren und sind methodisch adäquat (vor der Nutzung, nach der Nutzung) befragt worden. Mit anderen Worten: die Beobachtungen tatsächlichen Kauf- und Fahrverhaltens, den sog. „*Revealed Preferences*“, sind nicht besonders zahlreich. Die Mini-E-Studie von BMW ist eine Ausnahme. Sie fokussiert aber auf die Kernzielgruppe für das Fahrzeug und damit auf nur eine Nutzergruppe (hohes Einkommen, eigener Stellplatz, technologieaffin). Die Aussagekraft von Umfragen (und seien sie auch methodisch avancierte Conjoint-Umfragen) bezüglich einer neuen Technologie ist begrenzt: was ein potentieller Autokäufer sagt, wenn er unter Laborbedingungen gefragt wird, und welche Kaufentscheidung er im Autohaus oder nach einer längeren Probenutzung trifft, können sehr unterschiedlich sein.

Mit den Erkenntnissen aus weiteren Flottenversuchen und einer größeren Anzahl von Fahrzeugen im Markt werden in den nächsten Jahren bessere Grundlagen für die Modellierung der Auswirkungen von alternativen Antrieben geschaffen, sofern beim Design der Flottenversuche und Schaufenster auf methodisch stringente Datenerhebung und Befragung geachtet wird. Diese Daten können die Prognosen der vorliegenden Simulationsmodelle verbessern.

Das Marktmodell Elektromobilität ist so angelegt, dass verbesserte Nutzerdaten rasch in die Modellierung eingebracht werden können. Es besteht aus fünf separaten, aber sich gegenseitig beeinflussende „Modulen“: Nachfragesimulation, Politikmaßnahmen, Strategien der Automobilhersteller bezüglich Emissionsstandards, Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, und Volkswirtschaftliche Gesamtbetrachtung. Die Module werden in den folgenden Abschnitten einzeln vorgestellt und näher erläutert.

2.4.1. Modul Nachfragesimulation

Um den Markthochlauf von Elektroautos zu simulieren, stehen eine Reihe von Modellansätzen zur Verfügung. Häufig verwendet wird beispielsweise die „Total Cost of Ownership“ (TCO)-Betrachtung. Hierbei wird angenommen, dass Autokäufer in der Lage sind, eine Kostenabschätzung über die gesamte Lebensdauer ihres Fahrzeugs zu treffen. Sie integrieren dafür sowohl den Kaufpreis als auch monatliche variable und fixe Kosten, entsprechend der Haltedauer abdiskontiert, und bilden so den Barwert eines Autos ab. Ein TCO-Modell ist prinzipiell geeignet, um auf potentielle Kostenlücken innerhalb klar umrissener Modellalternativen und Nutzergruppen hinzuweisen. Allerdings ist fraglich, wie bereits in Abschnitt 2.3 diskutiert, inwieweit Käufer die Entscheidung für ein bestimmtes Fahrzeug tatsächlich anhand dieser eindimensionalen Bewertungsmethode

treffen. In der Realität können neben Geschmacksfragen auch andere Merkmale eine wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung spielen. Ein Modellansatz, der über die Erkenntnisse aus einer TCO-Analyse hinausgeht, schätzt „Top Down“ das Marktpotential durch eine Käufer- und Autohaltergruppenanalyse ab. Für rein batterieelektrisch betriebene Autos würden beispielsweise nur jene Kundengruppen infrage kommen, deren tägliches Fahrverhalten nicht (oder nur selten) die Reichweite der Batterie übersteigt. Durch verschiedene begrenzende Faktoren wird somit ein Maximalpotential der möglichen Käufer von Elektroautos abgeschätzt, das durch weitere sozioökonomische Kenngrößen (Einkommen, Milieu etc.) noch verfeinert werden kann. Das Problem dieser „Top Down“-Methode ist, dass nicht alle Potentiale so einfach kategorisiert werden können wie das Potential rein batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge. Die individuelle Kaufentscheidung für Autos mit mehr oder minder gleichen Charakteristika (z.B. Mild Hybrid gegenüber Diesel) ist in diesem Simulationsumfeld nicht einfach.

Das Marktmodell Elektromobilität basiert auf einer Methode mit langer transportökonomischer Tradition, dem Discrete Choice-Modell. Hier wird, wie im TCO-Modell, eine mikroökonomische Entscheidungsebene gewählt. Auf Basis von Umfragen (sog. „Stated Preferences“) oder Beobachtungen im Käuferverhalten (sog. „Revealed Preferences“) werden Wahrscheinlichkeiten errechnet, sich für eine von mehreren Wahlmöglichkeiten zu entscheiden. Im einfachsten Fall können dies die Gesamtkosten des Fahrzeugs wie im TCO-Modell sein; Discrete Choice-Modelle erlauben jedoch, darüber hinaus eine beliebige Anzahl an Variablen zu berücksichtigen, auf denen die Kaufentscheidung beruht.

Falls keine empirischen Untersuchungen zur tatsächlichen Kaufentscheidung vorliegen, weil die Technologie noch nicht im Markt zur Auswahl steht, muss auf Stated Preference-Umfragen zurückgegriffen werden. Diese Umfragen präsentieren den Umfrageteilnehmern mehrere Alternativen, z.B. einen Plugin-Hybrid, ein Dieselfahrzeug und ein rein batterieelektrisches Fahrzeug. Anhand klar definierter Fahrzeugeigenschaften, z.B. Kaufpreis, Kraftstoffkosten oder Reichweite, sowie externer Faktoren wie Tankstellendichte muss sich ein Versuchsteilnehmer für eines der Fahrzeuge entscheiden oder generell den Kauf eines der vorgeschlagenen Fahrzeuge ablehnen. Um eine realitätsnahe und informierte Entscheidungsfindung zu erreichen, werden diese Analysen häufig mit Probanden durchgeführt, die sich gerade im Entscheidungsprozess für ein neues Fahrzeug befinden.

Für das Marktmodell Elektromobilität wurde keine Stated Preference-Umfrage unternommen, sondern die Ergebnisse von 11 solcher Umfragen ausgewertet und daraus der Markthochlauf berechnet. Dies geschieht in fünf Teilschritten, die in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt werden.

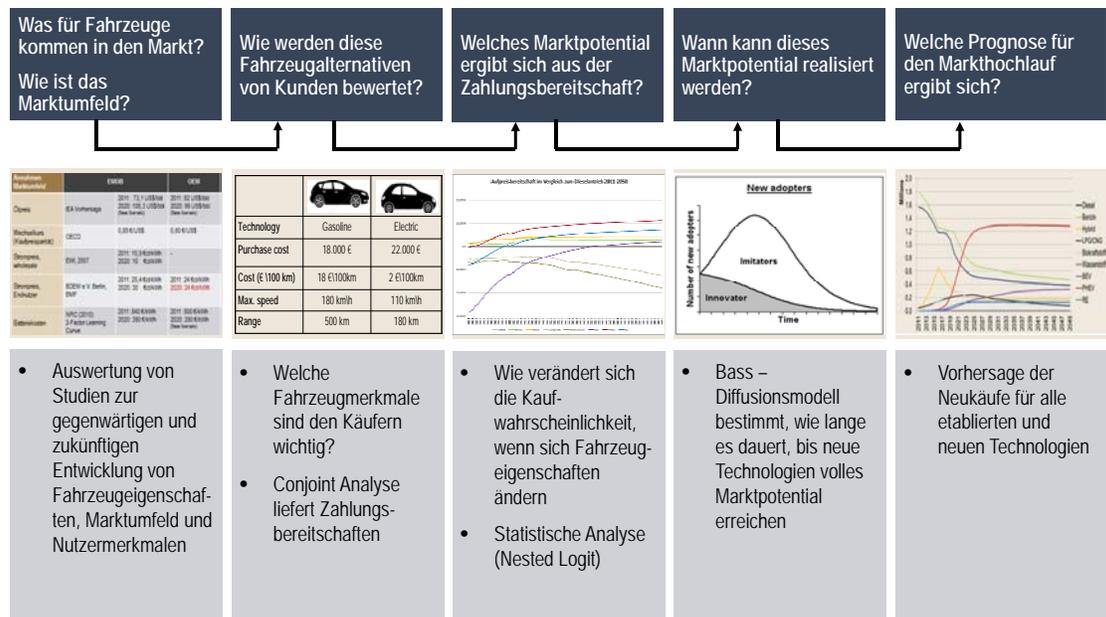


Abbildung 2: MMEM – Modellierung der Kaufentscheidungen und des Markthochlaufs, Quelle: MMEM (2011)

Im ersten Schritt werden die wichtigsten Fahrzeugeigenschaften zu jedem Autotyp ermittelt. Insgesamt werden 99 verschiedene prototypische Fahrzeuge dargestellt, entsprechend der Kategorisierung des Kraftfahrtbundesamts 11 sog. KBA-Segmente, sowie 9 verschiedene Antriebstechnologien. Abbildung 3 zeigt die im Marktmodell einem potentiellen Autokäufer zur Verfügung stehende Auswahl.

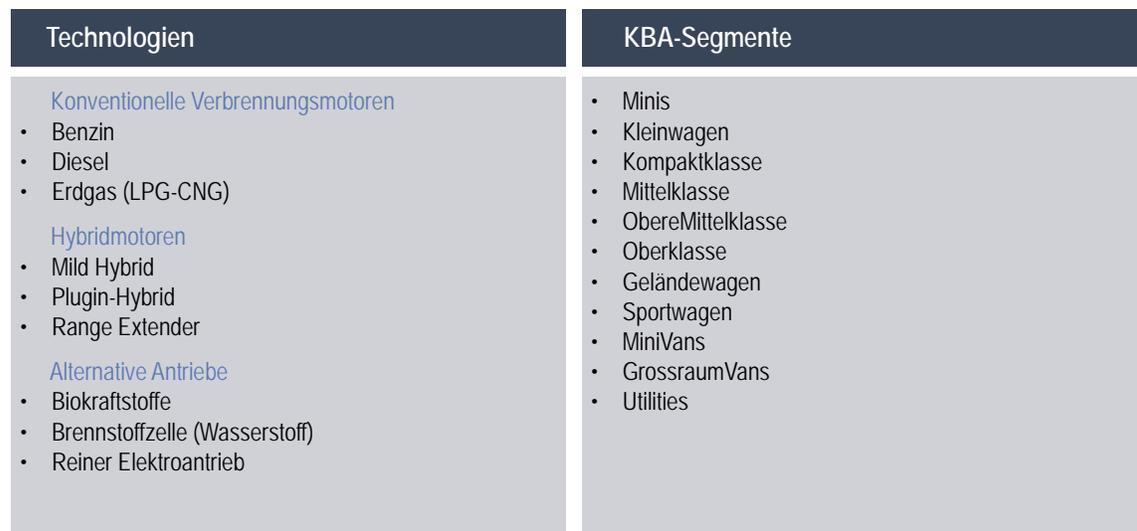


Abbildung 3: Differenzierung der Fahrzeuge nach 9 Technologien und 11 KBA-Segmenten

Quelle: MMEM (2011)

Die Mehrzahl der Segment-Technologie-Kombinationen, insbesondere bei den konventionellen Antriebstechnologien, ist im Handel erhältlich. Hier wird entsprechend der meistverkauften Modelle ein prototypisches Fahrzeug der Kaufentscheidung zugrunde gelegt. Bei den alternativen Antriebstechnologien gibt es hingegen häufig nur Prototypen, Pilotreihen, oder es sind Fahrzeuge in der Planungsphase. In diesen Fällen wird auf Basis existierender Modelle auf zukünftige Entwicklungen in den Antriebstechnologien,

Fahrzeugcharakteristika wie Motorleistung und Kosten extrapoliert. Für diese 99 prototypischen Fahrzeuge werden die wichtigsten Kennzahlen (Kaufpreis bzw. anvisierter Kaufpreis, Verbrauch pro 100 km, PS etc.) ins Modell integriert.

Im zweiten Schritt werden die Zahlungsbereitschaften („Willingness to pay“) für relevante Fahrzeugcharakteristika ermittelt. Das Marktmodell basiert auf einer Metastudie von 11 Conjoint-Analysen zur Kaufbereitschaft bei konventionellen und alternativen Antrieben, die die wichtigsten Komponenten in der Kaufentscheidung für ein Elektroauto identifiziert und quantifiziert. In die Kaufbereitschaft gehen Schätzwerte zum Nutzen verschiedener alternativer Antriebstechnologien, aber auch die Bewertung einer existierenden Ladeinfrastruktur, der Energieeffizienz und Motorleistung verschiedener Antriebstechniken, sowie eine Bewertung der steuerlichen Abgaben, insbesondere der Kfz-Steuer ein. Die Fahrzeugattribute werden durch eine Schätzung zum Einfluss der Modellvielfalt auf Konsumentenpräferenzen ergänzt. Darüber hinaus wird zwischen Autokäufern mit und ohne privaten Stellplatz differenziert. Damit können in der Modellierung der Kaufentscheidung die einzelnen Zahlungsbereitschaften, mathematisch formuliert als „Nutzen“-Komponenten, miteinander verglichen bzw. gegeneinander aufgerechnet werden, so dass sich eine realistischere Abbildung des Kaufverhaltens als mit einer rein monetären TCO-Analyse ergibt.

Die Gesamtheit der Bewertung der Fahrzeugcharakteristika stellt die Nutzenfunktion der Käufer dar. Sie ändert sich entsprechend der Veränderungen in den Attributen des Fahrzeugs. Wenn beispielsweise der Kaufpreis einer bestimmten Antriebstechnologie sinkt, erhöht sich die Nutzenfunktion bzw. steigt die Zahlungsbereitschaft.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch, wie attraktiv verschiedene Antriebstechnologien gegenüber einem Fahrzeug mit Dieselantrieb bis 2030 werden. So verschwinden beispielsweise die wahrgenommenen Nachteile eines Range Extenders im Vergleich mit einem Diesel zwischen 2017 und 2018. Unter den Elektroantrieben haben einzig rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge noch länger Nachteile in der Bewertung der Kunden.

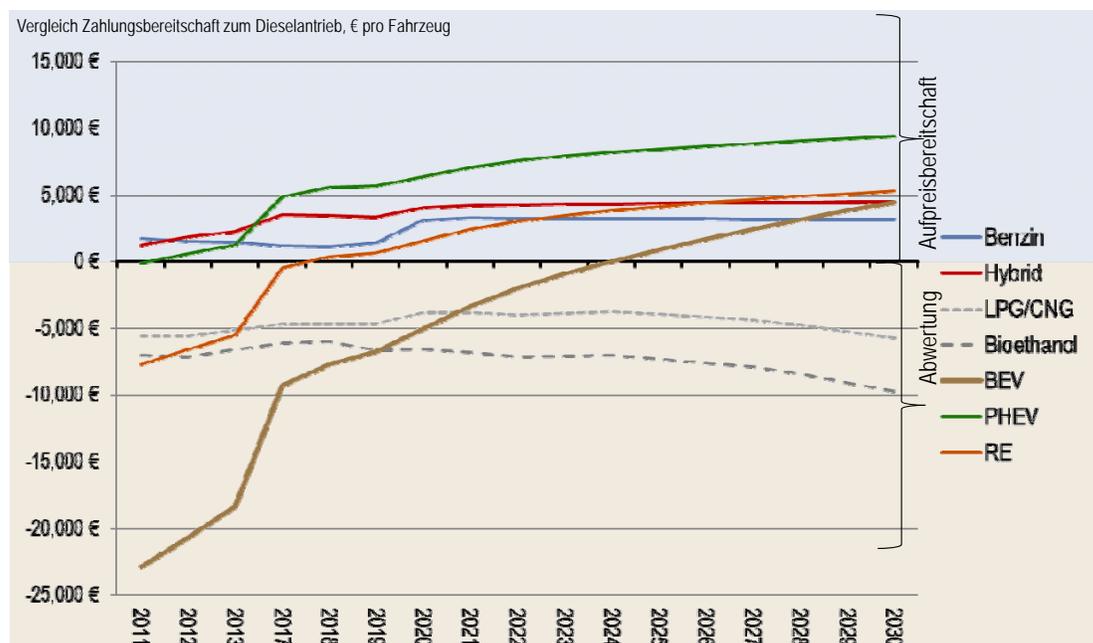


Abbildung 4: Exemplarische Entwicklung der relativen Zahlungsbereitschaften im Vergleich zum Diesel PKW

Quelle: MMEM (2011)

Anschließend werden die Zahlungsbereitschaften bzw. die Nutzenfunktion in Kaufwahrscheinlichkeiten umgewandelt. Für die privaten Haushalte und einen Teil der gewerblichen Käufe geschieht dies mit einem sog. „Nested Logit“-Modell. In diesem Modell stehen den Käufern die 99 Segment-Technologie-Kombinationen zur

Auswahl, und sie entscheiden sich mit einer bestimmaren Wahrscheinlichkeit für genau eine dieser Möglichkeiten. Die „Nest“-Struktur des Modells ermöglicht abzubilden, dass bestimmte Technologien oder Segmente eng miteinander verwandt sind.

Aus dem „Nested Logit“-Modell ergibt sich für jede Segment-Technologie-Kombination entsprechend der Fahrzeugattribute eine dynamische Kaufwahrscheinlichkeit. Das heißt aber nicht, dass alle Fahrzeugtypen schon frei erhältlich wären. Unter den Alternativtechnologien gibt es eine Reihe von Autos, die zwar aufgrund ihrer Fahrzeugcharakteristika für Kunden interessant, aber derzeit noch nicht im Markt verfügbar sind. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird im vierten Schritt auf die Kaufwahrscheinlichkeiten der Alternativtechnologien, insbesondere auf alle Fahrzeuge mit Elektromotor und Brennstoffzelle, ein Diffusionsmodell angewandt. Diese Komponente der Kaufentscheidung prognostiziert, wie lange es dauert, bis das volle Marktpotential realisiert ist. Im Marktmodell Elektromobilität wird das am häufigsten genutzte Diffusionsmodell, das sog. Bass-Modell, angewendet, das einer S-Kurve gleicht - mit einer Anfangsphase, in der nur wenige Kunden, die sog. Innovatoren, tatsächlich ein Fahrzeug kaufen, es danach einen starken Anstieg der Käuferzahlen gibt und sich die Kurve schließlich asymptotisch dem Marktpotential annähert. Die Parameter für den Markthochlauf von batterieelektrischen Autos wurden in einer Meta-Analyse zum Markthochlauf von Hybridfahrzeugen ermittelt.

Die bisher beschriebene Nutzenfunktion bildet die Kaufentscheidung privater Haushalte ab, weil die im Marktmodell analysierten Stated Preference-Befragungen diese Käufergruppe zum Ziel hatten. Die monatlichen Autokäufe in Deutschland konstituieren sich jedoch nur rund zur Hälfte aus privaten Käufen; die andere Hälfte aller Neuzulassungen sind gewerblich genutzte Pkws. Diese gewerblichen Käufe differenzieren sich nach Flottenkäufen, z.B. von Autoverleihfirmen, Dienstwagen, die zum überwiegenden Teil von den Unternehmen, aber auch zu rund einem Drittel von den Nutzern selbst ausgewählt werden, und öffentlicher Beschaffung. Für jede dieser Subgruppen wurde ein adäquates Modell integriert: bei rein gewerblich genutzten Fahrzeugen, beispielsweise Lieferwagen in Handwerksunternehmen, werden die TCO-Differenzen als Entscheidungsgrundlage angenommen. Das TCO-Modell erscheint bei gewerblich genutzten Fahrzeugen ein adäquater Ansatz, da Kostengesichtspunkte bei der Kaufentscheidung stärker ins Gewicht fallen als bei privaten Käufen. Bei Dienstwagen, also gewerblich angemeldeten Fahrzeugen, die auch privat genutzt werden, wird in Fällen, in denen die Nutzer über den Fahrzeugtyp entscheiden können, eine modifizierte Nutzenfunktion angewandt. Diese berücksichtigt die Dienstwagensteuer an Stelle des Kaufpreises sowie die spezifischen Nutzercharakteristika von Dienstwagennutzern. Bei öffentlicher Beschaffung wiederum werden exogen festgelegte Quoten jährlich im Flottenbestand umgesetzt, wodurch ein öffentliches Beschaffungsprogramm simuliert werden kann.

Abbildung 5 zeigt die methodologischen Unterschiede in der Berechnung der Kaufentscheidungen bei privaten und gewerblichen Käufen.

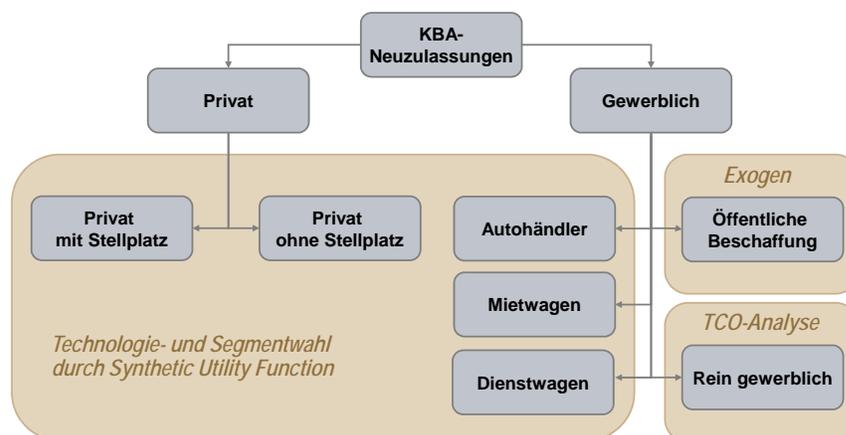


Abbildung 5: Simulationsmethoden für private und gewerbliche Käufer

Quelle: MEM (2011)

Die Gesamtnachfrage nach Pkws wird über eine ökonometrische Abschätzung des Marktwachstums im Modell implementiert und passt sie gemäß den prognostizierten Veränderungen in den Kraftstoffkosten, Anschaffungskosten und Unterhaltskosten sowie makroökonomischen Rahmenbedingungen wie Wirtschaftswachstum, Veränderung des Einkommens etc. an.

2.4.2. Modul Politikentscheidungen

Die Förderung von Elektroautos ist Teil einer langfristigen Strategie der Bundesregierung, die Emissionen des Transportsektors zu reduzieren. Mit der Nationalen Plattform Elektromobilität etablierte die Bundesregierung im Jahr 2010 ein Gremium aus hochrangigen Vertretern von Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft, das den Prozess zur Förderung von Elektromobilität begleiten und Vorschläge zur Umsetzung der Politikziele unterbreiten sollte. Das daraufhin verabschiedete Maßnahmenpaket umfasst jedoch nur einen Ausschnitt aus einem möglichen Instrumentenkatalog zur Förderung von Elektromobilität. In den meisten europäischen Ländern, Nordamerika und Asien werden Förderinstrumente diskutiert und sind unter anderem in Großbritannien, Frankreich und Japan schon implementiert.

Das Marktmodell Elektromobilität bietet die Möglichkeit, Effekte eines ganzen Spektrums von Maßnahmen abzubilden und zu testen. Die Maßnahmen können unterteilt werden in Kontextmaßnahmen und spezifische Maßnahmen zur Förderung von Elektroautos.

Unter Kontextmaßnahmen werden bereits existierende oder geplante Instrumente auf deutscher oder europäischer Ebene zusammengefasst, die die gesamte Fahrzeugflotte betreffen oder noch weiter gehende Effekte auf Wirtschaft und Gesellschaft haben. Dazu gehören u.a. eine generelle Veränderung von Energiesteuern, sei es eine staatlicherseits verabschiedete Anhebung der Steuern auf fossile Kraftstoffe oder Strom für Haushaltskunden, z.B. aufgrund steigender Kosten für den Ausbau erneuerbarer Energien. Ebenfalls unter die Kontextmaßnahmen fallen die EU-Richtlinien zur Flottenemissionsbegrenzung, die sog. „Regulation 443“ oder Corporate Average Fuel Efficiency (CAFE)-Standards, deren Implementierung im Modell im folgenden Abschnitt ausführlich besprochen wird.

Das Marktmodell Elektromobilität zielt in der Analyse der Kontextmaßnahmen nicht nur auf die direkten Auswirkungen auf den Markthochlauf von Elektroautos ab, sondern bezieht - etwa bei den Auswirkungen einer erhöhten Mineralölsteuer - die Veränderungen in die Entscheidungsfindung beim Autokauf aller Antriebstechnologien dynamisch mit ein. Insbesondere eine Senkung der Flottenemissionsobergrenzen führt im Modell zu einer Optimierung und Anpassung der Strategien der Automobilhersteller gemäß der rechtlichen Ausgestaltung des Instruments.

Für das Marktmodell gelten alle schon beschlossenen Kontextmaßnahmen als Teil des Referenzszenarios; so werden beispielsweise die Emissionsstandards, wie sie vom Europäischen Parlament verabschiedet wurden, als fester Bestandteil des Modells in den Markthochlauf von Elektroautos integriert.

Spezifische Fördermaßnahmen für Elektroautos können in die Bereiche Investitionen, Kaufanreize und Nutzeranreize gegliedert werden. Sie sind nicht Teil des Referenzszenarios und können in ihrer individuellen Wirkung getestet werden.

Bei Investitionen handelt es sich um direkte Ausgaben des Staates, der Kommunen oder auch privatwirtschaftlicher Akteure für bestimmte Projekte. Dies beinhaltet u.a. das Engagement des Staats in der Forschung und Weiterentwicklung von Batterietechnologien. Im Marktmodell kann der Einfluss der Forschungsausgaben auf den Batteriepreis simuliert werden. Weiterhin können Flottenkäufe im öffentlichen

Dienst simuliert werden - zum einen erhöhen sie als direkte Maßnahme natürlich die Anzahl der Elektroautos, zum anderen haben sie aber auch aufgrund der positiven Rückkopplungs- und Multiplikatoreffekte des Modells insbesondere in den kommenden Jahren eine indirekte, verstärkende Wirkung auf den Markthochlauf.

Regierungen in europäischen Nachbarländern sowie einzelne Kommunen und Unternehmen planen eine Schnellladeinfrastruktur im öffentlichen Raum, um die mangelnde Reichweite rein batterieelektrisch betriebener Elektroautos auszugleichen. Das Marktmodell erlaubt, den Betreibern der Ladestationen einen Zuschuss zu gewähren. Auch die Investition in eine Ladeinfrastruktur für sog. „Laternenparker“, d.h. Autohalter ohne privaten Stellplatz, kann im Modell durchgespielt und deren Kosten und Rückkopplungen auf die Kaufentscheidung dieser potentiellen Zielgruppe bestimmt werden.

Jenseits von direkten Investitionen werden auch Anreizmechanismen in Erwägung gezogen. Das international am häufigsten eingesetzte Instrument ist eine Kaufprämie, aber auch Rabatte, Steuererleichterungen und zinsgünstige Darlehen können die Kaufentscheidung zugunsten eines Elektroautos beeinflussen. Spezielle Maßnahmen für einzelne Zielgruppen, etwa Dienstwageninhaber, wurden in Deutschland schon verabschiedet und können in ihrer Effizienz und Wirkung im Marktmodell evaluiert werden. Zudem erlaubt das Modell, fiktive Szenarien, etwa eine staatliche Beteiligung an den Kosten für intelligente Ladestellen privater Autohalter, zu entwerfen und zu bewerten.

Unter die sog. „nichtmonetären“ Instrumente fallen Nutzeranreize wie kostenloses Parken. „Nichtmonetär“ bedeutet jedoch in diesem Kontext nur, dass nicht-staatliche Akteure für entgangene Einnahmen bzw. Kosten aufkommen, etwa die Kommunen, denen ein Teil ihrer Parkplatzgebühren wegfällt. Die Perspektive, kostenlos in Innenstädten zu parken, kann die Attraktivität von Elektroautos für manche Kundengruppen erhöhen und für eine schnellere Marktdurchdringung sorgen.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die wichtigsten, im Marktmodell Elektromobilität implementierten Politikmaßnahmen.

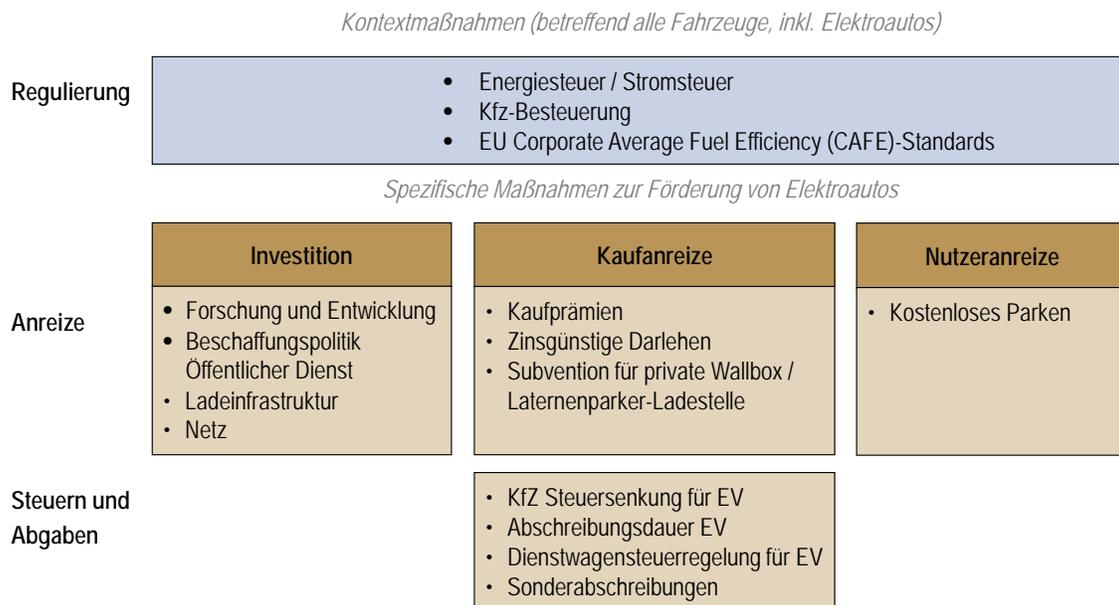


Abbildung 6: Politikmaßnahmen im MMEM

2.4.3. Modul Optimierung unter CAFE

Im Jahr 2009 hat die EU mit der Regulierung 443/2009 Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen erlassen. Diese Regulierung sieht bindende Standards für alle in Europa vertreibenden Automobilhersteller vor, eine sogenannte Corporate Average Fuel Economy (CAFE), und hat damit die Senkung der Flottendurchschnittsemissionen zum Ziel. Es ist zu beobachten, dass die betroffenen Hersteller mit effizienzsteigernden Maßnahmen auf diese Regulierung reagieren und weiter reagieren werden.

Die zu erwartenden Maßnahmen werden im MMEM nach Maßgabe des Textes von 443/2009 genauso abgebildet wie endogene Überlegungen der Automobilhersteller zur Erhöhung der Treibstoffeffizienz. Der zugrundeliegende Mechanismus ist ein Optimierungsmodell, das ein Kostenoptimum aus Sicht der Konsumenten anstrebt. Dazu werden im Modell drei wesentliche Komponenten einbezogen. Die an den Käufer weiterzugebenden Kosten der Optimierungsmaßnahme² werden gegen deren Effekt bezüglich der Treibstoffeffizienz und den damit verbundenen Einsparungen der Konsumenten abgewogen. Dabei ist nicht die tatsächliche Minderung der Treibstoffkosten maßgeblich, sondern die vom Konsumenten wahrgenommene (diskontierte) Kostenminderung. Die so erreichte Balance zwischen Kaufpreis und kalkulierten Treibstoffkosten ist damit absatzoptimal.

Treten nun zusätzliche äußere Faktoren wie Regulierung 443 auf, so kann sich, abhängig von der „Schärfe“ der Regulierung, dieser kostenoptimale Punkt weiter verschieben, da potenzielle Strafzahlungen bei Verstoß berücksichtigt werden müssen. Die Berechnungen im MMEM zeigen, dass die Emissionsstrafen in einer Höhe ausfallen, die stets ein Maximum an Effizienzverbesserung optimal werden lässt.

Die Vorgaben einer solchen Regulierung sind damit bis zum Erreichen des vorgeschriebenen Grenzwertes auch als ökonomisch bindend zu betrachten.

Ein Sekundäreffekt weiterer Vorgaben ist eine Marktanteilsverschiebung zu Gunsten von Elektromobilität. Konventionelle Alternativen werden durch die vorgenommenen Effizienzmaßnahmen teurer und damit im Vergleich unattraktiver. Dem entgegen wirkt die zunehmende Durchdringung der Flotte mit emissionsarmen Elektrofahrzeugen, die die Flottendurchschnittsemissionen senken und damit die Notwendigkeit von Effizienzverbesserungsmaßnahmen verringern. Ein langfristiges Gleichgewicht ist dabei entscheidend von der Höhe der Emissionsvorgaben beeinflusst.

Zu hohe Standards führen an die Grenze des technologisch Machbaren und erhöhen das Preisniveau damit künstlich, ohne einen direkten Effizienzvorteil hervorzurufen. Zwar findet weiterhin eine Umschichtung der Flotte zu emissionsärmeren Fahrzeugen hin statt, die technologische Vielfalt des Sektors und die Gesamtnachfrage leiden aber unter dieser Maßnahme.

Zu niedrige Standards haben ein notwendiges Minimum an Energieeffizienz zur Folge, der Markt entwickelt sich nach rein ökonomischen Gesichtspunkten. Entscheidend ist hier die Wahrnehmung der Konsumenten von Treibstoffeffizienz und dem damit verbundenen Vorteil. Ein Konsument, der seine zukünftigen Kosten von Mobilität im Rahmen einer TCO-Rechnung bestimmt, würde eine andere als die derzeit beobachtete Balance zwischen Gesamttreibstoffkosten und dem Kaufpreis präferieren. Diese verzerrte Wahrnehmung bietet damit einen ökonomischen Ansatz für Maßnahmen, die ökologische Ziele verfolgen.

2.4.4. Modul Energie und Infrastruktur

Die konkrete Ausgestaltung der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen zur Förderung von Elektromobilität betrifft den Energiesektor sowohl direkt als auch indirekt. Dazu gehören neben klassischen

² Den Kostenannahmen liegt eine von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebene und im Jahr 2006 veröffentlichte Analyse der niederländischen Organisation for Applied Scientific Research (TNO) zugrunde.

Instrumenten wie Energiesteuern auf fossile Rohstoffe auch spezifische Maßnahmen zum Aufbau der Versorgungsinfrastruktur und bei der Standardisierung der Schnittstellen zwischen Elektroauto und Stromnetz.

Die Wechselwirkungen zwischen Elektromobilität und dem Energiesektor werden im MMEM auf mehreren Ebenen analysiert:

1. Non-Tailpipe-Emissionen unter verschiedenen Rahmenbedingungen
2. Auswirkungen verschiedener Integrationsformen: netz- bzw. nutzergesteuerte Ladevorgänge, Vehicle-to-Grid
3. Erneuerungs- und Erweiterungsbedarf des Mittel- und Niederspannungsnetzes
4. Aufbau einer Ladeinfrastruktur

Das Modell erlaubt, relevante Politikinstrumente zu testen und die direkten Rückwirkungen auf den Markthochlauf bzw. die Effekte in der Kosten-Nutzen-Analyse zu quantifizieren. Zu den Maßnahmen gehören:

- Subventionen für die Ladeinfrastruktur für sog. Laternenparker
- Subventionen für den Ausbau einer Schnell-Ladeinfrastruktur
- verschiedene Ausprägungen netzgesteuerter Ladung, darunter auch subventioniertes Laden am Arbeitsplatz und Laden mit dezentraler Einspeisung durch Solarstrom

Das Simulationsmodell nutzt als Referenzszenario bis 2050 die Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen aus der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010). Alternative Szenarien, u.a. die Ausbauszenarien aus der Stellungnahme Nr. 15 (Mai 2010) des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU), sind im Modell hinterlegt und können ebenfalls durchgespielt werden. MMEM simuliert die Einspeisung der fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Sonne auf Basis empirischer Daten des Jahres 2010. Der Energiebedarf von Elektroautos wird entsprechend der Mobilität-in-Deutschland-Wegedaten tageszeitgenau berechnet und zur Simulation des Ladeverhaltens genutzt.

Auf Basis der „Mobilität in Deutschland (2008)“-Daten wurden entsprechend der bisherigen Verteilung der 11 KBA-Segmente auf neun unterschiedliche Regionstypen (sog. BBSR 9er-Kategorisierung) die zum Bestand hinzukommenden Elektrofahrzeuge, differenziert nach rein batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen, Plug-In Hybrids und Range Extendern, zugeordnet. Eine Meta-Analyse von Studien der Energieversorger (E.ON, RWE) sowie universitärer Untersuchungen (z. B. RWTH Aachen) zur elektromobilitätsbedingten Zusatzbelastung des Verteilungsnetzes bei verschiedenen Abstufungen der Marktdurchdringung wurde zur Abschätzung des Ausbaus der Netzinfrastruktur erstellt. Damit kann das Modell für die einzelnen Regionstypen die Kosten zur Infrastrukturerneuerung quantifizieren. Zudem können jetzt auf Basis der „Mobilität in Deutschland (2008)“-Daten die Kosten für notwendige Ladestellen (private Wallboxen, Ladestellen für Laternenparker und semi-öffentliche Ladestellen am Arbeitsplatz) den einzelnen Regionstypen zugeordnet und in ihren Kosten abgeschätzt werden.

Im Modell wird entsprechend der prognostizierten Verkäufe der drei Elektroautotypen (rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge, Plug-In Hybride und Range Extender) und deren Speicherkapazitäten eine maximale Speicherkapazität prognostiziert. Diese wird mit Daten aus „Mobilität in Deutschland (2008)“ zu Fahrleistung, Fahrverhalten (zeitliche Einordnung), Fahrtzweck (Arbeit, Freizeit, Besorgungen) kombiniert und erlaubt eine Abschätzung der zu jedem Tages- und Nachtzeitpunkt verfügbaren Regelleistung bzw. verfügbaren Batteriekapazität. Auf der Erzeugungsseite wird die Preisbildung am Regelenergiemarkt (Minutenreserve) anhand eines Merit-Order-Dispatches mit verschiedenen Technologien (Pumpspeicherkraftwerke, Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und als Backup-Option Gasturbinen) simuliert.

2.4.5. Modul Volkswirtschaftliche Gesamtbewertung

2.4.5.1. *Kosten-Nutzen-Analyse*

Mit Hilfe des Marktmodells Elektromobilität können die Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf die Fahrzeugnutzer, Hersteller, Energieversorger, Infrastrukturbedarf und den Staat simuliert werden. Neben dem Einfluss auf die Kaufentscheidung steht die Frage, ob ein bestimmtes Politikinstrument gesamtgesellschaftlich vorteilhaft ist, im Mittelpunkt der Betrachtung.

Um eine solche Bewertung durchführen zu können, fließen die Simulationsergebnisse direkt in eine Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen ein, die durch eine Politikmaßnahme hervorgerufen werden. Dabei werden die Einflüsse auf die betroffenen Akteure monetarisiert und miteinander verrechnet. Eine Politikmaßnahme ist dementsprechend aus gesamtgesellschaftlicher Sicht empfehlenswert, wenn der monetarisierte Nutzen einer Maßnahme (Bessere Wohlfahrt für Konsumenten, Produzentenrente, Reduzierung der Umweltschäden, Einsparung fossiler Treibstoffe, usw.) die zusätzlichen Kosten (durch Steuerausfall, Anschaffungskosten, Infrastrukturausbau, usw.) übersteigt.

Die folgenden Prinzipien liegen der Kosten-Nutzen-Analyse im MMEM zugrunde:

- Die Bewertung einer Politikmaßnahme findet immer im Vergleich zum Referenzszenario (ohne Politikmaßnahme) statt. Das Modell berechnet beispielsweise, welche Kosten oder Nutzen Fahrzeugbesitzer durch veränderte Treibstoffausgaben haben, verglichen mit den Treibstoffkosten, die im „Ohne Politik“ Fall angefallen wären.
- Zukünftige Kosten und Nutzen werden diskontiert. So wird berücksichtigt, dass eine Zahlung, die in der Zukunft liegt, weniger wert ist als die gleiche Zahlung heute. Als Diskontrate wird im Modell 3 Prozent pro Jahr angenommen.
- Der Bewertungszeitraum ist 2012-2050. Es werden alle Zahlungsströme in diesem Zeitraum berechnet, diskontiert und kumuliert. Einzelne Zeithorizonte können herausgegriffen werden.

Die Analyse folgt internationaler Praxis und orientiert sich an den Richtlinien der Europäischen Kommission. Für die Bewertung von Umweltschäden nutzt das MMEM Ansätze des Umweltbundesamtes. Die Kosten-Nutzen-Analyse ermöglicht damit den Vergleich von alternativen Politikmaßnahmen anhand ihres Netto-Nutzens - bzw. ihrer Kosten.

Die gesamtgesellschaftliche Perspektive ist auf Deutschland orientiert. Dementsprechend ist die Bilanz einer Politikmaßnahme vorteilhaft, wenn Umweltkosten sinken oder Importe, insbesondere Einfuhren fossiler Brennstoffe, reduziert werden können.

Eine Maßnahme kann allerdings nur dann zu Nutzengewinnen führen, wenn sie mindestens einen Stakeholder besser stellt, ohne das ein anderer im gleichen Maße schlechter gestellt wird. Eine reine Umverteilung von einem Sektor zu einem anderen Sektor hat dementsprechend keinen Einfluss auf die Gesamtbewertung einer Maßnahme.

Folgende Positionen fließen in die Kosten–Nutzen-Analyse ein:

- Ausgaben für Fahrzeugkäufe
- Ausgaben für Treibstoffe inklusive Fahrstrom
- Infrastrukturkosten, inklusive Netzerweiterungsinvestitionen und Ladeinfrastruktur
- Umweltschäden durch Treibhausgasemissionen und lokale Emissionen
- Vermeidungskosten für zusätzliche Emissionen im ETS System
- Optimierungs- und Strafkosten für Autohersteller
- Bewertung Importe von fossilen Brennstoffen

- Direkte Kosten für den Staat in der Form von Subventionen und/oder Steuerausfall (insbesondere Energiesteuer)
- Schattenkosten staatlicher Besteuerung

Wir kategorisieren die Kosten und Nutzenänderungen für die relevanten Interessengruppen: Konsumenten, Produzenten und Staat. Umwelt und der Rest der Welt, d.h. Effekte, die nicht innerhalb der nationalen Grenzen anfallen, werden gesondert ausgewiesen. Am Ende der Kosten-Nutzen Betrachtung werden die Effekte bilanziert (siehe Abbildung 7).

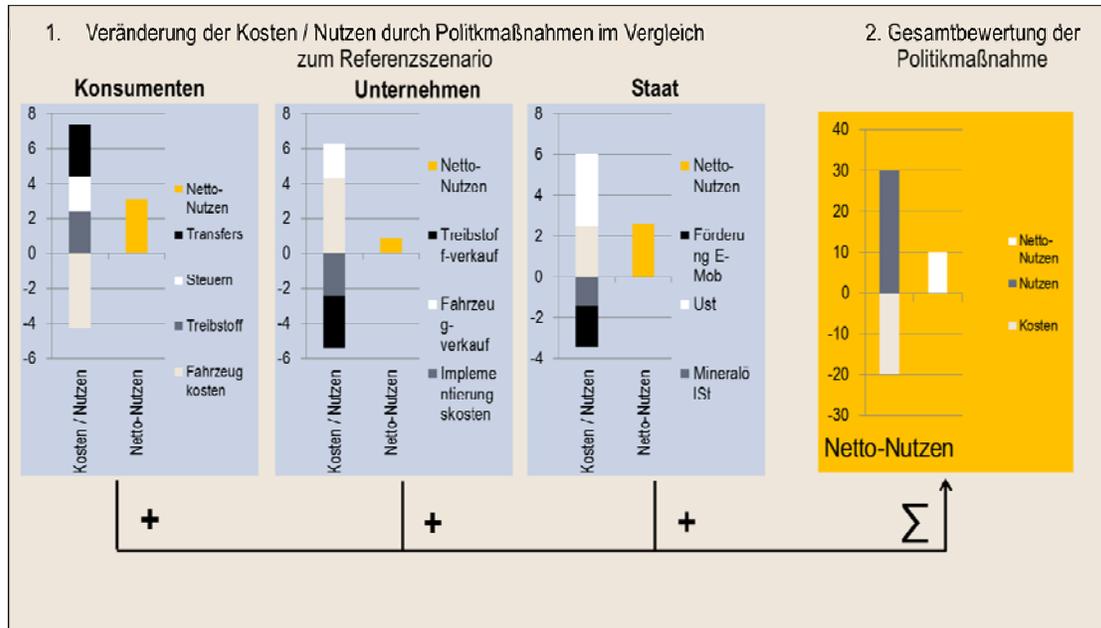


Abbildung 7: Schema Kosten-Nutzen Analyse

Quelle: MMEM (2011)

Eine detaillierte Bilanz für eine Maßnahme wird im Kapitel 2.9 im Detail vorgestellt.

2.4.5.2. Volkswirtschaftliche Gesamtbewertung

Voraussetzungen für eine realistische Einschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Politikbetrachtung sind:

- Ein detailliertes Bild darüber, wie eine Politikmaßnahme die volkswirtschaftlichen Treiber, wie zum Beispiel Technologiewahl, Fahrzeugnachfrage, Treibstoffausgaben, Infrastrukturbedarf usw., beeinflusst. Im Mittelpunkt stehen dabei die fünf Schlüsselsektoren (Automobilherstellung, Infrastruktur, Elektrizitätssektor, Kraftstoffherstellung und -vertrieb sowie Fahrzeughandel), die vornehmlich von der Politikmaßnahme beeinflusst werden.
- Ein geeignetes ökonomisches Modell, um die Veränderungen dieser volkswirtschaftlichen Treiber in Wertschöpfungsänderungen und Beschäftigungsnachfrage zu übersetzen.

Um die zweite Anforderung zu erfüllen, wurde eigens ein ökonomisches Teilmodell entwickelt. Grundlage der Modellierung war eine Analyse der Wertschöpfungskette der betroffenen Industrien mit dem Ziel, die Einflussfaktoren auf Ausbringung, Wertschöpfung und letztendlich Beschäftigung in den Schlüsselsektoren zu

bestimmen. Schlüsselfrage dabei war, wie sich der einheimische Wertschöpfungsanteil von alternativen Antrieben von der von konventionellen Fahrzeugen unterscheidet.

Durch eine Input-Output-Analyse wurden die Wechselwirkungen mit dem Rest der Volkswirtschaft abgebildet. So kann man mit dem MMEM abschätzen, wie eine Veränderung der Nachfrage in den Schlüsselsektoren die Nachfrage nach Vorleistungen - beispielsweise Automobilzulieferer - beeinflusst. Insgesamt liefert das Modell damit Abschätzungen der direkten Veränderung der ökonomischen Aktivität in den Schlüsselsektoren und indirekte Einflüsse durch Veränderung der Nachfrage nach Vorleistungen der restlichen Volkswirtschaft.

Mit Hilfe der strukturellen Unternehmensstatistiken des Statistischen Bundesamts und von Eurostat wurde im letzten Schritt analysiert, welche Beschäftigungseffekte durch Veränderungen der Ausbringung in den betroffenen Sektoren und im Rest der Volkswirtschaft im Vergleich zum Referenzszenario hervorgerufen werden.

Die folgende Abbildung fasst unseren Ansatz schematisch zusammen.

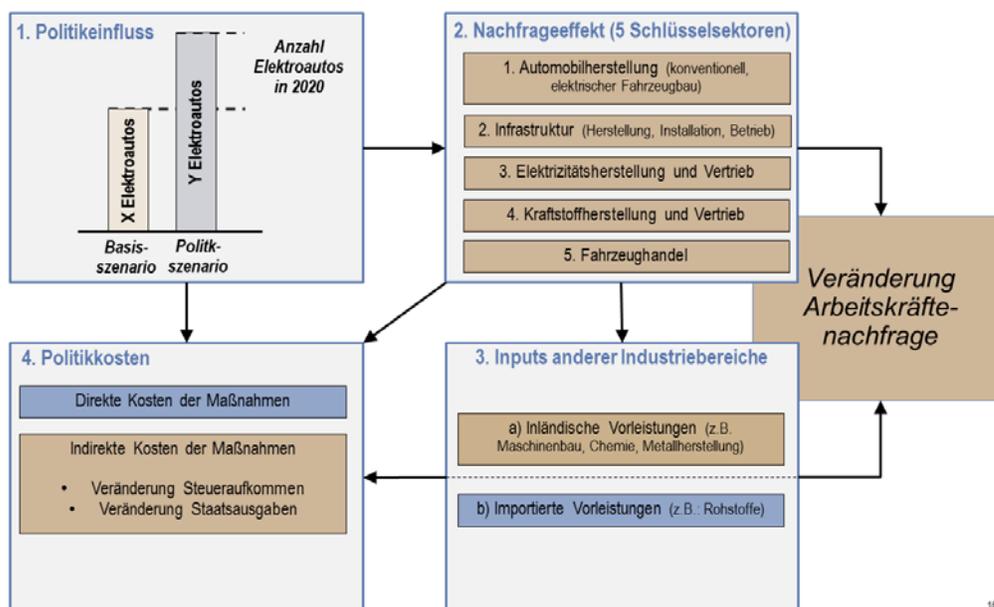


Abbildung 8: Schematische Darstellung Ökonomisches Modell

Quelle: MMEM (2011)

Die volkswirtschaftlichen Effekte einer Politikmaßnahme hängen von der speziellen Ausgestaltung des Instruments ab. Allgemein kann gesagt werden, dass die Produktion von Elektroautos nur dann zu höherer Wertschöpfung führt, wenn der einheimische Anteil der Produktion höher oder gleich dem der konventionellen Fahrzeuge ist. Davon ist mittelfristig nur auszugehen, wenn Batterien und deren Komponenten am Standort gefertigt werden.

Die Nutzung von inländisch produzierter Energie anstelle des Imports von fossilen Brennstoffen kann langfristig auch zu positiven Effekten führen. Allerdings ist der Wertschöpfungs- und Arbeitsanteil in diesen Industrien eher gering. Schließlich werden Aufbau und Wartung der Infrastruktur langfristig zu positiven Effekten führen, sobald eine nennenswerte Anzahl von Elektrofahrzeugen zu einer dementsprechenden Nachfrage führt.

2.5. Exogene Faktoren

2.5.1. Öl- und Strompreise

Das Referenzszenario im Marktmodell Elektromobilität basiert auf einer Reihe von Annahmen, die einen wahrscheinlichen Verlauf der wirtschaftlichen Entwicklung Deutschlands und der internationalen Märkte widerspiegeln. Einer der Faktoren, die den Erfolg von Elektromobilität maßgeblich beeinflussen, ist der Ölpreis. Wenn sich in Schwellenländern der motorisierte Individualverkehr in ähnlicher Form durchsetzt wie in der industrialisierten Welt³, kann durch verstärkte Nachfrage bei gleichzeitig stagnierenden Ölfördermengen Elektromobilität einen doppelten Impuls erhalten: Zum einen wird es für Länder ohne eigene Ölreserven zunehmend attraktiv, die Energienachfrage des Transportsektors vom Öl abzukoppeln. So könnte China den Strombedarf seiner Elektroautoflotte aus der Stromproduktion auf Basis der reichlich vorhandenen Kohlereserven des Landes decken. Zum anderen würden die relativ hohen Investitionskosten für die Batterien der Elektroautos durch deutlich niedrigere variable Kosten für den Ladestrom kompensiert und der Preisnachteil, die sog. TCO-Lücke⁴ in den Gesamtkosten des Fahrzeugs über dessen Lebenszeit deutlich reduziert.

Das Marktmodell Elektromobilität legt eine vorsichtige Schätzung der Steigerung des Ölpreises über den Simulationszeitraum zugrunde. Es bezieht sich auf die Prognose aus dem Referenzszenario der Energy Information Administration des US-amerikanischen Departments of Energy, das im „International Energy Outlook“ jährlich aktualisierte Ölpreisdaten bis zum Jahr 2035 veröffentlicht.

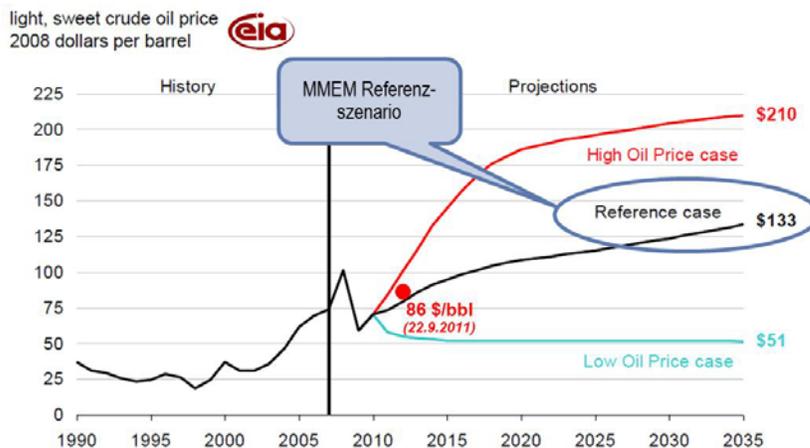


Abbildung 9: Modellannahmen zur Entwicklung des Ölpreises

Quelle: EIA (2010), cnn Commodities (2011)

Die Entwicklung des Ölpreises nach 2035 wird im Marktmodell linear fortgeführt, so dass den Berechnungen des Referenzszenarios im Jahr 2050 ein Ölpreis von 143 US-\$/bbl zugrunde liegt. Da die Ölpreisentwicklung historisch gesehen jedoch großen Schwankungen unterliegt, werden die beiden Alternativszenarien der Energy

³ Während gemäß einer Weltbank-Erhebung im Jahr 2008 in Deutschland auf 1000 Einwohner 554 Autos entfielen, lag die Zahl in China bei 37 Autos pro 1000 Einwohner (s.a. Weltbank (2011), World Development Indicators, abgerufen am 22.9.2011 unter <http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3>)

⁴ TCO bedeutet „Total Cost of Ownership“ und ist in vielen Modellen zur Marktdurchdringung der entscheidende Faktor für die Käuferpräferenzen. Auch das Marktmodell Elektromobilität nimmt an, dass preisliche Differenzen in der Kaufentscheidung eine maßgebliche Rolle spielen.

Information Administration, „High Oil Price case“ und „Low Oil Price case“, wie in der vorangegangenen Abbildung dargestellt, ebenfalls im Modell durchgerechnet.

Von Bedeutung für die Marktdurchdringung von Elektroautos ist neben dem Ölpreis auch der Strompreis. Hier nutzt das Simulationsmodell als Referenzszenario bis 2050 die Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen aus der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010). Die Preisprognosen dieser Studie zeigen nur geringfügige Veränderungen über den Simulationszeitraum und fluktuieren in einer engen Bandbreite zwischen 21 und 22 €-Cent/kWh für Haushalte entsprechend verschiedener Zielszenarien. Die Autoren erklären das fast konstante Niveau der Endverbraucherpreise folgendermaßen: „Auf der einen Seite wirken im konventionellen Erzeugungssektor bis 2050 steigende CO₂- und Brennstoffkosten preistreibend. Zudem führt der im Zeitverlauf steigende Anteil von erneuerbaren Energien trotz Lernkurveneffekten zu höheren EE-Zusatzkosten. Auf der anderen Seite führt die im Zeitverlauf unterstellte europäische Binnenmarktintegration zu einem verstärkten Stromimport, der auf Stromerzeugung aus vergleichsweise günstigen Technologien im Ausland basiert und sich Strompreis dämpfend auswirkt.“⁵

Die sich wechselseitig aufhebenden Effekte in den Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen können sich jedoch auch in die eine oder andere Richtung verschieben. Insbesondere ein Ausbau der europäischen Hochspannungsnetze sowie groß angelegter Projekte zur Integration erneuerbarer Energien wie das Projekt „Desertec“ könnten unter bestimmten politischen Rahmenbedingungen den Strompreis signifikant erhöhen. „Desertec“ beispielsweise plant, in nordafrikanischen Wüstenregionen solarthermische Kraftwerke zu bauen, die über Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Kabel (HGÜ) Strom ins europäische Netz einspeisen. In zwei Alternativszenarien werden im Marktmodell Elektromobilität von der Prognos-EWI-GWS-Vorhersage divergierende Annahmen durchgespielt: Zum einen ein stetig steigender Strompreis, zum anderen ein sinkender Preis für Endkunden. Beide Szenarien wirken sich, entsprechend der Fahrleistungen einzelner Kundensegmente, in verschiedenen Käufergruppen unterschiedlich stark auf die Attraktivität von Elektroautos auf.

2.5.2. Kostendegression der Batterie

Die Entwicklung des Batteriepreises entscheidet maßgeblich über den Erfolg von Elektroautos. Insbesondere rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge, aber auch Range Extender, haben aufgrund ihrer Batteriegröße derzeit gegenüber Hybridfahrzeugen einen gravierenden Nachteil bei der Kaufentscheidung; mit 30 bis 40 Prozent schränkt der hohe Anteil der Batteriekosten an den Gesamtkosten⁶ die Wettbewerbsfähigkeit dieser Antriebstechnologien ein. Ein besonderer Fokus dieses Forschungsvorhaben liegt deswegen darauf, die Entwicklung der Batteriekosten abzuschätzen.

Es ist davon auszugehen, dass die Batterien innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre deutlich günstiger werden. Dies liegt zum einen daran, dass sich aus der Massenproduktion Skaleneffekte ergeben. Typisch für Produktinnovationen ist das Potenzial für Kostendegression, wenn Hersteller Erfahrungen mit der Technologie gewinnen. Zum anderen kann erwartet werden, dass sich durch vermehrte Forschungs- und Bildungsausgaben, die staatlicherseits für neue Lehrstühle an Universitäten und Grundlagenforschung bestimmt sind, sowie durch Zuschüsse für privatwirtschaftlich organisierte, angewandte Forschung Kostensenkungen in der Fertigung ergeben.

Das Marktmodell Elektromobilität ist in der Lage, die Batteriekosten unter dynamisch variierenden Einflussfaktoren, insbesondere Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie eine beschleunigte Marktdurchdringung, abzuschätzen. Das Modell greift hierfür auf umfassende theoretische Überlegungen zur

⁵ Prognos-EWI-GWS (2010), Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, S. 117

⁶ Siehe dazu S. 18 des Zweiten Berichts der Nationalen Plattform Elektromobilität

Kostendegression sowie die empirische Anwendung auf Technologien erneuerbarer Energien zurück.⁷ Die Analogie ist insofern wissenschaftlich vertretbar, als dass beispielsweise Photovoltaik-Panels und Windkraftanlagen in einem relativ kurzen Zeitraum von zwei bis drei Jahrzehnten eine starke und noch anhaltende Kostendegression erfahren haben und der Erfolg der Technologie durch staatliche Subventionen beschleunigt wurde.

Die theoretischen Erkenntnisse aus den erneuerbaren Energien werden als Grundlage für ein Lernkurvenmodell, die sog. 2-Factor-Learning-Curve (2-FLC), genutzt. Gegenüber herkömmlichen, eindimensionalen Lernkurvenmodellen, die nur Kostensenkungen durch Volumeneffekte abzubilden in der Lage sind,⁸ berücksichtigt die 2-FLC die zwei relevanten, oben genannten Einflüsse auf die Kostenentwicklung:

- Skalenvorteile (Economies of Scale) bzw. den durch steigende Batterieverkäufe induzierten Lernkurveneffekt, der zu einer stetigen Reduzierung der Stückkosten führt;
- Den Effekt gezielter Forschungs- und Entwicklungs (F&E)-Investitionen (Learning Economies), die zu einer (graduellen oder sprunghaften) Reduzierung des Kostenverlaufs führen können.

Die 2-Factor-Learning-Curve kann somit die Effekt relevanter Politikmaßnahmen, insbesondere der gezielten Förderung von Batterieforschung, sowie die Wechselwirkung zwischen Marktdurchdringung und Kostendegression abbilden.

In der Literatur werden in der Mehrzahl die Wirkungen von Skaleneffekten und Forschungsausgaben als kontinuierliche Funktionen dargestellt. Für die Politikanalyse punktueller staatlicher Subventionen ist es jedoch zielführender, den Effekt von Forschungsausgaben als Sprungfunktion abzubilden, um präzisere Prognosen für die Entwicklung der Batteriepreise bis 2020 abzuleiten.

Die folgende Abbildung zeigt die beiden Komponenten und ihren jeweiligen Effekt auf die Batteriekosten.

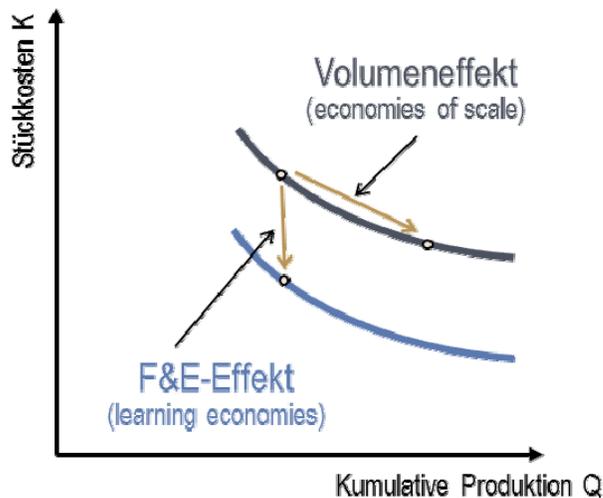


Abbildung 10: Die zwei Effekte der 2-Factor-Learning-Curve auf die Kostendegression

⁷ Dazu IEA/OECD (2000), Experience Curves for Energy Technology Policy

⁸ Siehe bspw. Kloess und Müller (2011), Simulating the impact of policy, energy prices and technological progress on the passenger car fleet in Austria—A model based analysis, Energy Policy 39 (2011), S. 5045-5062

Quelle: MMEM (2011)

Allerdings ergibt sich daraus die Notwendigkeit, geeignete Parameter zu ermitteln, die die Kausalverknüpfung zwischen Forschungsinvestitionen und Kostenminderung quantifizieren. Das Marktmodell Elektromobilität operationalisiert und implementiert diese Beziehung auf Basis von Experteninterviews (USA, 2010).⁹ Wenn den Experten zufolge insgesamt 200 Mio. Dollar in Forschung und Entwicklung investiert würden, könnte sich der zu erwartende Batteriepreis um rund 40 Dollar pro kWh senken, bei einem kumulierten Fördervolumen von 1 Milliarde Dollar läge die Minderung bei rund 100 Dollar pro kWh. Alle Komponenten mit eingerechnet, prognostizieren die Experten eine durchschnittliche Kostenreduzierung von \$0.90/kWh pro Million Dollar Förderung über einen Zeitraum von 10 Jahren für Lithium-Ionen-Batterien. Diese Schätzung wird dem Marktmodell Elektromobilität zugrunde gelegt.

Ein weiterer Parameter der Berechnung ist die Lernrate aus Skaleneffekten. Sie fließt in den Exponenten der Lernkurvenfunktion ein und schwankt im Bereich der Energietechnologien zwischen 5 und 25 Prozent. bei Windturbinen wurden Werte zwischen 8 und 17 Prozent beobachtet, bei Photovoltaik 20 Prozent, und bei Hochtemperatur-Brennstoffzellen (MCFC) 10 bis 20 Prozent.¹⁰ Je größer die Lernrate ist, desto schneller erfolgt die Kostendegression. Das Marktmodell folgt der Schätzung von Kloess und Müller (2011) mit einer Lernrate von 15 Prozent. Die meisten Lernkurven nehmen eine Untergrenze für die Kostendegression an, die sich aus den Materialkosten ergeben. So gehen Kloess und Müller (2011) für Lithium-Ionen-Batterien von keiner Kostenminderung jenseits von 100 Euro pro Kilowattstunde aus, einem unteren Grenzwert, der vom United States Advanced Battery Consortium (2010) für realistisch gehalten wurde, während ECN/Schoots (2011) generisch von rund 10 Prozent Materialkosten ausgeht. Im Marktmodell Elektromobilität nehmen wir konservativ an, dass die Materialkosten, inklusive möglicher Preissteigerungen durch die Verknappung seltener Erden, nicht unter 180 Euro pro kWh fallen werden. Der Referenzwert für den Ausgangspunkt der Betrachtung im Jahr 2011 ist die gesamte bisherige inländische Produktion von Batteriezellen.

Aus diesen Inputgrößen ergibt sich ohne staatliche Forschungsförderung eine Verlaufskurve, die sich im Mittelfeld zwischen Schätzungen des US-amerikanischen National Research Council und den Beratungsfirmen McKinsey und Boston Consulting Group (BCG) bewegt und bis 2020 eine Kostendegression auf rund 370 Euro/kWh erwartet.

⁹ Baker, Chon and Keisler (2010), Battery technology for electric and hybrid vehicles: Expert views about prospects for advancement, *Technological Forecasting and Social Change* 77 (7), S.1139-1146

¹⁰ Für weitere Erläuterungen siehe bspw. Remme/IER (2004), *Methodische Aspekte von Lernkurven in Energiesystemmodellen*

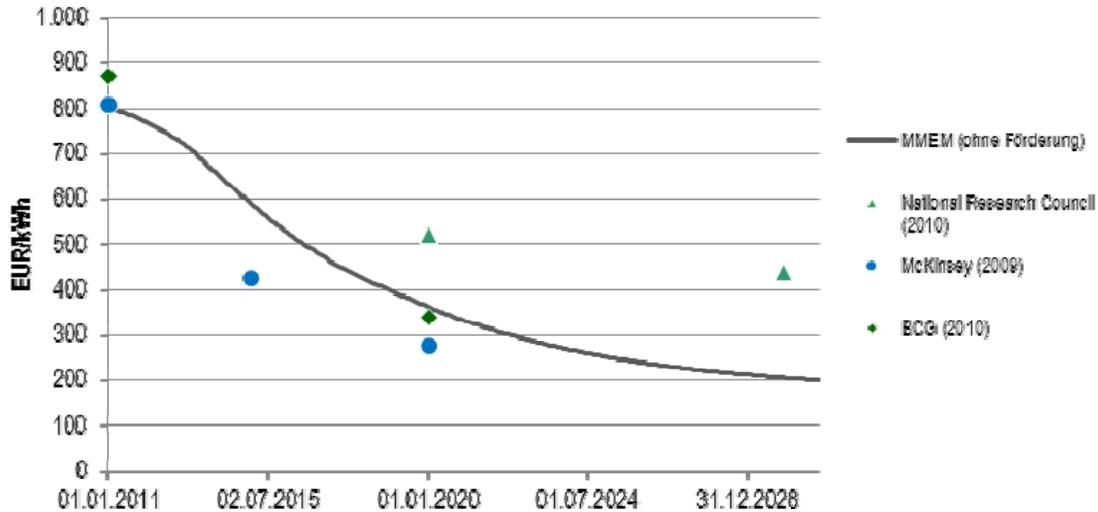


Abbildung 11: Vorhersagen zur Kostendegression des Batteriepreises

Quelle: MMEM (2011), NRC (2010), McKinsey (2009), BCG(2010)

Das Referenzszenario des Marktmodells Elektromobilität beinhaltet keine Politikmaßnahme; deshalb ist in dieser Kostendegression auch noch keine zusätzliche Forschungsförderung enthalten. Da jedoch schon staatlicherseits Fördergelder sowohl für Grundlagen- wie auch angewandte Forschung bereitgestellt wurden, wird die Kostendegression auch innerhalb des Referenzszenarios angepasst. Diese Anpassung berücksichtigt zudem, dass sich in der Diskussion der Annahmen und Prognosen des Marktmodells mit Vertretern der Industrie in den Stakeholderworkshops und mit dem Vorliegen der Arbeitsergebnisse der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) herauskristallisierte, dass die in der 2-FLC hinterlegten Referenz-Annahmen zur Kostendegression besonders in der Anfangsphase bis 2015 konservativ sind. So würden unter den konservativen Annahmen des Lernkurvenmodells nur knapp 300.000 Fahrzeuge im Referenzszenario in 2020 fahren. Unter den optimistischeren NPE Annahmen erwarten wir 460.000 Fahrzeuge in 2020. Dies ist also ein entscheidender Faktor für den Erfolg von Elektrofahrzeugen. Daher wurde die Prognose der Industrie (Arbeitsgruppe 2 der NPE) bezüglich der Kostendegression in das MMEM aufgenommen. Diese NPE Batteriekostenkurve stellt somit im Referenzszenario eine exogene Kostenannahme dar und ersetzt die Lernkurve.

Die Möglichkeit, den Effekt von Forschung und Entwicklungsinvestitionen über das 2-Faktoren-Lernkurvenmodell abzubilden, erlaubt jedoch zu analysieren, welche Fördergelder notwendig wären, um der Kostendegression gemäß Industrieprognosen zu entsprechen. Dem Zweiten Bericht der NPE zufolge sind hierfür 968 Mio. Euro geplant. Würde diese Fördersumme konzentriert in den Jahren 2012 und 2013 ausgezahlt werden, wäre laut der Prognose des Marktmodells eine Minderung der Batteriekosten von rund 60 Euro pro kWh möglich. Dennoch läge der Batteriepreis zu Beginn des Jahrs 2020 um rund 160 Euro pro kWh höher als in den Industrieprognosen.

Das Marktmodell beinhaltet in der Betrachtung des Forschungseffekts jedoch kein Spillover-Effekte von Fördermaßnahmen in anderen Ländern. Sollten die Erkenntnisse anderer Länder deutschen Batterieherstellern durch Konsortien oder gemeinsamen Forschungsaktivitäten zur Verfügung stehen, könnte von einer deutlich stärkeren Kostenminderung ausgegangen werden. Allein die Vereinigten Staaten visieren eine Förderung der Forschung bei Elektroautos in Höhe von 2 Mrd. Dollar über die nächsten zehn Jahre an, Japan hat für die nächsten fünf Jahre 1 Mrd. Dollar eingeplant.¹¹ Unter der Annahme, dass die USA ihr gesamtes

Forschungsbudget in Batterieentwicklung investieren, würden in beiden Ländern zusammen innerhalb der nächsten fünf Jahre rund 300 Mio. Euro jährlich in die Forschung fließen. Verteilt man die deutschen Fördergelder auf fünf Jahre und rechnet die Forschungs- und Entwicklungsausgaben der drei Länder unter der Annahme perfekter Spillovers zusammen, ergäbe sich eine deutlich stärkere Kostendegression (siehe Abbildung 12).

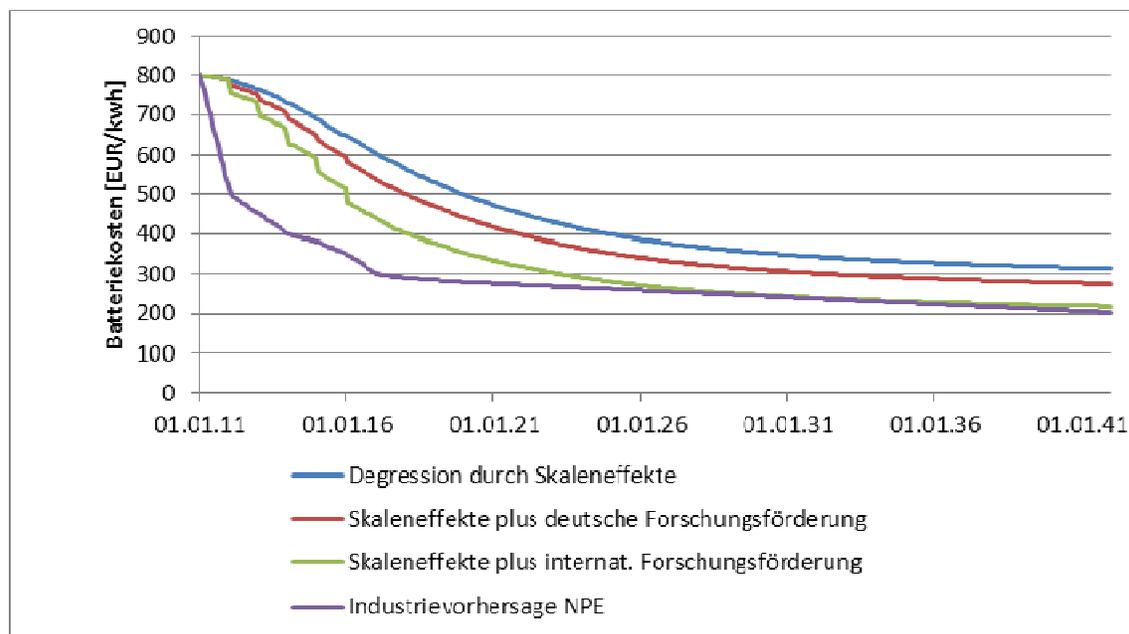


Abbildung 12: Auswirkungen von Forschungsinvestitionen auf den Batteriepreis und Industriepronose

Quelle: MMEM (2011), NPE (2011)

Allerdings ist auch unter diesen optimistischeren Annahmen der starke, den Vorhersagen der deutschen Industrie entsprechende Verfall der Preise innerhalb der nächsten drei bis vier Jahre nicht abzubilden.

Aktuell (September 2011) prognostiziert eine Studie von Roland Berger massive Überkapazitäten für Batteriesysteme für Fahrzeuge. Viele subventionierte Produktionskapazitäten treffen auf reduzierte Nachfrage vor allem auf Grund einer Repriorisierung der chinesischen Regierung zugunsten von Hybridfahrzeugen. Dies spräche für die angenommenen Kostendegressionen.

Der Wertschöpfungsanteil der Batteriepacks in Elektrofahrzeugen von bis zu mehreren tausend Euro hat großen Einfluss auf die Gesamtwertschöpfung. Im MMEM wird unterstellt, dass es mit den hohen Investitionen von Bundesregierung in Forschung und Unternehmen in Produktion gelingt, einen inländischen Wertschöpfungsanteil von 50 Prozent bei Packs und Zelle zu erreichen.

2.6. Das Referenzszenario

¹¹ European Parliament (2010), Challenges for a European Market for Electric Vehicles, IP/A/ITRE/NT/2010-004, S.8

Das Referenzszenario zeichnet sich dadurch aus, dass über die im April 2011 etablierten bzw. avisierten Politikmaßnahmen der EU-Regulierung 443 (mit 95g Flottenemissionsstandard im Jahr 2020) hinaus keine weiteren Politikoptionen implementiert sind. Es bildet moderate Treibstoffpreise und eine rasche Batteriekostendegression an. Grundannahme des Referenzszenarios ist, dass sich individuelle Mobilität nicht grundlegend verändert. Von jetzt 82 Mio. schrumpft die deutsche Bevölkerung auf ca. 70 Mio. in 2050. Mehr ältere Menschen als heute kaufen ein Kfz und fahren länger, aber immer mehr Menschen ziehen in die Städte und verzichten auf ein Fahrzeug. In 2050 sind im „Marktmodell Elektromobilität“ ca. 10 Prozent weniger Pkw auf den Straßen als heute. Diese Fahrzeuge haben einen großen elektrischen Fahranteil, sind sehr effizient und damit in der Anschaffung teurer.

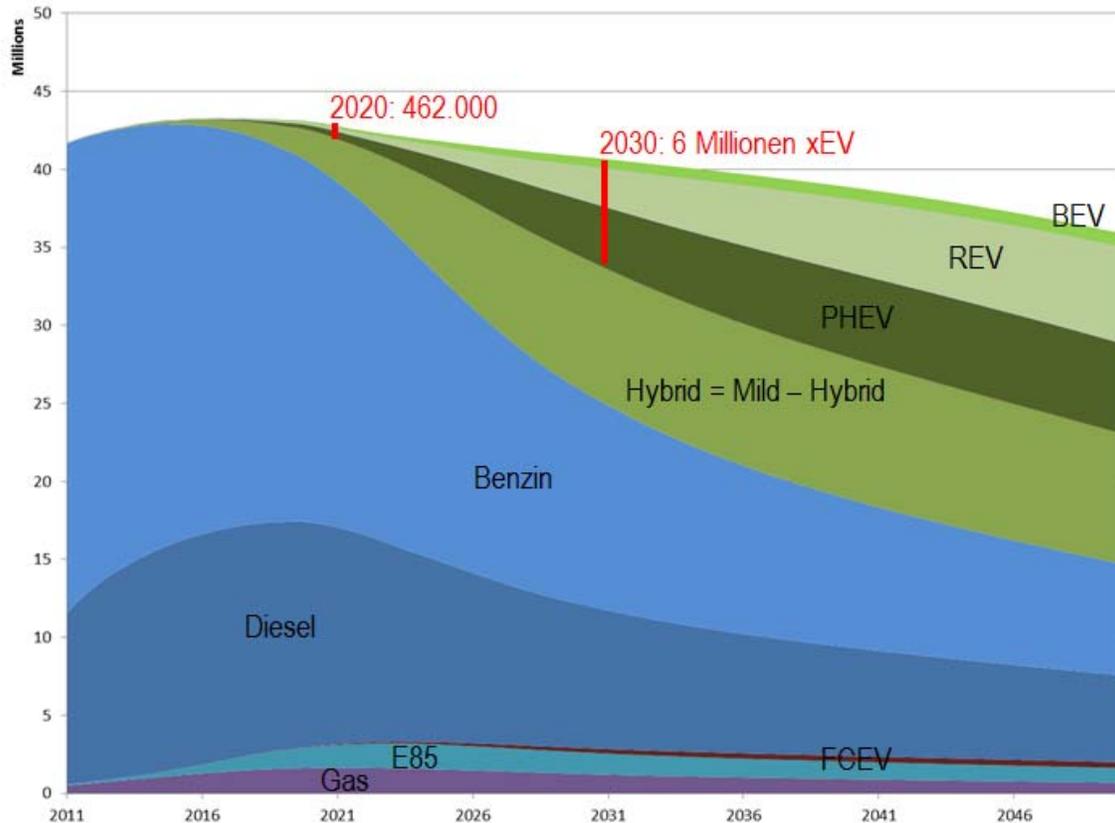


Abbildung 13: Referenzszenario MMEM

Quelle: MMEM (2011)

Die Quellen für die hinterlegten Fahrzeugdaten und Optimierungskosten sind in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben worden. Wichtige Rahmendaten darüber hinaus sind:

- Alle Preise sind konstante Preise in 2011.
- Hinterlegt ist das „mittlere“ Ölpreisszenario der EIA.
- Strompreis liegt gemäß Prognos/EWI/GWS bei 20 bis 22 ct/kWh.
- Die Batteriekostendegression erfolgt analog Annahmen der Nationalen Plattformen Elektromobilität, Arbeitsgruppe 2.
- Zertifikatspreise steigen bis 2050 auf 70€ je Tonne an und reflektieren damit vollständig die Externalitätskosten (Quelle: Umweltbundesamt).

Die Modellergebnisse unter diesen Annahmen zeigen: Auch ohne Investitionen in Infrastruktur oder Förderung von Elektromobilität wird unter den avisierten Flottengrenzwerten die Elektrifizierung des Antriebsstrangs attraktiv. Ein selbsttragender Markt für Vollhybride (PHEV) und dann Range Extender entsteht rasch.

Mild-Hybridisierung ersetzt in vielen Konfigurationen und Segmenten reine ICE. Micro-Hybride werden im MMEM als zusätzliche Elemente des konventionellen Antriebsstrangs behandelt und nicht eigens ausgewiesen.

Hybride ohne Möglichkeit zur Netzanbindung werden in steigendem Maße durch PHEV ergänzt. Range Extender profitieren ab 2020 von gesunkenen Batteriepreisen, während reine BEV im Vergleich zu den Alternativen RE und Hybridfahrzeugen aufgrund des Verhältnisses von Reichweite und Kosten nur für bestimmte Nutzer attraktiv sind und eher im City-Bereich eingesetzt werden.

Der optimierte Verbrennungsmotor bleibt jedoch auch langfristig attraktiv für bestimmte Nutzer und Segmente. Elektromobilität ist im Referenzszenario eine Option mit hohem Kundennutzen und auch mit hohem Nutzen für die Hersteller. Sie können mit dem Angebot dieser Technologie Effizienzvorgaben besser erreichen.

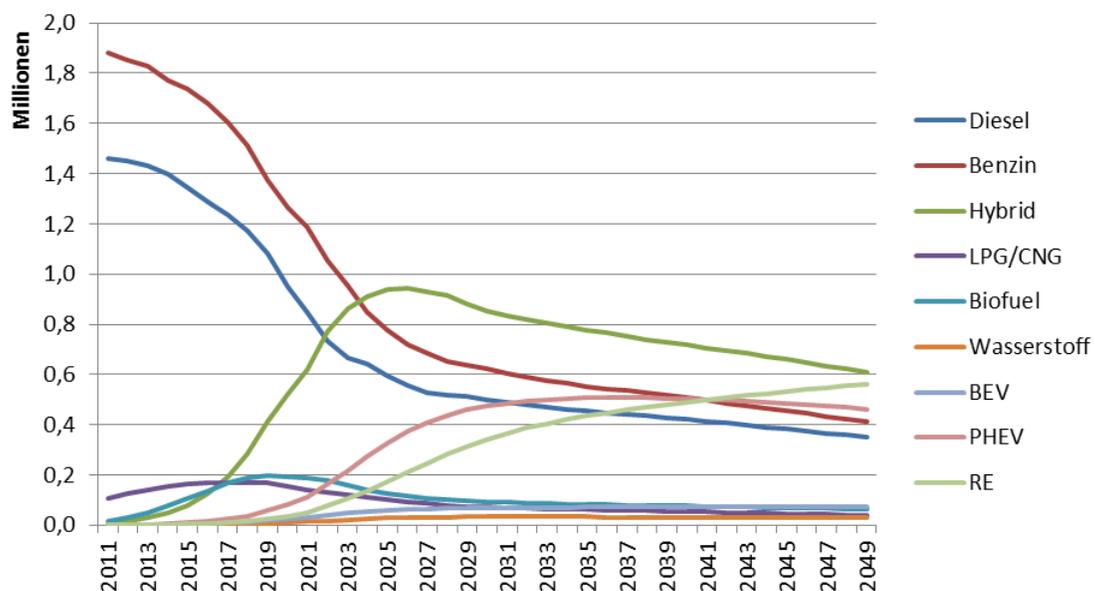


Abbildung 14: Fahrzeugkäufe (1000 Fahrzeuge / Monat) im MMEM Referenzszenario

Quelle: MMEM (2011)

2.7. Auswirkungen auf Öl, Emissionen, Steuern

Die Optimierung und Elektrifizierung der Antriebe im Referenzszenario führen zu einem stark sinkenden Kraftstoffverbrauch in der Pkw - Flotte. Mittelfristig überwiegt der Einspareffekt von effizienteren Antrieben, langfristig leistet die Elektromobilität einen entscheidenden Beitrag.

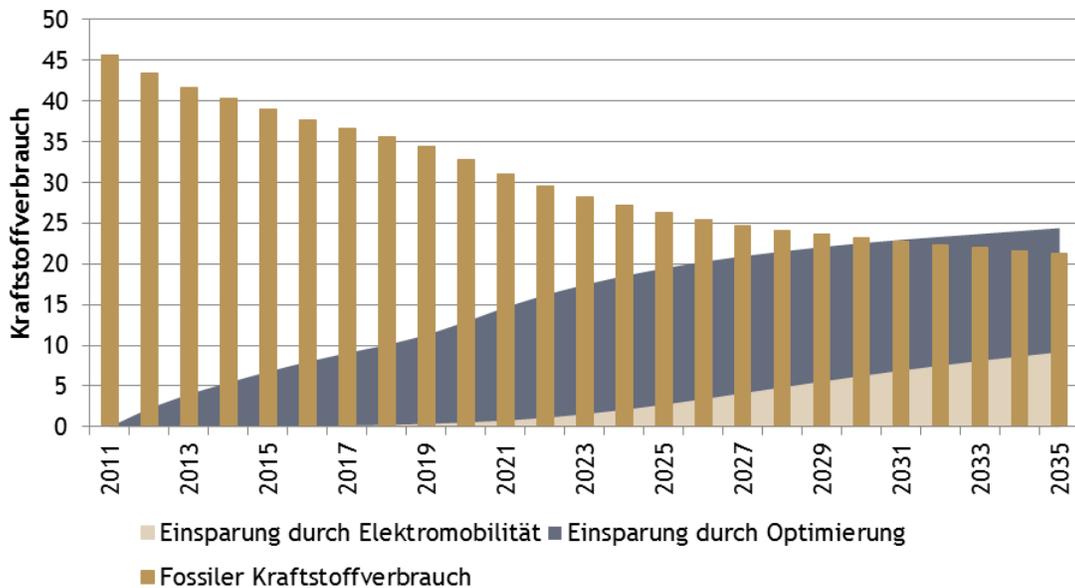


Abbildung 15: Reduzierung Kraftstoffverbrauch im MEM Referenzszenario, Milliarden Liter

Quelle: MEM (2011)

Dies führt zu einem deutlichen Rückgang der klimarelevanten Emissionen. Das MEM-Referenzszenario zeigt 2035 eine Reduzierung von 50 Prozent im Vergleich zu 2011.

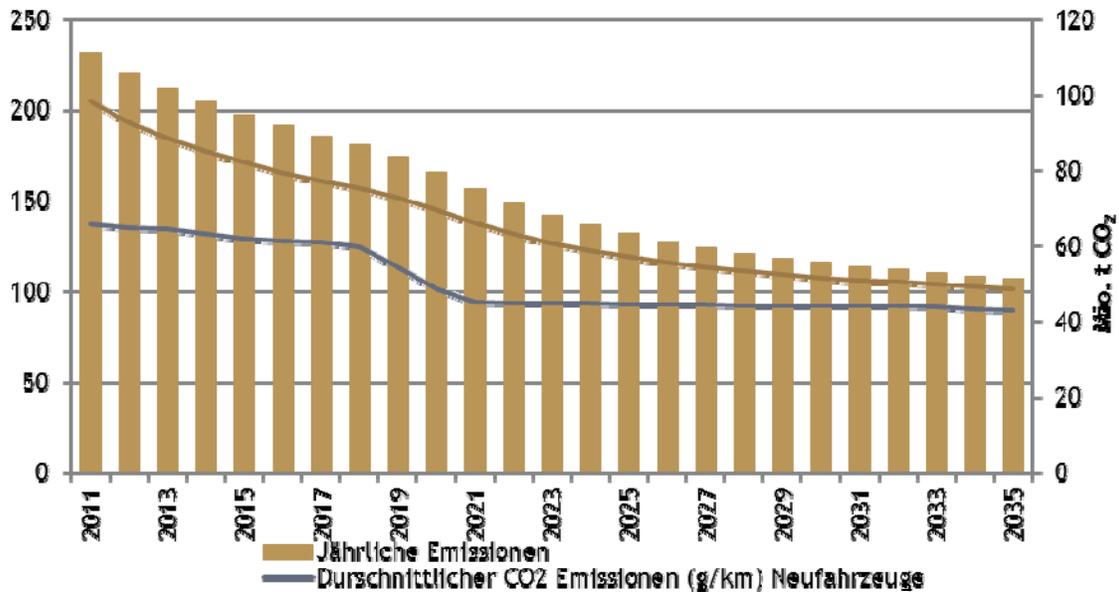


Abbildung 16: Reduzierung Emissionen im MEM Referenzszenario

Quelle: MEM (2011)

Der Effekt auf die Steuerbasis ist proportional und damit erheblich. Mit 2 Cents/kWh ist Fahrstrom im Vergleich zu Konventionellen Kraftstoffen (circa 7.6 Cents/kWh) niedrig besteuert. Zusätzlich sind Elektroantriebe deutlich effizienter in der Energieumwandlung.

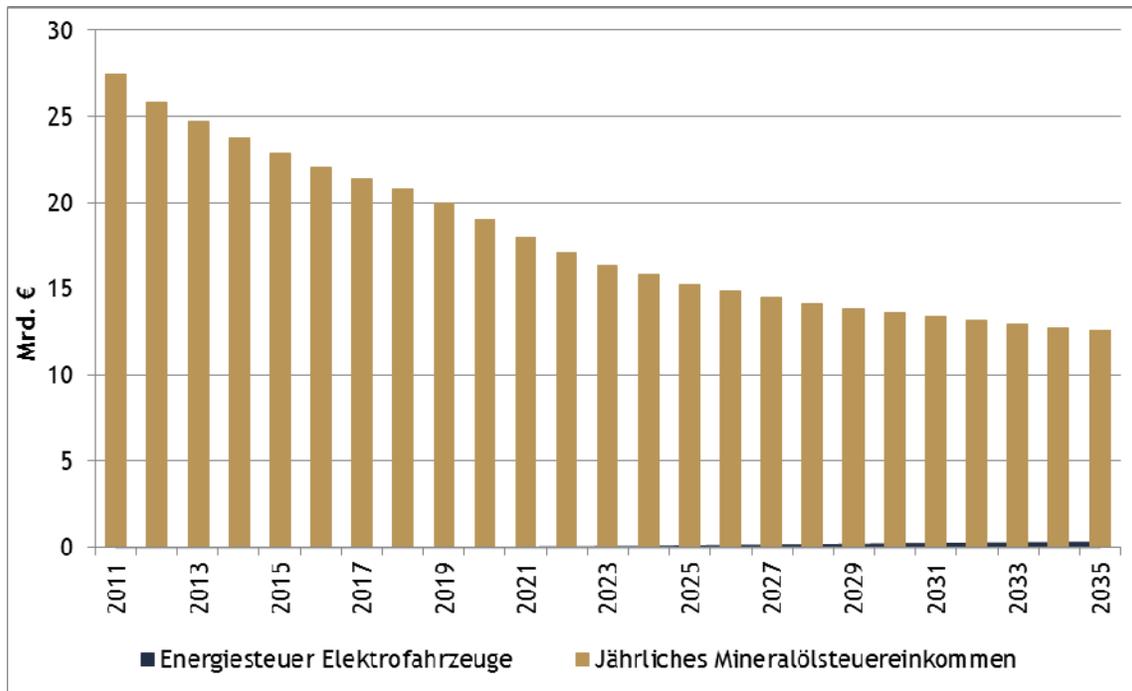


Abbildung 17: Reduzierung Steuerbasis im MMEM Referenzszenario

Quelle: MMEM (2011)

Eine deutlich höhere Besteuerung des elektrischen Fahranteils würde die Kostenvorteile der elektrischen Mobilität zunichtemachen. Sie würde auch technisch schwierig oder müsste über eine geeignete Schnittstellenkonfiguration zwischen Elektroauto und Netz erzielt werden, da eine solche Besteuerung wohl kaum auf den Strom insgesamt angewendet werden könnte. Treibstoffe sind über Zusätze zu kennzeichnen (beispielsweise bei Diesel vs. Heizöl), Strom nicht.

2.8. Sensitivitäten des Referenzszenarios

Die inhärente Unsicherheit bezüglich der genauen Ausprägung der Eingangsgrößen bestimmt jede Prognose des Markthochlaufs einer Technologie. Modelle, die als Basis für Entscheidungen über Rahmenbedingungen herangezogen werden, sollten diese Sensitivitäten klar ausweisen.

Eine Variation der sieben wichtigsten Eingangsparameter des Referenzszenarios (Kaufpreise, Batteriepreise, Strompreise, Benzinpreise, Jahresfahrleistung, Elektrizitätsverbrauch, Reichweite) um jeweils +/- 25 Prozent zeigt die Sensitivitäten der Modellergebnisse. Hierfür durchlief das Modell in einer Monte-Carlo-Simulation mit über einen Zufallsgenerator variierten Eingangsgrößen zweihundert Iterationen. Die erzielten Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

Abbildung 18 zeigt die Anzahl der Elektrofahrzeuge im Bestand über die Zeit im Referenzszenario, d.h. ohne Politikeingriffe.

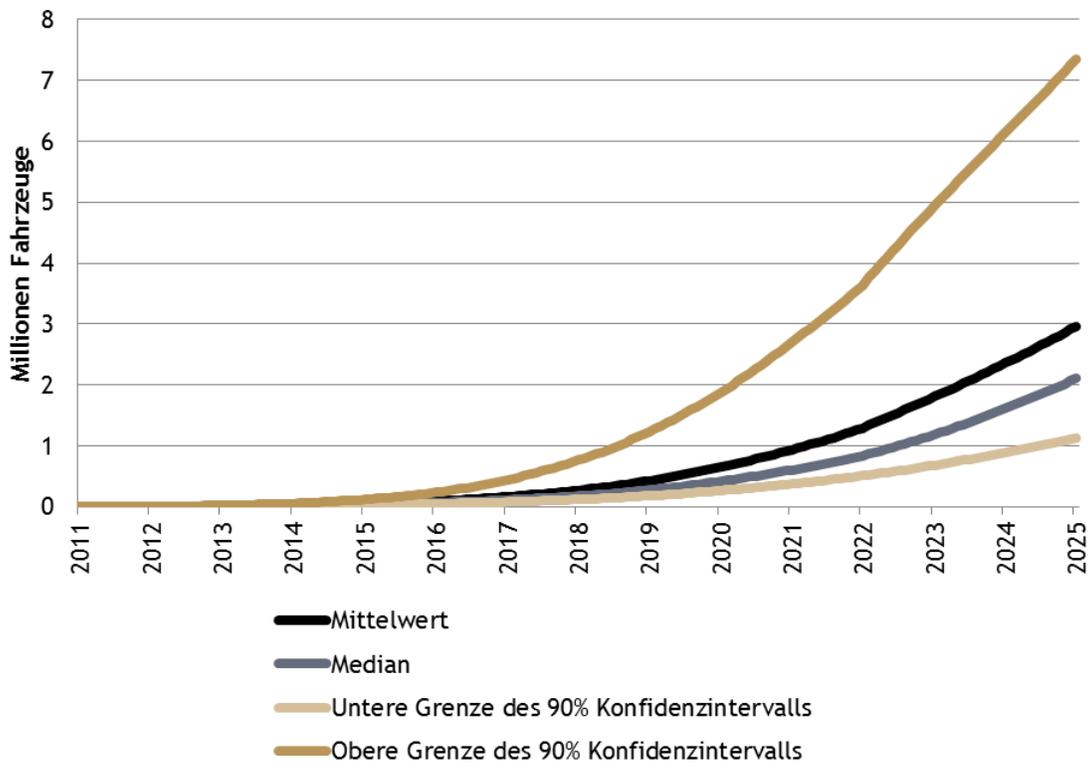


Abbildung 18: Sensitivitäten des Referenzszenarios

Quelle: MMEM (2011)

Die graue Kurve zeigt den Median der betrachteten Fälle und fällt hier mit dem Referenzszenario zusammen. Der Median halbiert eine Stichprobe und ist gegenüber dem arithmetischen Mittelwert robuster gegenüber Ausreißern, d.h. unrealistisch stark abweichenden Kombinationen der Zufallsgrößen. 50 Prozent der simulierten Markthochläufe liegen unter der grauen Kurve, 50 Prozent darüber.

Die braune und die beige Kurve zeigen den oberen und den unteren Grenzwert des 90 Prozent-Konfidenzintervalls. Letzteres ist das Intervall, in dem mit 90prozentiger Wahrscheinlichkeit der wahre Mittelwert der Verteilung zu finden ist.

Die schwarze Kurve zeigt das arithmetische Mittel aller Simulationsläufe. Der signifikante Unterschied zwischen Median und Mittelwert zeigt an, dass die Abweichungen vom Referenzszenario nach oben deutlich stärker ausfallen als die Abweichungen nach unten. Demzufolge sind also ungünstige Rahmenbedingungen für Elektromobilität nicht so hinderlich, wie günstige Rahmenbedingungen förderlich sind. Dies bedeutet konkret, dass beim Zusammentreffen von günstigen Faktoren (z.B. höherer Ölpreis, niedriger Strompreis, starke Kostendegression bei Batterien) im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge ohne weitere politische Unterstützung im Markt sein können, weil sie für die Hersteller und Käufer attraktiv werden. Umgekehrt gilt, dass beim Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Faktoren (niedriger Ölpreis, höhere Strompreise, weniger starke Kostendegression bei den Batterien) Elektrofahrzeuge zwar deutlich unattraktiver werden, im Jahr 2020 dennoch knapp 300.000 Elektrofahrzeuge Käufer gefunden hätten.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen deutlich den Einfluss exogener Faktoren auf den genauen Verlauf der Marktdurchdringung. Das Setzen von Rahmenbedingungen sollte angemessen mit dieser inhärenten

Unsicherheit umgehen: eine zu frühe eifertige Marktstützung könnte die Chance vergeben, den Markt wirken zu lassen.

2.9. Instrumente 2020: Fokus Leitmarkt

Ziel von Bundesregierung und Industrie ist, in Bezug auf die Elektromobilität Leitanbieter zu werden. Um dieses Ziel zu operationalisieren, hat die Bundesregierung beschlossen, dass im Jahr 2020 mindestens eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren sollen.

Der zweite Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität diagnostiziert eine erhebliche Kostenlücke zwischen Elektrofahrzeugen und vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen. Die NPE schlägt ein konkretes Maßnahmenpaket zur Kompensation dieses von ihr errechneten Kostennachteils von Elektrofahrzeugen vor. Diesem ist die Bundesregierung im Regierungsprogramm vom Mai dieses Jahres nur teilweise gefolgt.

Instrumente der Nachfrageförderung greifen tief in den Markt, insbesondere in die Kaufentscheidung, ein. Wechselwirkungen mit bereits etablierten Instrumenten sind, wie die folgenden Beispiele zeigen, vorhanden, komplex und können zu erheblichen Effekten führen.

Wenn ein Emissionsstandard - so wie die Regulierung EU 443 es vorsieht - den gewichteten Durchschnitt der Emissionen für die Automobilhersteller vorgibt, kann die Erhöhung des Marktanteils von Elektrofahrzeugen zu starken Wechselwirkungen führen. Das MMEM betrachtet die Effekte in einem solchen System und schätzt ab, wie eine Veränderung der politischen Rahmenbedingungen die Rationale der Hersteller und der Verbraucher ändert.

Ein wesentliches Ergebnis der Analyse ist, dass Fördermaßnahmen für Elektrofahrzeuge, wenn diese als Nullemissionsfahrzeuge innerhalb eines Emissionsstandard angerechnet werden, den Anreiz für Hersteller reduzieren, konventionelle Fahrzeuge zu optimieren. Die verbrennungsmotorische Flotte ist dann weniger effizient. Ein Teil der durch Elektrofahrzeuge eingesparten Treibhausgasemissionen wird durch Mehremissionen bei konventionellen Motoren ausgeglichen.

Das ist zunächst vorteilhaft für die Verbraucher, weil die Anschaffungskosten sinken. Ihre Fahrzeuge sind jedoch weniger effizient und haben somit höhere laufende Kosten für Treibstoff. In der Bilanz überwiegen die Mehrausgaben für Treibstoff die Einsparung beim Fahrzeugkauf.

Bereich	Stakeholdergruppe					Nettgegenwerts- wert in Mio. €			Umwelt	Nettgegenwerts- wert in Mio. €	Rest der Welt (kein Bestandteil der inländischen Kosten-Nutzen Bilanz)	
	Konsumenten	Produzenten	Staat	Umwelt	Rest der Welt	Nettgegenwerts- wert in Mio. €	Nettgegenwerts- wert in Mio. €	Rest der Welt			Nettgegenwerts- wert in Mio. €	
3 Fahrzeug- kauf	1988 €	88 €	13	349 €	781 €							
4 Treibstoff- ausgaben	-	82 €	14	484 €	450 €							
5 Kfz-Steuer	47 €	66 €	15	54 €	56 €							
6 Infra- struktur	81 €	65 €	16	3 €								
7 Politik- kosten	382 €	103 €	17	340 €								
8 Gesamt Netto- gegenwerts- wert Stakeholder Konsumenten	90 €	47 €	12	705 €	213 €							
9 Gesamt Netto- gegenwerts- wert der Politikmaßnahme	354 €	1	1								1.231 €	

Abbildung 19: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM - Beispiel Kaufanreiz

Quelle: MMEM (2011)

Die Felder der Matrix sind mit den Nummern 1-19 versehen und werden mit dieser Nummerierung im folgenden Abschnitt erläutert.

2.9.1. Politikfolgenanalyse: Zahlung eines Anreizes

Das Marktmodell liefert als ein Ergebnis eine Tabelle (Abbildung 19 auf der vorhergehenden Seite), in denen der Einfluss der Politikmaßnahme auf die verschiedenen Interessensgruppen Konsumenten, Produzenten, Staat und Umwelt horizontal gegen die verschiedenen Einflussbereiche abgebildet ist.

Jede Politikmaßnahme wird im Vergleich mit dem Referenzszenario analysiert. Alle Werte sind auf 2011 abgezinst, um künftige Effekte vergleichbar zu machen und deren höhere Unsicherheit einzupreisen.

Um zu illustrieren, wie die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse zu interpretieren sind, wird im Folgenden anhand einer fiktiven Politikmaßnahme, einer Anreizzahlung, jedes Feld der Matrix erläutert.

Ein einmaliger oder rätlicher monetärer Anreiz beim Neukauf eines Elektrofahrzeugs wird in vielen Ländern bereits eingesetzt. Durch die Kaufprämie sinkt direkt der wahrgenommene Kaufpreis von Elektroautos. Damit ergibt sich ein unmittelbarer Nutzenvorteil.

Die Förderstrategie erhöht den Bestand an Elektrofahrzeugen um 180.000 Fahrzeuge

Es wird ein Anreiz in Höhe von €2.000 pro Fahrzeug für 200.000 Fahrzeuge nach dem Windhundprinzip („First come, first served“) gezahlt. Im Vergleich zum Referenzszenario erhöht sich der Bestand an Elektrofahrzeugen mit Elektroantrieb um circa 180.000 im Jahr 2020. Im folgenden Abschnitt erörtern wir die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse im Einzelnen.

Die Kosten der Politikmaßnahme übersteigen deren Nutzen

(1) Die gesamtgesellschaftlichen Kosten dieser Maßnahme betragen im betrachteten Zeitraum ungefähr €350 Millionen.

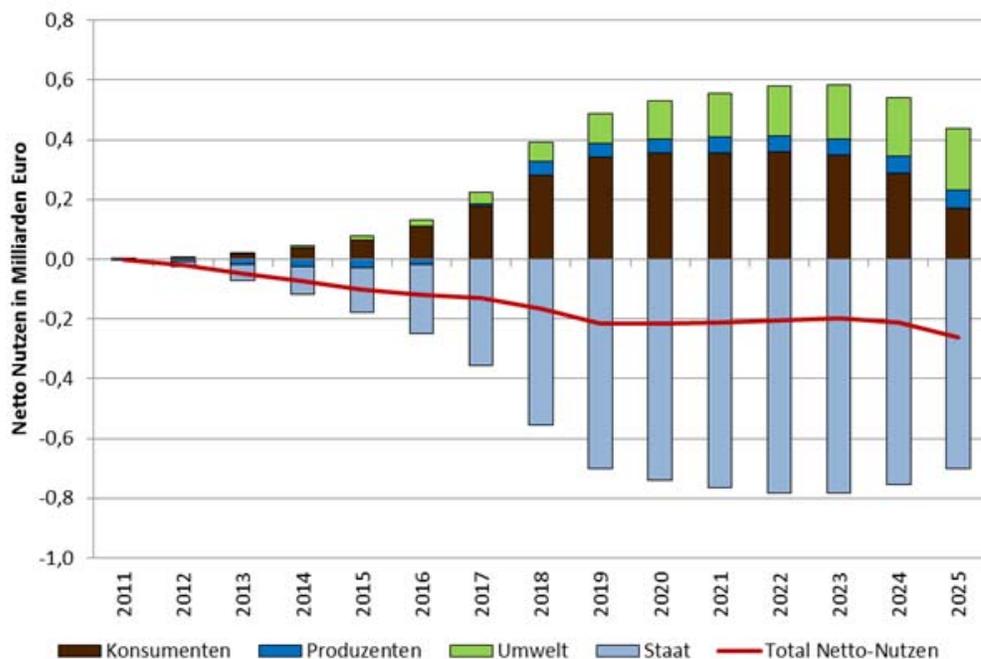


Abbildung 20: Änderung des Nettonutzens im Vergleich zum Referenzszenario im Zeitverlauf

Quelle: MMEM (2011)

Die vorstehende Grafik zeigt die kumulierten Effekte über die Jahre zum jeweiligen Zeitpunkt. Die hier betrachtete Maßnahme hat über den gesamten Zeitraum wachsende negative Effekte für den Staatshaushalt, die auch nicht durch die positiven Effekte für andere Stakeholder ausgeglichen werden.

Abbildung 19 zeigt die detaillierten Effekte. Die Nummerierungen im folgenden Text entsprechen denen der Felder der Matrix in der Abbildung.

Die Politikmaßnahme ist geringfügig vorteilhaft für die Konsumenten

(2) Die Konsumenten profitieren insgesamt von der Maßnahme: Ihnen entsteht ein Vorteil von €90 Millionen.

Die Verbraucher haben reduzierte Anschaffungskosten, da die Anreizmaßnahme den Kaufpreis von Fahrzeugen reduziert (und zwar sowohl von elektrischen als auch von konventionellen Fahrzeugen). Zudem ist zu erwarten, dass insgesamt mehr Fahrzeuge gekauft werden.

(3) Eine Erhöhung des Marktanteils der Elektrofahrzeuge führt dazu, dass konventionelle Fahrzeuge weniger stark optimiert werden, da Hersteller die Flottenemissionsvorgabe durch den höheren Anteil von Elektrofahrzeugen mit niedrigem CO₂-Ausstoß jetzt einfacher erreichen können. Diese reduzierten Optimierungskosten schlagen sich direkt auf den Kaufpreis nieder. Der kombinierte Effekt von günstigeren Anschaffungskosten und erhöhtem Fahrzeugkonsum ergibt einen Vorteil von circa €2 Milliarden für die Konsumenten (siehe Abbildung 21). Dieser Vorteil entsteht aber durch „schlechtere“ verbrennungsmotorische Fahrzeuge.

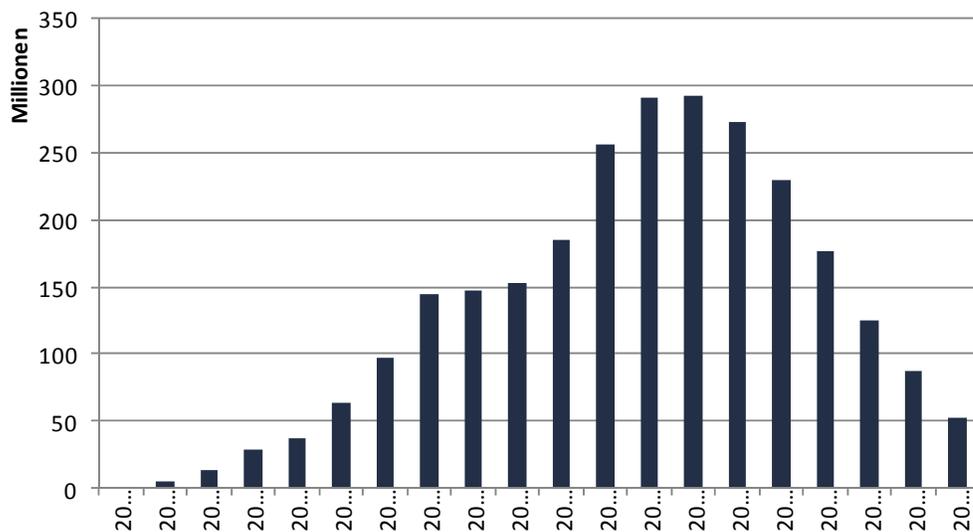


Abbildung 21: Veränderung Konsumentenwohlfahrt Fahrzeuganschaffung

Quelle: MMEM (2011)

(4) Die Kehrseite der reduzierten Optimierungsanstrengungen sind ineffizientere und damit im Unterhalt kostspieligere Fahrzeuge. Dieser Effekt verursacht zusätzliche Kosten von circa €1 Milliarde für die Konsumenten.

(5) Ineffizientere Fahrzeuge führen zu höheren Kraftfahrzeugsteuern von €417 Millionen für den Verbraucher, da der Steuersatz teilweise an die CO₂-Emissionen des Fahrzeugs gebunden ist. Diese Steuern kompensieren den Verlust des Staates teilweise (siehe Punkt 16).

(6) Mehr Elektrofahrzeuge bedeuten erhöhte Ausgaben für Ladeinfrastruktur und Netzausbauinvestitionen. Die kombinierten und diskontierten Kosten belaufen sich auf €563 Millionen.

Kosten-Nutzen Bilanz für Produzenten leicht positiv

(7) Bei den Produzenten sind moderate Effekte zu sehen (knapp 50 Mio. €).

(8) Bei der Reduzierung der Produzentenrente der einheimischen Hersteller um circa €70 Millionen überlagern sich mehrere Effekte. Zunächst würde man einen positiven Effekt auf Produzentenrente durch die Erhöhung der Gesamtfahrzeugnachfrage erwarten. Dieser wird jedoch von reduzierten Optimierungsanstrengungen überlagert. Weniger Optimierung bedeutet, dass Wertschöpfung durch den Einbau effizienzverbessernder Maßnahmen nicht stattfindet. Zusätzlich zeigt MMEM, dass eine pauschale Anreizmaßnahme zu Segmentverschiebungen hin zu kleineren Segmenten führt, die weniger profitabel sind.

(9) Durch die Erhöhung des Marktanteils der Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb wird weniger Treibstoff verkauft. Das wird jedoch teilweise durch reduzierte Effizienz bei den konventionellen Fahrzeugen kompensiert.

(10) Mehr Elektrofahrzeuge erhöhen die Nachfrage nach Strom, was sich in einer Erhöhung der Produzentenrente von circa €59 Millionen widerspiegelt. Durch die zusätzlich notwendigen Emissionszertifikate entstehen Vermeidungskosten in Höhe von €65 Millionen.

(11) Die Erhöhung der Infrastrukturausgaben schlagen sich als Produzentenrente - vergleichbar mit Gewinn - positiv in der Kosten-Nutzen-Bilanz der Produzenten nieder.

Staat hat erhebliche Kosten durch Steuerausfall und Förderkosten

(12) Der Staat verliert durch eine solche Anreizmaßnahme im Zeitraum 2012-2025 rund €700 Millionen.

(13) €350 Millionen ergeben sich als direkte Kosten der Politikmaßnahme durch die Förderung des Fahrzeugkaufs von 200.000 Elektrofahrzeugen. Da zukünftige Kosten diskontiert werden, ist der Barwert niedriger als die nominalen Kosten von €400 Millionen, die rechnerisch aus einer Förderung von 200.000 Fahrzeugen ergeben.

(14) Zusätzlich zu den direkten Kosten der Förderung verursacht der erhöhte Anteil von Elektrofahrzeugen Kosten für den Staat durch niedrigeres Mineralölsteueraufkommen von €484 Millionen. Der Steuerausfall wird jedoch dadurch abgeschwächt, dass konventionelle Fahrzeuge einen höheren Verbrauch haben. Er würde ohne den gegenläufigen Einfluss der EU-Regulierung 443 höher ausfallen.

(15) Der erhöhte Stromverbrauch führt zu Mehreinnahmen bei der Energiesteuer auf Strom und damit zu einem Netto-Nutzen für den Staat von etwa €54 Millionen.

(16) Die Einnahmen durch die Kfz-Steuer steigen aufgrund der weniger stark optimierten konventionellen Fahrzeuge.

(17) Zusätzliche Kosten für den Staat ergeben sich durch entgangene Umsatzsteuereinnahmen - wobei Umsatzsteuerverluste durch niedrigere Fahrzeugkosten, geringere Treibstoffverkäufe nur teilweise von höheren Einnahmen im Bereich Ladestationen und Elektrizitätsverkauf kompensiert werden. Der Gesamteffekt beträgt circa €340 Millionen.

(18) Unsere Analyse berücksichtigt außerdem die Schattenkosten von staatlicher Besteuerung. Höhere Besteuerung durch den Staat verursacht über die Steuer hinaus zusätzliche Kosten für die Gesellschaft, da sie ökonomische Aktivität dämpft. Eine Mehrwertsteuererhöhung würde zu reduziertem Konsum führen. Da in

unserem Beispiel der Staat in der Bilanz Einnahmen verliert, erwarten wir eine Verringerung der Schattenkosten, die den Konsumenten und Produzenten zugutekommt.

Umweltbilanz ist leicht positiv

(19) Die Umweltbilanz, in der Umweltschäden monetär bewertet werden, ist positiv. Durch die Fördermaßnahme reduzieren sich sowohl Treibhausgasemissionen als auch die Kosten durch Umweltschäden durch andere lokale Emissionen (beispielsweise Schwefeldioxid, Feinstaub, etc.). Dieser Effekt ist monetarisiert mit €213 Millionen zu bewerten. Die Maßnahme reduziert die Treibhausgasemissionen im Personenkraftfahrzeugbereich um circa 5 Millionen Tonnen im Zeitraum 2012-2025; das entspricht circa 0,4 Prozent der Gesamtemissionen. Damit ergeben sich für diese Maßnahme Vermeidungskosten von circa 70 Euro pro eingesparte Tonne CO₂.

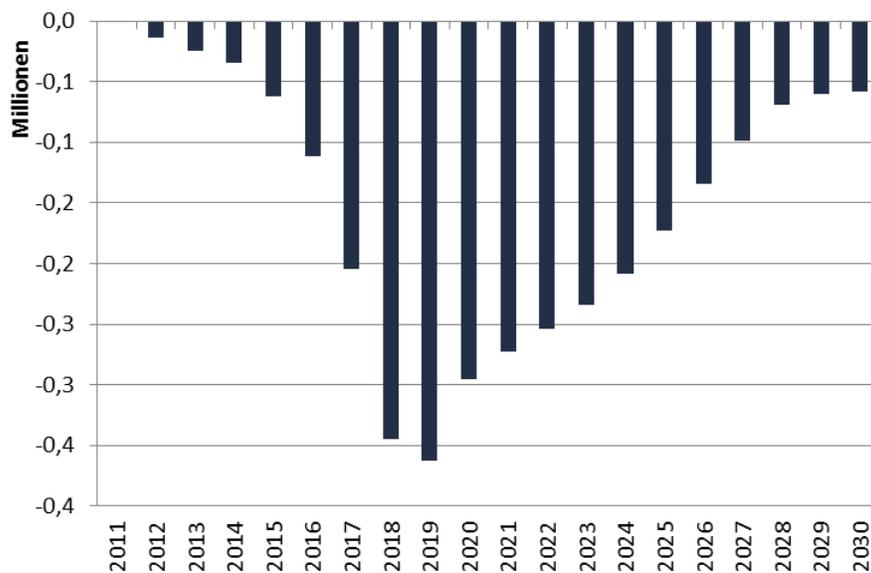


Abbildung 22: Veränderung der CO₂-Emissionen

Quelle: MMEM (2011)

Auswirkungen auf Beschäftigung

Zusätzlich zur Betrachtung der Kosten-Nutzen-Bilanz einer Politikmaßnahme bewerten wir den direkten volkswirtschaftlichen Einfluss einer Politikmaßnahme auf Ausbringung, Wertschöpfung und Beschäftigung in den betroffenen Sektoren (siehe Abschnitt 2.4.5 für eine kurze Beschreibung des volkswirtschaftlichen Moduls).

Die folgende Darstellung zeigt die Auswirkungen der Anreizmaßnahme auf die Beschäftigungsnachfrage.

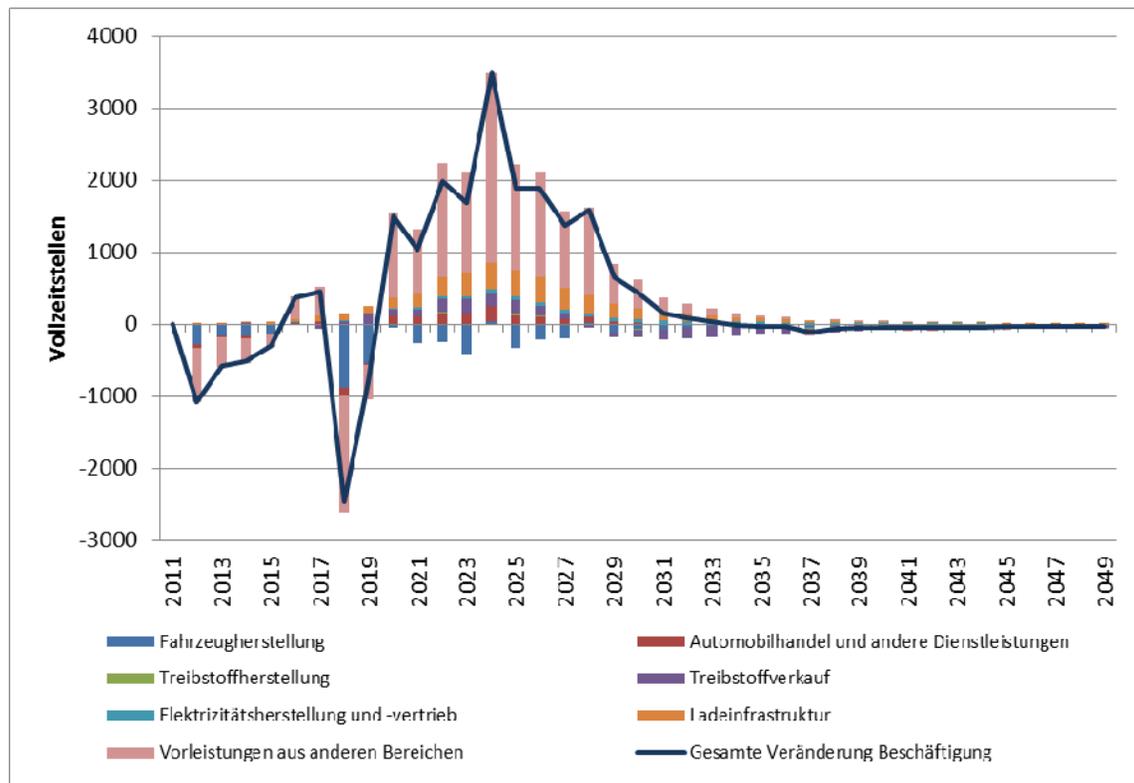


Abbildung 23: Auswirkung eines Kaufanreizes auf Beschäftigungsnachfrage

Quelle: MEM (2011)

Das Marktmodell Elektromobilität weist Beschäftigungseffekte als unmittelbares Ergebnis von Produktionsänderungen in den verschiedenen Sektoren aus. Für jedes Jahr wird die Beschäftigungsnachfrage mit dem Referenzszenario (ohne Politikmaßnahme) verglichen. Abbildung 23 zeigt dementsprechend, ob sich die Beschäftigungsnachfrage in den einzelnen Sektoren und insgesamt erhöht oder reduziert hat. Damit unterstellt es eine Flexibilität in der Nachfrage nach Arbeitskraft, die in der Realität weder gewünscht noch realisierbar ist. Unternehmen gleichen kurzfristige Schwankungen in der Produktion durch Ausgleich von Arbeitszeitkonten und mit flexiblen Schichten aus. Daher ist es wichtig, den langfristigen Trend der Beschäftigung in der Sektoren zu bewerten und kurzfristige Schwankungen nicht überzubewerten.

Die dargestellten Effekte sind auch durch Effekte im Referenzszenario geprägt, mit dem jedes Politikscenario verglichen wird. Abbildung 23 zeigt beispielsweise einen starken negativen Ausschlag im Jahr 2018. Er beruht auf der zu diesem Zeitpunkt einsetzenden, starken Nachfrage nach optimierten Fahrzeugen im Referenzszenario. Im ausgewerteten Politikfall ist die Zusatzproduktion von Elektroautos jedoch nicht mehr nötig, da durch den größeren Bestand an diesen Fahrzeugen das Ziel leichter erreicht wird. Für die höhere Zahl an Elektroautos durch den schnelleren Markthochlauf wird jedoch ab 2020 mehr Ladeinfrastruktur benötigt.

Die grundlegenden Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Betrachtung sind:

1. Kurzfristig würde ein Kaufanreiz zu einer Reduzierung der Beschäftigungsnachfrage führen, die daraus resultiert, dass der einheimische Wertschöpfungsanteil bei Elektrofahrzeugkomponenten mit 50 Prozent Wertschöpfung in der Batterie geringer ist als bei konventionellen Antrieben.
2. Zudem ist kurzfristig zu erwarten, dass eine pauschale Förderung über den Kaufpreis zu einer Verschiebung zu kleineren Fahrzeugsegmenten mit niedrigeren Anschaffungskosten führt, bei denen der Kaufanreiz stärker ins Gewicht fällt. Da einheimische Hersteller überproportional in den größeren Segmenten vertreten sind, ist dadurch eine moderate Reduzierung der Wertschöpfung und demnach der Beschäftigungsnachfrage zu erwarten.
3. Durch einen höheren Anteil an Elektrofahrzeugen reduziert sich für die Hersteller der Anreiz, Optimierungsmaßnahmen durchzuführen. Es findet im Vergleich zum Referenzszenario weniger Wertschöpfung in Bereich der Produktion effizienzverbessernder Fahrzeugkomponenten statt. Dies fällt insbesondere in den Jahren 2018 und 2019 ins Gewicht - dem Zeitraum, in dem die Hersteller sich auf die Verschärfung der Emissionsstandards einstellen.
4. Mittelfristig überwiegen die positiven Effekte im Bereich Aufbau und Wartung der Ladeinfrastruktur - inklusive der Vorleistungen aus anderen Industriebereichen.

Die hier ausgewiesenen Zahlen müssen im Zusammenhang betrachtet werden. Der deutsche Automobilsektor beschäftigt direkt mehr als 700.000 Mitarbeiter. Eine Fördermaßnahme, die zu einer Erhöhung der Elektrofahrzeuge im Bestand um 180.000 in zehn Jahren führt, fällt im Vergleich zu den jährlichen Neuzulassungen von 3,5 Millionen Fahrzeugen nicht ins Gewicht - insbesondere, da es sich zum größten Teil nicht um zusätzliche Käufe handelt. Zum Vergleich: 180.000 Fahrzeuge sind sieben Tagesproduktionen der Volkswagen AG.

Für die im Folgenden betrachteten Maßnahmen werden nur die wichtigsten Effekte diskutiert.

2.9.2. Bonus-Malus-System

Ein Bonus-Malus-System bevorteilt emissionsarme gegenüber emissionsintensiven Fahrzeugen durch Abbeziehungswise Aufschläge auf den Kaufpreis. Dazu werden eine Emissionsnorm und eine Abweichungsskala festgelegt. Für die Simulation dieser Maßnahme im MMEM wird die in Frankreich etablierte Regulierung angenommen, wobei die Emissionsnorm nicht fest ist, sondern sich an den in EU-Regulierung 443/2009 festgelegten Emissionszielen orientiert. Ziel ist es, die Flottendurchschnittsemissionen weiter zu senken. Insbesondere ist auch mit einer erhöhten Absatzrate bei alternativen Antriebstechnologien zu rechnen.

Die Förderstrategie verdoppelt den Bestand an Elektrofahrzeugen bei stark negativem Nettonutzen

Im Vergleich zum Referenzszenario verdoppelt sich durch die Einführung eines Bonus-Malus-Systems der Bestand an Elektrofahrzeugen im Jahr 2020. Die Maßnahme hat allerdings einen stark negativen gesamtgesellschaftlichen Nettonutzen, der für den Zeitraum von 2012 bis 2025 mit €2,5 Milliarden bewertet ist. Haupteffekt ist auch hier der massive Rückgang der Mineralölsteuereinnahmen.

Die Gesamtnachfrage sinkt

Unter dem Einfluss eines Bonus-Malus-Systems steigen die Kosten für Fahrzeuge durchschnittlich an, da die meisten Käufe im gewählten Zeitraum der Maßnahme bei konventionellen Fahrzeugen getätigt werden. Die Staatseinnahmen durch die Maßnahme übersteigen die Bonuszahlungen um €1 Milliarde. Dies hat einen Rückgang der Gesamtnachfrage zur Folge.

Die Treibstoffeffizienz bei konventionellen Fahrzeugen sinkt

Ebenso vermindert sich der Druck auf die Automobilhersteller, effizienzsteigernde Maßnahmen umzusetzen, da die Emissionsziele aufgrund der höheren Anzahl von Elektrofahrzeugen im Markt leichter zu erfüllen sind. Dies und der Effekt des Nachfragerückgangs haben einen negativen Effekt auf Konsumentenwohlfahrt aufgrund höherer Treibstoffkosten. Der Gesamtnutzen der Konsumenten ist mit €300 Millionen negativ.

Die Förderstrategie führt zu verminderten Steuereinnahmen

Der Nachfragerückgang und die höhere Anzahl an Elektrofahrzeugen führt zu massiven Steuerverlusten in den Bereichen Mineralölsteuer und Umsatzsteuer. Der Gesamtnettonutzen des Staates ist negativ und wird mit €3 Milliarden bewertet.

Die Umweltbilanz ist positiv

Der Rückgang in der Nachfrage im Automobilsektor und die höhere Durchdringung des Marktes mit Elektrofahrzeugen führen zu einem Rückgang der CO₂-Emissionen und anderen Umweltschäden. Der Gesamtnettonutzen wird mit €1 Milliarde bewertet.

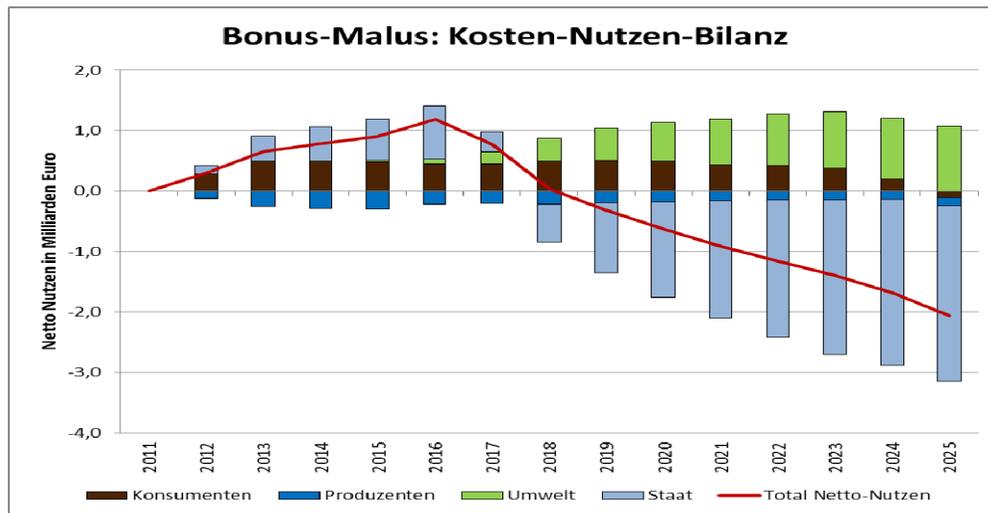


Abbildung 24: Veränderung des Nettonutzens bei einem Bonus-Malus-System nach französischer Ausgestaltung

Quelle: MMEM (2011)

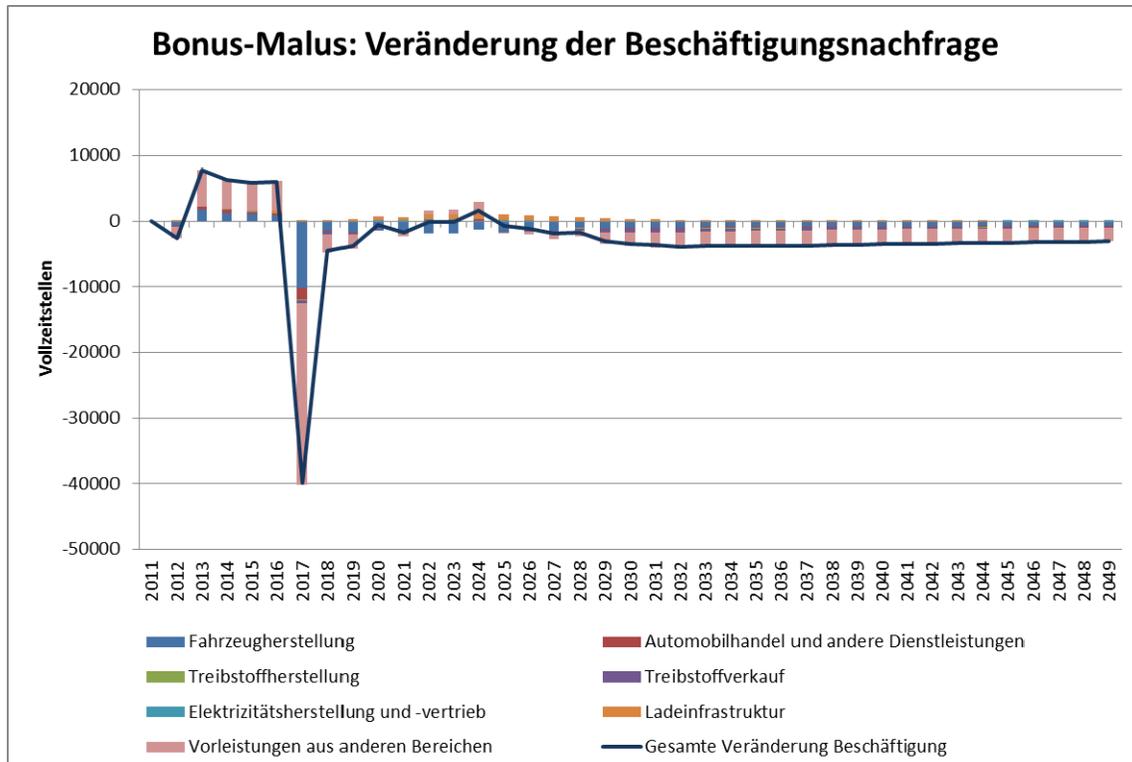


Abbildung 25: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei einem Bonus-Malus-System nach französischer Ausgestaltung

Quelle: MMEM (2011)

Im Vergleich zum Referenzszenario ist beim Bonus-Malus ein erheblicher Rückgang im Jahr 2017 festzustellen. Hier überlagern sich mehrere Effekte und kumulieren in diesem Jahr: Bei Bonus-Malus werden die Produktionseffekte vorgezogen, die in der Herstellung effizienter Fahrzeuge im Referenzszenario vor allem in den Jahren 2017-2019 erzielt werden. Bei Bonus-Malus werden dann ab 2017 insgesamt weniger Fahrzeuge produziert.

2.9.3. Flottenkäufe durch die Öffentliche Hand

Der öffentliche Sektor beschafft ungefähr 60.000 Fahrzeuge pro Jahr und kann daher über seine Beschaffungspolitik signifikanten Einfluss auf die den Bestand und die Sichtbarkeit von Elektrofahrzeugen im öffentlichen Raum nehmen. In diesem Abschnitt beleuchten wir kurz die Kosten und Nutzen eines solchen Beschaffungsprogramms. Speziell betrachten wir eine Maßnahme, bei der durch die Käufe der öffentlichen Hand 20 Prozent der Fahrzeuge einen elektrischen Antrieb haben müssen. Unterstellt wird, dass diese 20 Prozent sich analog zum Markthochlauf aufteilen, also 9 Prozent PHEV sind, 9 Prozent RE, und 2 Prozent BEV.

Ein solcher Flottenkauf führt zu einem frühen und stabilen Markthochlauf, da direkt eine nicht von einer kritischen Masse von Käufern abhängige Zahl an Fahrzeugen gekauft wird.

Die Kosten für die öffentliche Hand ergeben sich aus der Differenz der Lebenszykluskosten der Elektrofahrzeuge (sogenannten Total Cost of Ownership) im Vergleich zu konventionellen Antrieben. Die Lebenszykluskosten von Elektrofahrzeugen sind gerade in den Anfangsjahren der Politikmaßnahme höher als jene für konventionelle Antriebe. Es zeigt sich aber, dass - basierend auf den Nutzungsmerkmalen des öffentlichen Diensts - Plug-in Hybride und Range-Extender zügig Kostenvorteile zeigen und dementsprechend die Maßnahme zu Einsparungen führt. Insgesamt führt die Maßnahme zu 72.000 Fahrzeugen mehr als im

Referenzszenario. wobei der größte Teil direkt aus dem Beschaffungsziel folgt, jedoch auch die Diffusionseffekte durch erhöhte Sichtbarkeit im öffentlichen Raum nicht zu unterschätzen sind.

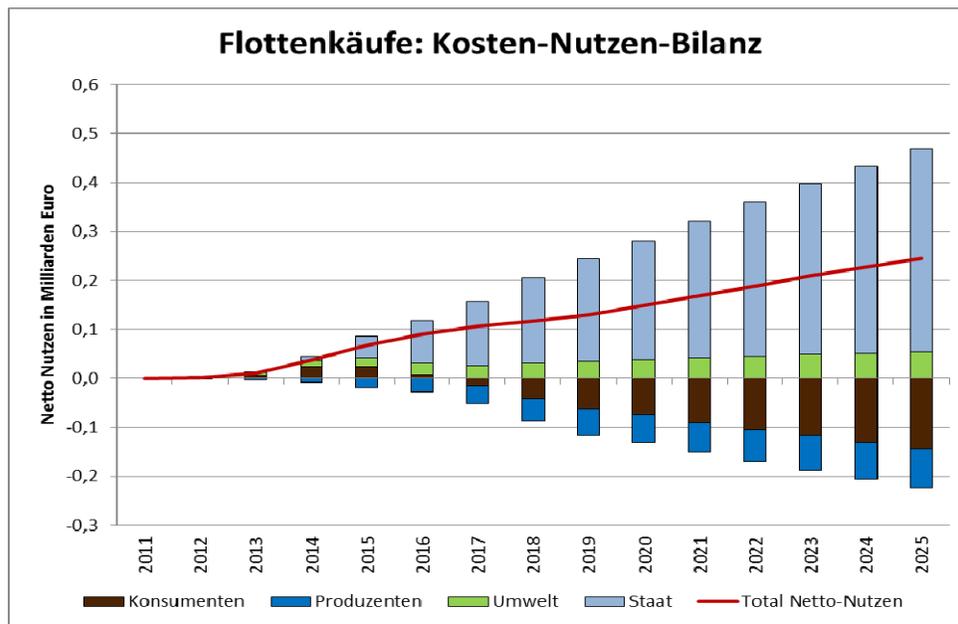


Abbildung 26: Veränderung des Nettonutzens bei Flottenkäufen

Quelle: MMEM (2011)

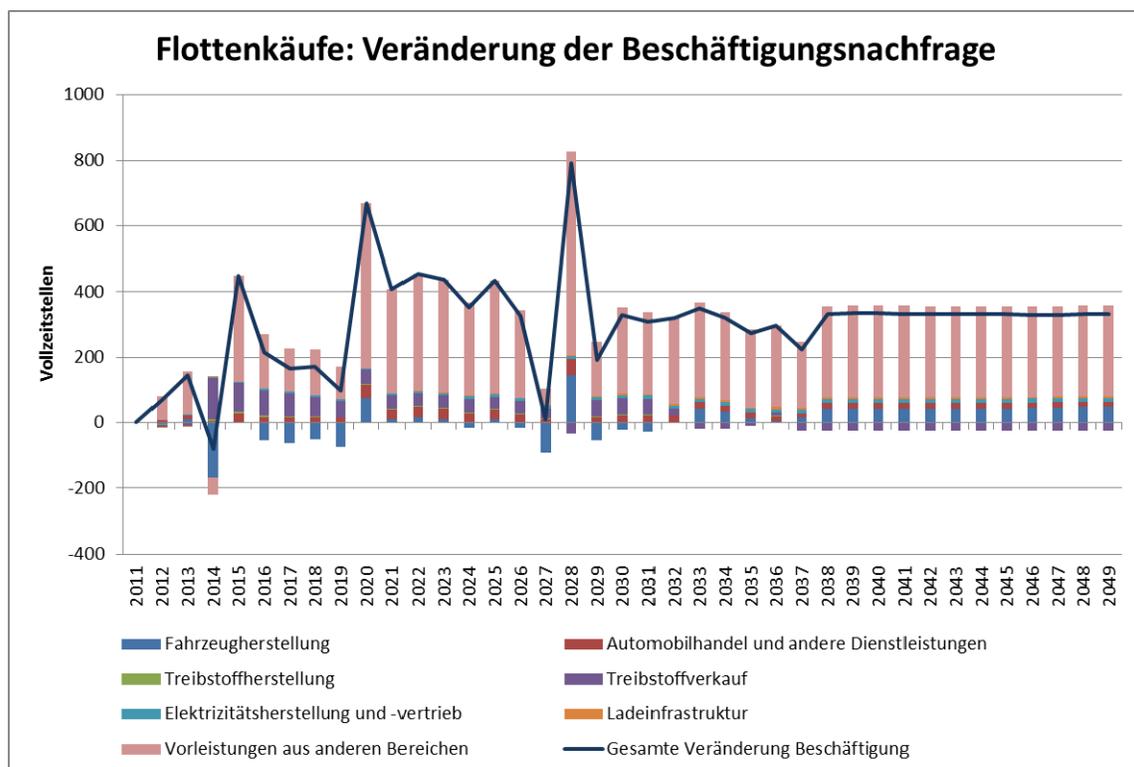


Abbildung 27: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei Flottenkäufen

Quelle: MMEM (2011)

Die Beschäftigungsnachfrage durch Flottenkäufe im Vergleich zum Referenzszenario ist durchgängig, wenn auch geringfügig, erhöht.

2.9.4. Ladestrompreis 15 cent

Mit Elektrizität als Treibstoff für Elektrofahrzeuge liegt es nahe, am Strompreis anzusetzen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Elektrofahrzeuge zu erhöhen. Für ein solches PolitikszENARIO wird im Marktmodell angenommen, dass durch Verzicht auf bestimmte Energiesteuerbestandteile (EEG, KWK etc.) der Ladestrom für Fahrzeuge vergünstigt werden kann. Voraussetzung für eine solche Maßnahme ist eine vorhandene Ladeinfrastruktur, über die der Fahrstrom abgerechnet wird.

Diese Maßnahme würde zu 90.000 mehr Elektrofahrzeugen im Bestand im Vergleich zum Referenzszenario führen. Die direkten Kosten schätzen wir auf €75 Millionen durch den Wegfall von Steuer- und Abgabeneinnahmen - dabei berücksichtigen wir nur den Stromverbrauch, der auch im Referenzfall ohne Politik angefallen wäre. Insgesamt zeigt die Maßnahme eine negative Kosten-Nutzen-Bilanz von circa €800 Millionen im Zeitraum 2012-2025. Ähnlich wie andere Maßnahmen zur Förderung von Elektrofahrzeugen würde ein Großteil der positiven Effekte durch reduzierte Optimierungsbemühungen bei konventionellen Antrieben überlagert.

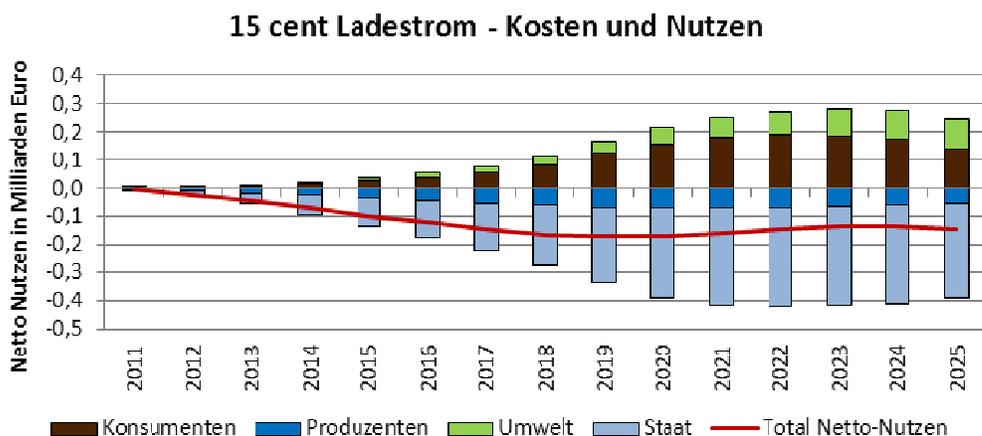


Abbildung 28: Veränderung des Nettonutzens bei Senkung des Ladestrompreises auf 15 cent bis 2020

Quelle: MMEM (2011)

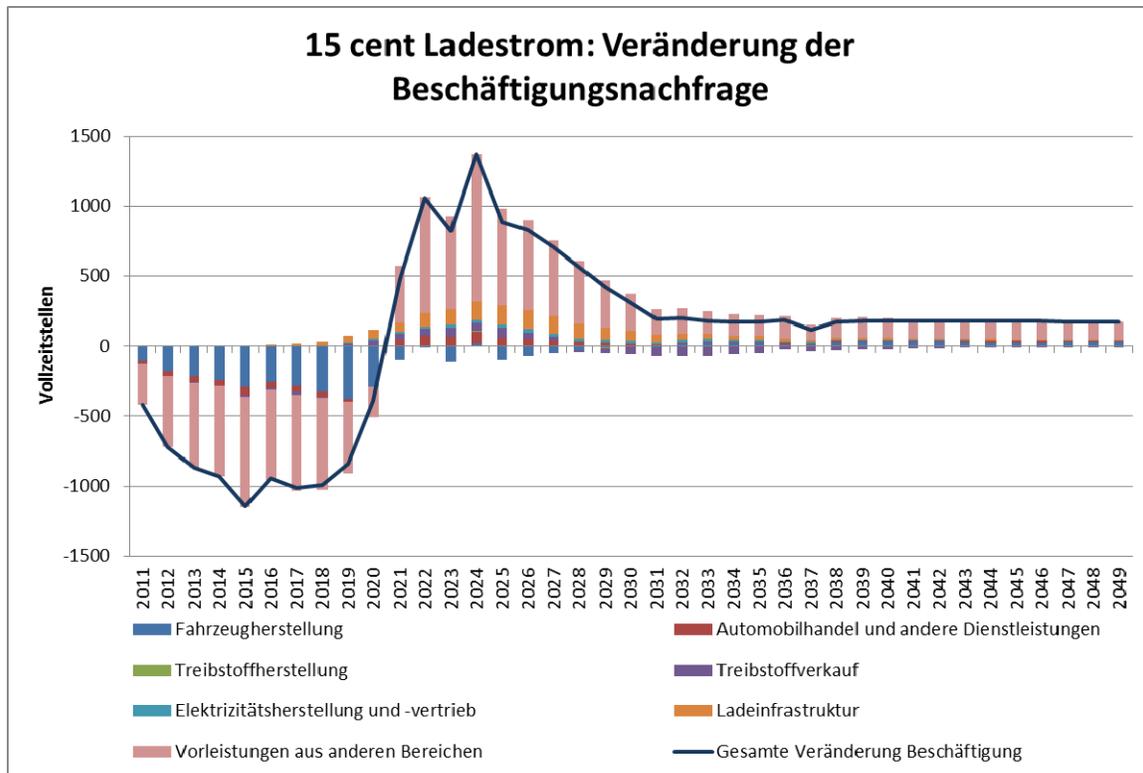


Abbildung 29: Veränderung des Nettonutzens bei Senkung des Ladestrompreises auf 15 cent von 2011 bis 2020

Quelle: MMEM (2011)

2.9.5. Dienstwagensteuer und Sonder-AfA

Mit über der Hälfte der jährlichen Neuzulassungen stellen gewerbliche Käufer ein entscheidendes Käufersegment dar. Die Beeinflussung der Kaufakzeptanz unter gewerblichen Entscheidungsträgern kann daher ein Instrument mit einem wirksamen Volumenhebel sein, insbesondere da gewerbliche Nutzer nur über eine kurze Haltedauer verfügen und Fahrzeuge mit Elektroantrieb so zügig über den Gebrauchtwagenmarkt an private Haushalte weitergeleitet werden.

Um die Kaufakzeptanz unter gewerblichen Kunden zu beeinflussen, werden häufig Dienstwagensteuer und Abschreibungsrichtlinien als Instrumente diskutiert. Wir simulieren das folgende Szenario:

Eine Reduzierung der Bemessungsgrundlage von Elektrofahrzeugen und damit die Angleichung der Dienstwagensteuer an die eines konventionellen Vergleichsfahrzeugs erhöht den Anreiz für die Nutzer eines Dienstwagens, sich für ein elektrisch betriebenes Fahrzeug zu entscheiden. Durch die Reduzierung der Bemessungsgrundlage, dem Kaufpreis, sinkt die Einkommensteuerlast, die die Nutzer veranschlagt bekommen. Problematisch bei dieser Maßnahme ist, dass die Nutzer oft nicht mit den Käufern identisch sind. So führt eine Förderung oft zu Mitnahmeeffekten, da Nutzer, aber nicht die Kaufentscheider subventioniert werden.

Ein zeitlich begrenzter Einsatz ist sinnvoll, da die Kosten der Maßnahme substantiell steigen, sobald der Elektrofahrzeugbestand wächst, da bestehende Fahrzeuge vom Steuervorteil profitieren.

Die Maßnahme könnte zudem bei einer zu frühen Implementierung zu Marktanteilsverschiebungen zugunsten ausländischer Hersteller führen, da deutsche Produzenten noch nicht in den entsprechenden Segmenten vertreten sind.

Um einige der Unzulänglichkeiten der Dienstwagensteuer auszugleichen, wird oftmals zusätzlich eine Sonderabschreibung als Förderinstrument erwogen. Eine Sonderabschreibung erlaubt es den gewerblichen Käufern, einen bestimmten Prozentsatz des Kaufpreises im ersten Nutzungsjahr als Abschreibungskosten steuerlich geltend zu machen. Sie ist ein effektives Instrument, um den Markthochlauf zu beschleunigen, da vor allem gewerblich genutzte Fahrzeuge sowie Dienstwagen bis 2014 den Markthochlauf bestimmen werden. Eine Sonderabschreibung von 50 Prozent im ersten Jahr der Anschaffung bietet darüber hinaus einen Anreiz zum zügigen Weiterverkauf, da das Fahrzeug schneller komplett abgeschrieben ist. Der Steuerstundungseffekt reduziert Kosten für die öffentliche Hand - falls der Wiederverkaufswert über dem Buchwert liegt, muss der Verkaufsertrag nachversteuert werden.

Durch die Maßnahme muss bei hohen Abschreibungsraten auch mit Steuerausfall gerechnet werden. Eine zeitliche Begrenzung ist deswegen ebenfalls empfehlenswert, da die Kosten rapide mit zunehmender Marktdurchdringung ansteigen.

Die Kombination aus Dienstwagensteuer (Reduzierung der Bemessungsgrundlage um 4.000 Euro) und Sonderabschreibung (50 Prozent des Kaufpreises im ersten Jahr), beides im Zeitraum 2012-2016, führt im Jahr 2020 zu zusätzlichen 40.000 Elektrofahrzeugen gegenüber dem Referenzszenario. Die direkten nominalen Kosten der Maßnahme betragen €76 Millionen. In der Bilanz übersteigen jedoch die gesamtgesellschaftlichen Kosten zunächst den Nutzen der Maßnahme.

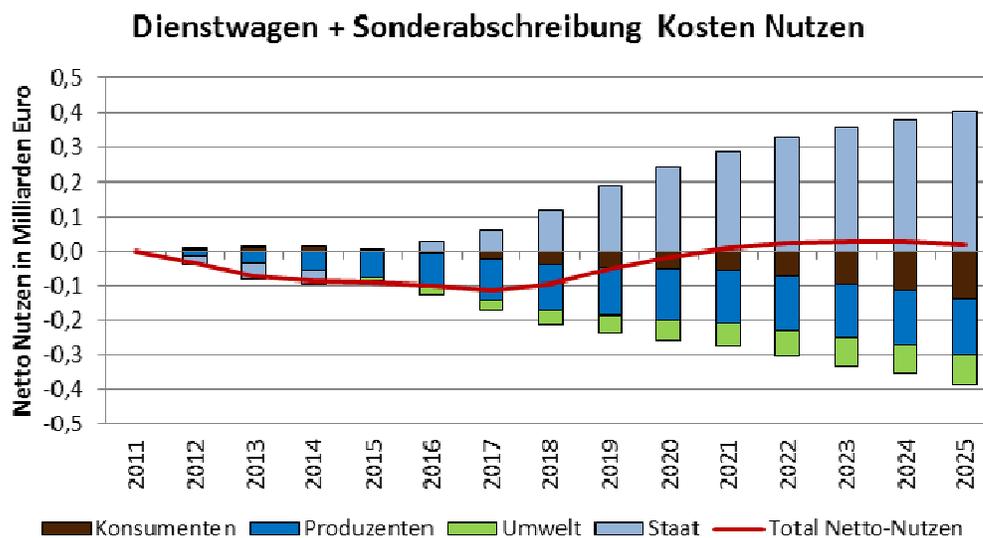


Abbildung 30: Veränderung des Nettonutzens bei der Reduzierung der Dienstwagensteuer

Quelle: MMEM (2011)

Anders als bei Anreizen für alle Nutzer und Fahrzeuge - zum Beispiel durch eine Kaufprämie - führt eine Begünstigung von gewerblichen Käufen dazu, dass überproportional große Segmente mit stärker emittierenden Fahrzeugen der Oberklasse durch Elektrofahrzeuge mit niedrigen Emissionen ersetzt werden. Damit ist es für die Hersteller leichter, Flottenemissionsziele zu erreichen, und deswegen wird die sonstige Flotte weniger stark optimiert. Dieser Effekt ist in diesem Fall wegen der hohen durchschnittlichen Emissionen von gewerblichen Fahrzeugen stärker als bei einer Kaufprämie, mit der alle Fahrzeuge gefördert werden. Die

Einsparungen durch mehr elektrische Fahranteile werden in diesem Fall vollständig durch ineffizientere Verbrennungsmotoren aufgehoben. Dadurch ergibt sich ein Nettoanstieg bei den CO₂-Emissionen und auch bei den Mineralölsteuereinnahmen.

Die Beschäftigungseffekte im Vergleich zum Referenzszenario kompensieren sich über den Zeitverlauf.

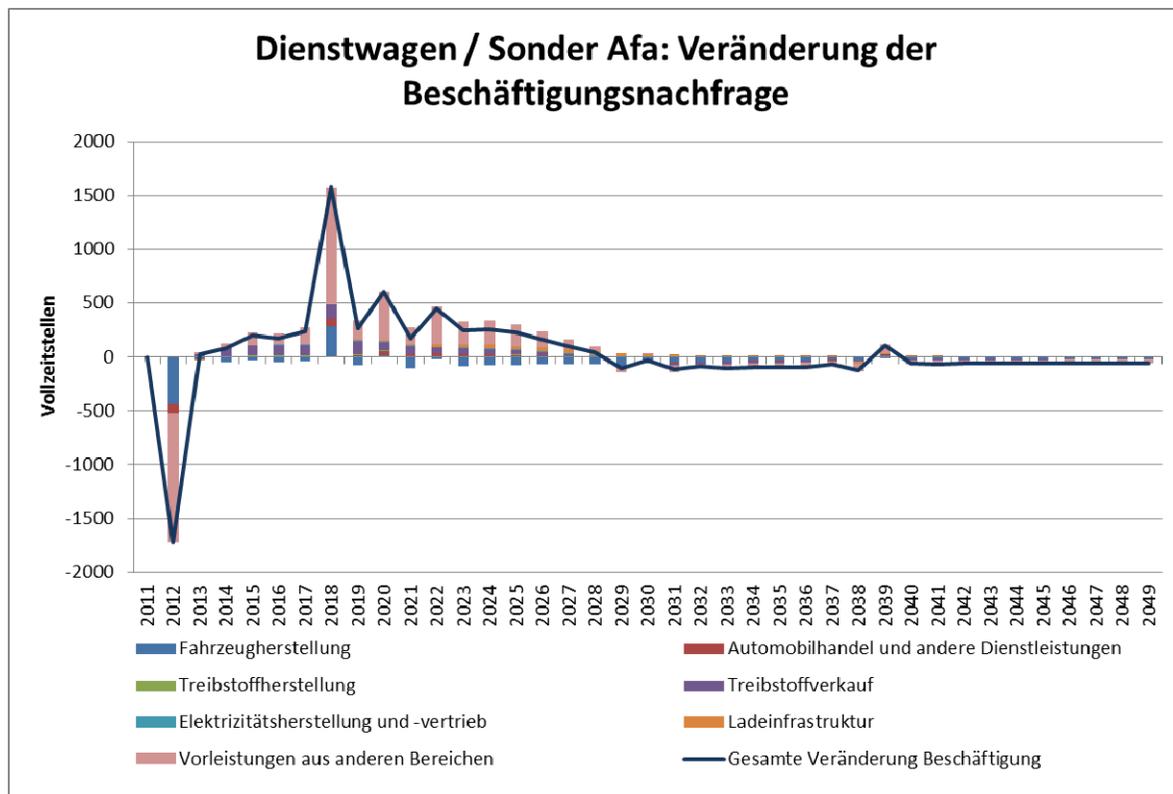


Abbildung 31: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei der Reduzierung der Dienstwagensteuer

Quelle: MMEM (2011)

2.9.6. KfW – Kredite

Ein KfW-Kreditprogramm kann die Anschaffungskosten für kreditfinanzierte Autokäufe verringern. Da die KfW sich kostendeckend über den Kapitalmarkt finanziert, kann sie aufgrund des guten Kreditratings attraktive Zinssätze anbieten. Für die öffentliche Hand entstehen, falls Kreditzinsen nicht zusätzlich gefördert werden, nur geringfügige Kosten.

Im MMEM wurde ein KfW-Kredit über 15.000 Euro für die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs zu einem Zinssatz von 2,5 Prozent unter dem Marktzins simuliert. Bis 2020 führt eine solche Maßnahme zu knapp 38.000 zusätzlichen Fahrzeugen im Vergleich mit dem Referenzszenario. Die Beschäftigungseffekte sind vernachlässigbar gering.

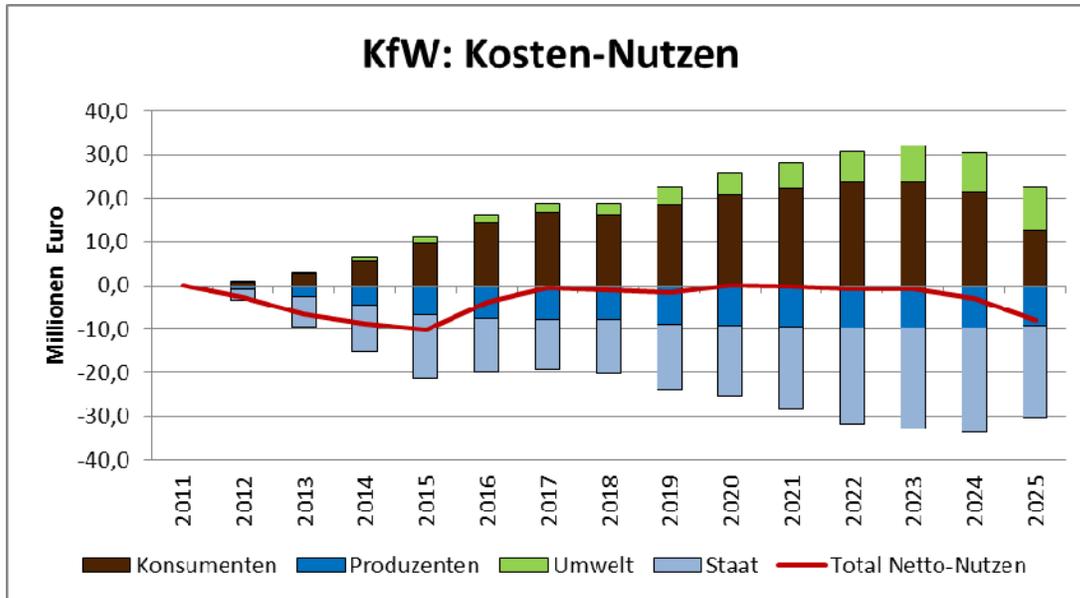


Abbildung 32: Kosten-Nutzen-Bilanz KfW

Quelle: MMEM (2011)

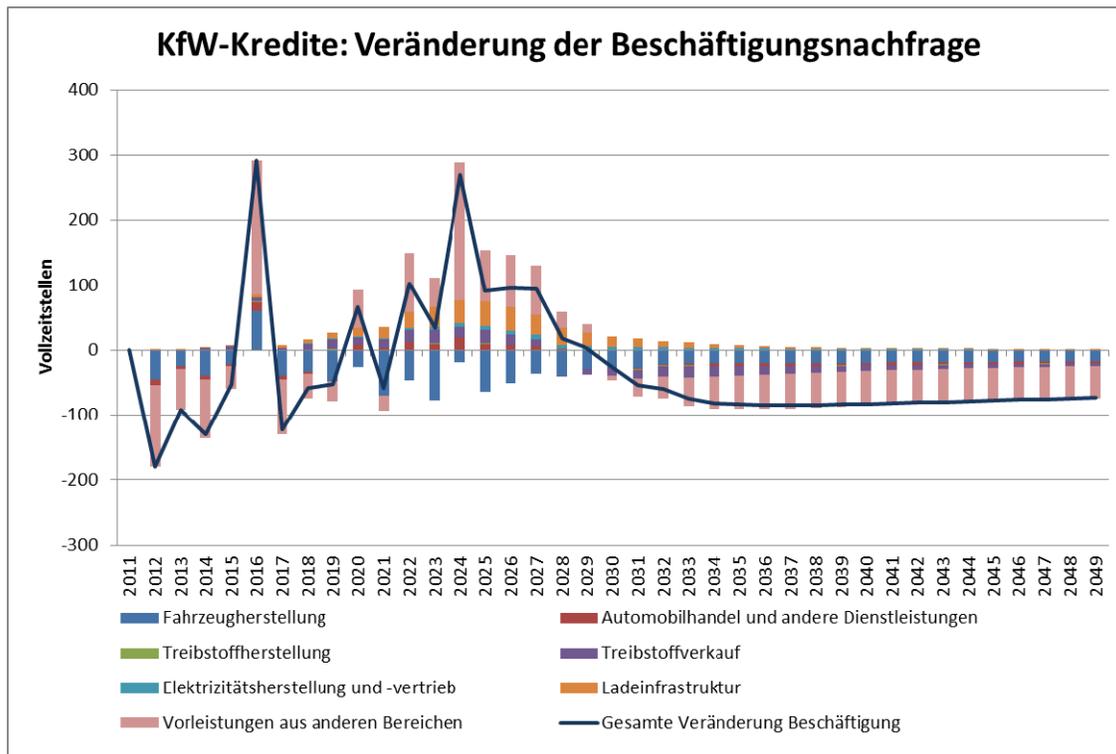


Abbildung 33: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei KfW-Krediten

Quelle: MMEM (2011)

Die Beschäftigungseffekte der KfW-Kredite sind im Prinzip unterhalb einer Darstellbarkeitsschwelle.

2.9.7. Befreiung von der Kfz – Steuer

Die im Regierungsprogramm avisierte Befreiung der Elektrofahrzeuge von der Kfz-Steuer führt zu einer um 47.000 Pkw gestiegenen Elektroautoflotte gegenüber dem Referenzszenario. Die Maßnahme ist wohlfahrtsneutral. Der Staat verliert ähnlich viel an Steuern, wie der Konsument durch günstigere Fahrzeuge erhält.

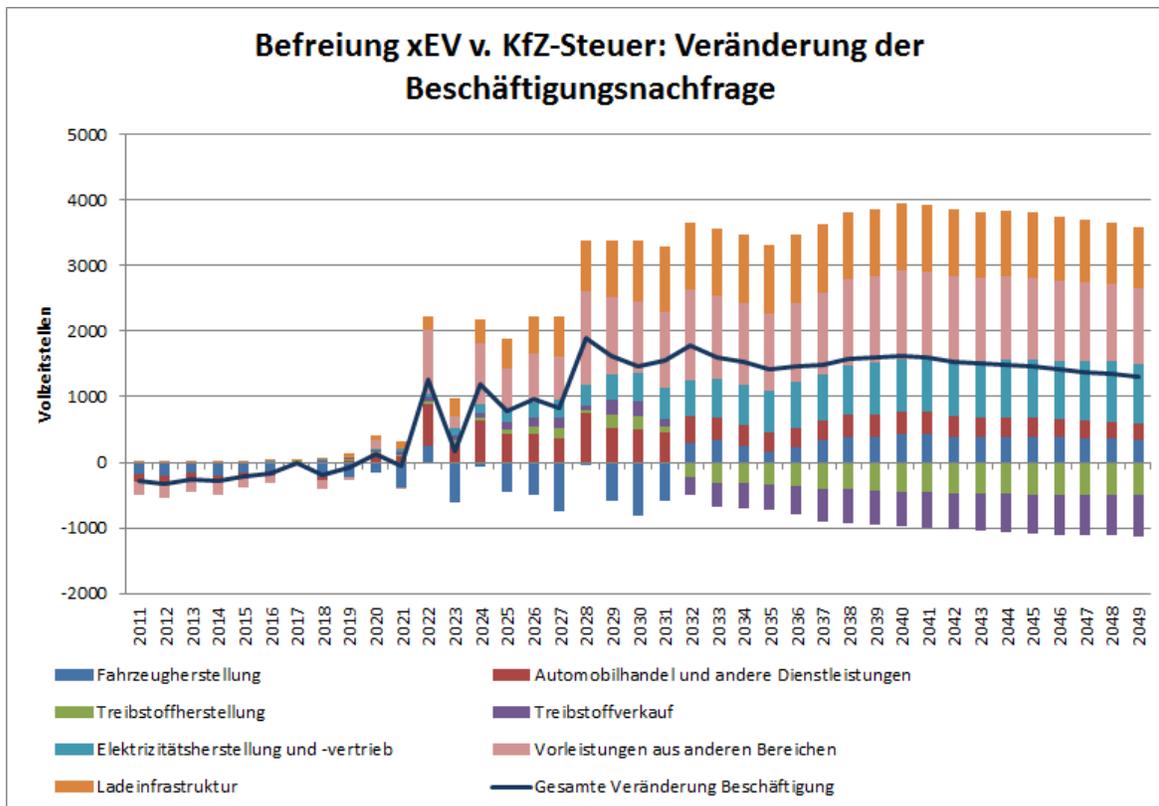


Abbildung 34: Veränderung der Beschäftigungsnachfrage bei Befreiung der xEV von der Kfz-Steuer

Quelle: MMEM (2011)

2.9.8. Freies Parken

Beschreibung der Maßnahme und methodologische Umsetzung im Marktmodell

Neben den klassischen Politikmaßnahmen wie Kaufanreizen oder Begünstigungen bei der Kfz-Steuer werden noch eine Reihe sog. „nichtmonetärer“ Instrumente diskutiert, die die Kaufentscheidung zugunsten eines Fahrzeugs mit elektrischem Antrieb beeinflussen sollen. Auch wenn dem Staat keine direkten Kosten der Politikmaßnahme entstehen, gibt es natürlich volkswirtschaftlich relevante Effekte - seien es die Kommunen, die die Einnahmen aus Parkplatzgebühren verlieren, seien es die Kunden des öffentlichen Nahverkehrs, die längere Stauzeiten in Kauf nehmen müssen, wenn Elektroautos Busspuren mitbenutzen dürfen. Die Herausforderung in der Bewertung dieser nichtmonetären Maßnahmen besteht zum einen darin, den

gesamtgesellschaftlichen Kosten und Nutzen abzubilden, und zum anderen zu quantifizieren, ob und wie stark sich die Marktanteile bei den Neukäufen zugunsten von Elektroautos verschieben.

Eine häufig in der Diskussion auftauchende Maßnahme ist das freie Parken für Elektroautos. Verschiedene Optionen befinden sich in der Erprobung. So hat beispielsweise die Stadt Klagenfurt seit Anfang 2010 erlassen, dass Elektroautos im Stadtgebiet gratis parken dürfen. Inhaber von Elektrofahrzeugen können sich einen speziellen Aufkleber besorgen und werden als Ausnahmetatbestand von den Parkgebühren ausgenommen.

Im Marktmodell Elektromobilität werden die Auswirkungen zweier Maßnahmen zu freiem Parken für Elektroautos analysiert: ein ausgewiesener, reservierter Parkplatz für jeden Besitzer eines Elektroautos, und das Klagenfurter Modell einer Erlassung der Parkgebühren. Der methodologische Ansatz, der verfolgt wird, um den Nutzen der Maßnahmen zu quantifizieren und im Modell zu operationalisieren, beruht auf einer Monetarisierung des Werts für den privaten Autohalter.

Um den monetären Nutzen eines permanenten Stellplatzes im öffentlichen oder semi-öffentlichen Bereich (z.B. in einem Parkhaus) einzuschätzen, wurde eine Analyse der Kosten für Dauerstellplätze in 22 repräsentativen Parkhäusern in deutschen Städten durchgeführt; die Kosten eines privaten Straßenparkplatzes basieren auf jährlichen Einnahmen durch gebührenpflichtige Parkstände in 8 deutschen Städten. Zudem wurde untersucht, wie viel es Autohaltern wert ist, direkt vor der Haustür zu parken. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Analyse.

Kosten für öffentliche Stellplätze	
Stellplatz	Kosten pro Stellplatz und Jahr
Dauerstellplatz in Parkhaus ¹⁾	766 €
Privater Straßenparkplatz ²⁾	517 €
<u>Aufpreisbereitschaft für Parken vor der Haustür³⁾</u>	508 €

(1) Aktuelle monatliche Kosten für einen Dauerstellplatz in 22 repräsentativen apcoa-Parkhäusern in Aachen, Bad Wildungen, Baden Baden, Berlin, Bonn, Dresden, Hannover, Heidenheim, Jena, Karlsruhe, Kassel, Magdeburg, Mettmann, Nürnberg, Stuttgart und Wetzlar (Quelle: <http://www.apcoa.de/de/dauerparkplaetze.html>, 2011)

(2) Basierend auf jährlichen Einnahmen durch gebührenpflichtige Parkstände in Aachen, Berlin, Cottbus, Koblenz, Köln, Meschede, Weißfels und Wiesbaden (Quelle: Baier, 2007)

(3) Gewichteter Durchschnitt, anstatt pro Tag durchschn. 1,74 Wege von 1 km zwischen Stellplatz und Haustür zurückzulegen, sind 80% der Befragten bereit, jährlich 635 € mehr zu bezahlen (Quelle: basierend auf MiD, 2008, und Martens/EPA, 2009)

Abbildung 35: Kosten für öffentliche Stellplätze

Quelle: MMEM (2011)

Aus der Befragung „Mobilität in Deutschland (2010)“ lassen sich die von dieser Maßnahme betroffenen Bevölkerungsanteile extrahieren. Rund 70 Prozent aller Autohalter haben einen privaten Stellplatz. Von den Autohaltern in Kernstädten, MiD zufolge 14,7 Prozent, wird im Marktmodell Elektromobilität angenommen, dass sie einen Dauerstellplatz in einem Parkhaus mieten, während die 15,6 Prozent aller Autohalter ohne privaten Stellplatz außerhalb von Kernstädten exklusiv einen Straßenparkplatz mieten. Insgesamt ergibt sich ein gewichteter Durchschnitt von jährlichen Kosten für Autohalter ohne privaten Stellplatz von 638 Euro pro Stellplatz und Jahr. Hinzu käme die Aufpreisbereitschaft für Parken vor der Haustür von 508 Euro pro Stellplatz und Jahr.

Der zweite Aspekt des freien Parkens ist eine Politikmaßnahme gemäß dem Klagenfurter Modell. Hier betrachtet das Marktmodell zum einen, wie viel Zeit in Klein- bzw. Großstädten ein Autohalter darauf verwendet wird, einen Parkplatz zu suchen, und zum anderen die durchschnittlichen Parkgebühren im öffentlichen Straßenraum sowie die durchschnittliche Dauer eines Parkvorgangs.

Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren: Eingangsgrößen		
Indikator	Eingangsgröße	Kosten / Monetärer Gegenwert ⁶⁾
Durchschnittl. Länge der Parkplatzsuche in Großstädten ¹⁾	4,2 Minuten	0,70 €
Durchschnittl. Länge der Parkplatzsuche in Kleinstädten ²⁾	0,7 Minuten	0,12 €
Durchschnittl. Parkgebühren im öffentl. Straßenraum (€/Stunde) ³⁾	0,91 € pro Stunde	0,53 €
durchschnittliche Dauer eines Parkvorgangs ⁴⁾	35 Minuten	
Durchschnittliche Anzahl Wege (Motorisierter Indiv.-Verkehr pro Tag) ⁵⁾	1,74 Wege	

(1) Auf Basis des gewichteten Durchschnitts der Parkplatzsuche in München, Quelle: BMW Forschung (2006), Reglog(Regensburg), Kapitel 2. Parken / Ruhender Verkehr, S. 42, basierend auf Monheim (1998) und Jansen (1998)
(2) Auf Basis des gewichteten Durchschnitts der Parkplatzsuche in Regensburg, Quelle: BMW Forschung (2006), Reglog(Regensburg), Kapitel 2. Parken / Ruhender Verkehr, S. 42, basierend auf Monheim (1998) und Jansen (1998)
(3) Quelle: Baier (2007)
(4) Quelle: Richard (2009)
(5) Quelle: Mobilität in Deutschland (2008)
(6) Annahme: Durchschnittlicher monetärer Gegenwert 10 €/ Stunde (basierend auf 9 bis 14 €/Stunde in Frankreich, Quelle: Massiani 2011)

Abbildung 36: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren

Quelle: MEM (2011)

Aus der Berechnung ergeben sich Durchschnittskosten pro Autohalter für Parkplatzsuche und Parkgebühren 1,23 Euro in Großstädten und 0,65 Euro außerhalb von Großstädten. Im nächsten Schritt wird fünf unterschiedlichen Regionstypen die durchschnittliche Stellplatzsuchzeit in Minuten zugeordnet und der monetäre Gegenwert einer Stellplatzsuche aufs Jahr extrapoliert. In Metropolen entstehen einem Autohalter die höchsten Kosten für die Parkplatzsuche pro Jahr von rund 77 Euro. Die durchschnittlichen Parkkosten pro Regionstyp werden ermittelt, indem die durchschnittlichen Parkgebühren von 0,53 Euro auf den Anteil der jeweiligen Bevölkerung, die über keinen eigenen Stellplatz verfügen, angepasst werden, beispielsweise 57 Prozent in Metropolen. Der Untersuchung „Mobilität in Deutschland“ zufolge legt ein Fahrer im motorisierten Individualverkehr pro Tag 1,74 Wege zurück, daraus können die durchschnittlichen Parkkosten pro bzw. pro Jahr abgeleitet werden. Die folgende Abbildung stellt den monetären Gegenwert der Stellplatzsuche und die Parkkosten pro Jahr für die fünf untersuchten Regionstypen dar.

Regionstyp	Stellplatzsuche ¹⁾	Stellplatzsuchzeit	Gegenwert Stellplatzsuche	Kosten pro Parkvorgang	Parkkosten pro Tag	Parkkosten pro Jahr
	Suche nach Stellplatz, Anteil an der Gesamtbevölkerung	Durchschnittliche Stellplatzsuchzeit in Minuten	Summe Geldgegenwert Stellplatzsuche pro Auto pro Jahr	angepasst auf in öffentlichen Räumen parkende Fahrzeuge	Durchschnitt pro Regionstyp	Durchschnitt pro Regionstyp
Metropolen	8,6%	4,2 ²⁾	77 €	0,31 €	0,53 €	195 €
Großstädte	5,6%	4,2 ²⁾	49 €	0,25 €	0,44 €	160 €
Mittelstädte	8,3%	0,7 ³⁾	12 €	0,15 €	0,26 €	94 €
Kleinstädte/ große Gemeinden	7,6%	0,7 ³⁾	11 €	0,09 €	0,16 €	60 €
Sonstige Gemeinden	1,9%	0,7 ³⁾	3 €	0,07 €	0,11 €	42 €

(1) Quelle: Mobilität in Deutschland (2008)

(2) Auf Basis des gewichteten Durchschnitts der Parkplatzsuche in München, Quelle: BMW Forschung (2006), Reglog(Regensburg), Kapitel 2. Parken / Ruhender Verkehr, S. 42, basierend auf Monheim (1998) und Jansen (1998)

(3) Auf Basis des gewichteten Durchschnitts der Parkplatzsuche in Regensburg, Quelle: BMW Forschung (2006), Reglog(Regensburg), Kapitel 2. Parken / Ruhender Verkehr, S. 42, basierend auf Monheim (1998) und Jansen (1998)

Abbildung 37: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren

Quelle: MMEM (2011)

Aus der Verteilung der Autohalter auf die Regionstypen ergibt sich, dass der gewichtete durchschnittliche Mehrwert kostenlosen Parkens für Fahrzeughalter sich auf 102 Euro pro Jahr beläuft und der monetäre Gegenwert der Stellplatzsuche im Mittel über alle Regionstypen 26 € pro Jahr beträgt.

Diese Werte kommen in der Politikanalyse des Marktmodells privaten Autohaltern zugute und können in der Simulation einzeln abgefragt werden. Für diesen Bericht wird jedoch nur das Szenario durchgespielt, dass Elektroautos sowohl das Privileg freier Parkplätze als auch einen dezidierten privaten Stellplatz erhalten. Die Aufpreisbereitschaft für Parken vor der Haustür wird nicht berücksichtigt.

Ergebnis und Interpretation

Das Ergebnis zeigt, dass sich die Zahl der Elektroautos durch die kombinierten Maßnahmen zum freien Parken auf 520.000 im Jahr 2020 erhöhen lässt - und das bei vergleichsweise geringen Ausgaben für Staat bzw. Kommunen. Wenn die Maßnahme im Jahr 2016 ausläuft, entstehen aufgrund der vergleichsweise kleinen Zahl an Elektrofahrzeugen Gesamtkosten unter 9 Millionen Euro. Die Maßnahme wird jedoch in der Kosten-Nutzen-Analyse aufgrund der gleichen Wirkmechanismen wie beim schon ausführlich diskutierten Kaufanreiz als negativ eingeschätzt, da die erhöhte Zahl an Elektroautos den Automobilherstellern einen Anreiz gibt, Effizienzsteigerungen am Verbrennungsmotor zu verzögern.

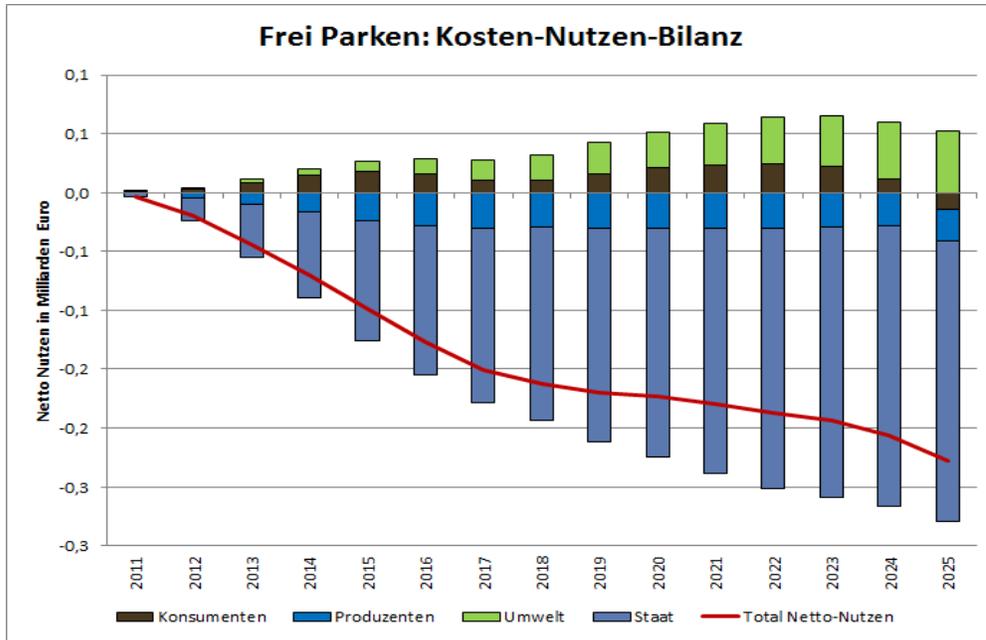


Abbildung 38: Kosten für Parkplatzsuche und Parkgebühren

Quelle: MMEM (2011)

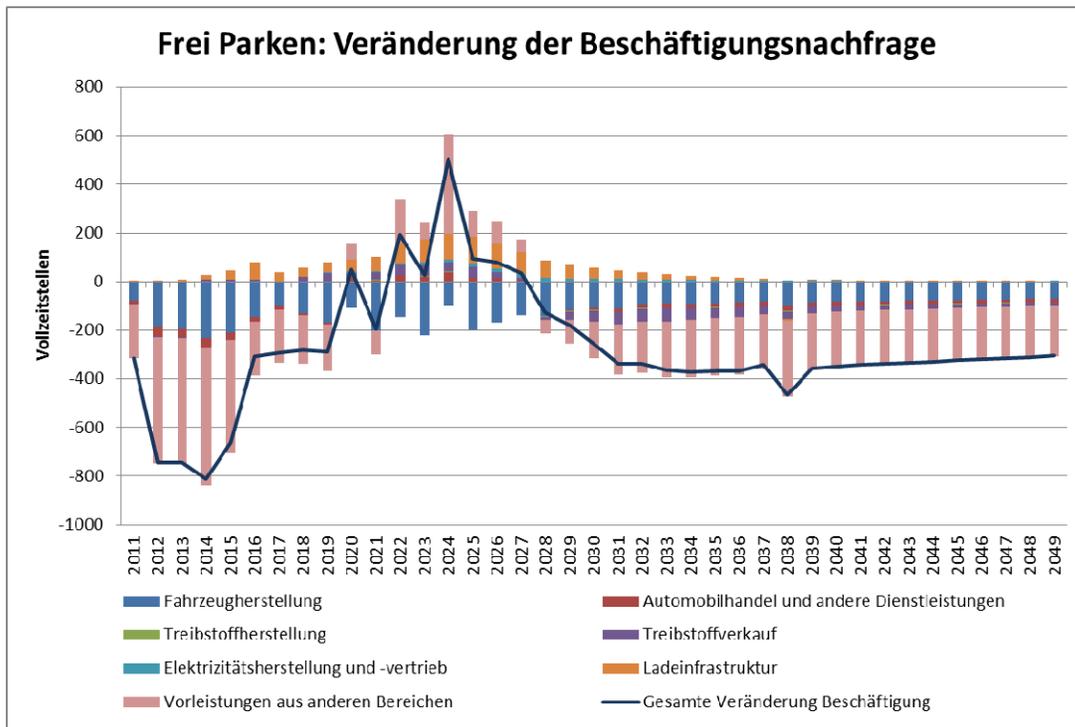


Abbildung 39: Frei Parken - Veränderung der Beschäftigungsnachfrage

Quelle: MMEM (2011)

2.9.9. Zusammenfassung der monetären Maßnahmen

Die nachstehende Grafik zeigt die Anzahl der Fahrzeuge mit Elektroantrieb im Bestand bei Simulation der skizzierten Politikmaßnahmen über die Zeit im Vergleich zum Referenzszenario:

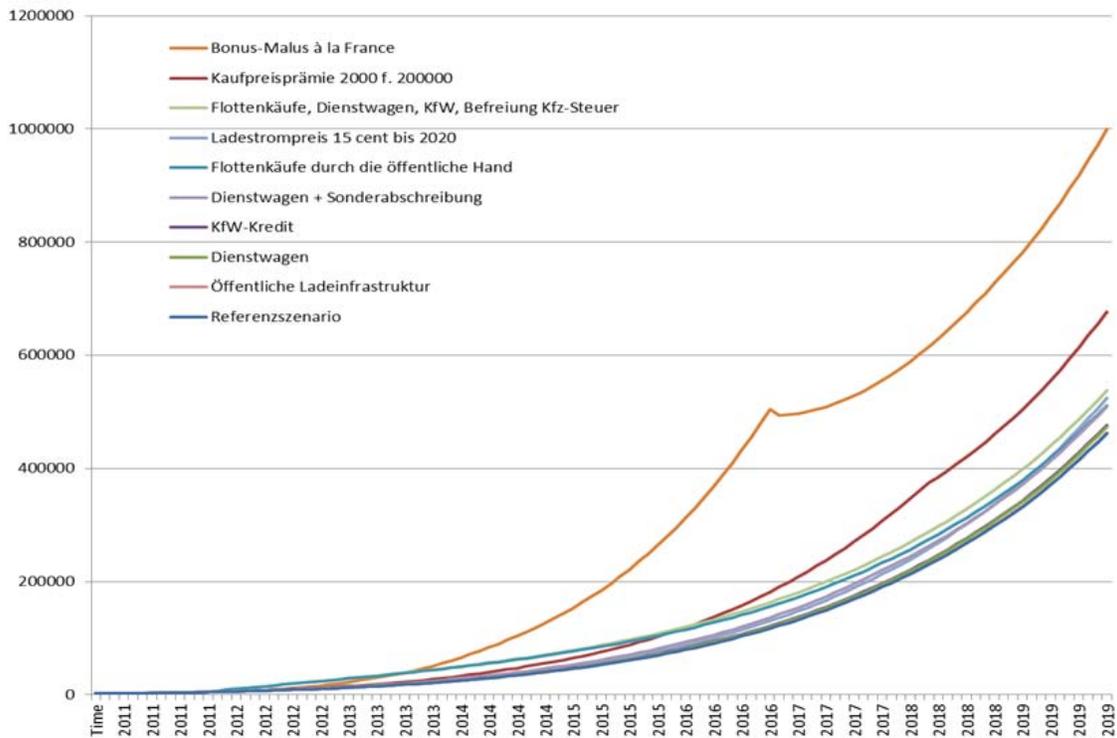


Abbildung 40: Maßnahmen Markthochlauf

Quelle: MMEM (2011)

Der Vergleich der verschiedenen Markthochlaufkurven legt nahe, dass viele der diskutierten Maßnahmen den Markthochlauf nur in geringem Maße beeinflussen. Wenige Anreize hingegen erzielen größere Effekte. Für sie gilt: Viel hilft viel, hat aber auch große Neben- und Wechselwirkungen. Insbesondere die Erosion der Mineralölsteuerbasis führt zu einer negativen Gesamtwohlfahrt im Vergleich zum Referenzszenario.

Die *Sensitivitätsanalyse* des MMEM (Kapitel 7) zeigt, dass bei der Hälfte der simulierten Variationen der Einflussfaktoren deutlich mehr Elektrofahrzeuge allein vom Markt hervorgebracht werden als die rund 460.000 des Referenzszenarios.

Wenn Politik und Industrie allerdings sehr sicher sein möchten, dass das Ziel 1 Million Elektroautos in 2020 erreicht wird, so werden zum gegebenen Zeitpunkt weitere Marktanreize über die bis jetzt im Regierungsprogramm festgelegten hinaus zu prüfen sein.

Für alle Marktanreize gilt generell:

- Ein *zeitlich begrenzter Einsatz* sehr weniger Maßnahmen mit einer Volumendeckelung ist zu empfehlen. Erfolgskritisch ist der Einsatz zum richtigen Zeitpunkt und die Kombination der Maßnahmen.
- *Frühe Politikmaßnahmen* profitieren von Verstärkungseffekten z.B. durch erhöhte Sichtbarkeit / Imitationseffekte und generieren die besten Volumenhebel. Jedes zusätzliche Jahr, in dem die Maßnahme läuft, führt zu einer exponentiellen Kostensteigerung.

- *Mitnahmeeffekte*, d.h. eine Förderung von Fahrzeugkäufen, die auch ohne Anreiz stattgefunden hätten, steigen proportional mit der Förderdauer und der Zahl der Maßnahmen an und *sind nicht zu vernachlässigen*: Von einer Million Fahrzeugen in 2020 würden 500.000 auch ohne Förderung gekauft.
- Ein Spezialfall der Mitnahmeeffekte sind *Wechselwirkungen*, die einen signifikanten Einfluss auf die Kosten haben können. So fördert eine Kaufpreisprämie auch die Fahrzeuge, die von einer Abschreibung profitieren, und umgekehrt. Je weniger Maßnahmen kombiniert werden, umso geringer fallen Wechselwirkungen und Mitnahmeeffekte aus.
- Innovationen sind oft durch langsames Wachstum in der Anfangsphase und rapides Wachstum ab einer bestimmten Marktdurchdringung gekennzeichnet (siehe Windkraft- und Photovoltaikanlagen). Um Mittelbedarf zu reduzieren, sollten Fördermaßnahmen in jedem Fall mit *einer zeitlichen Begrenzung und Volumendeckelung ausgestattet sein*.

Flottenkäufe, Reduzierung der Bemessungsgrundlage in Kombination mit einer Sonderabschreibung und KfW-Kredite sind Massnahmen, die Elektromobilität sinnvoll und wirksam stützen können. Sie reichen jedoch im MMEM-Referenzszenario nicht, um die gewünschte Million in 2020 sicher zu erreichen. Hierzu wären teure und eingriffsintensive Maßnahmen wahrscheinlich erforderlich.

Maßnahmen	Zeit- raum 20..	Wirksam- keit	Anzahl zusätzlic- h-er xEV	Direkte Kosten in € je zusätz- lichem EV	NPV 2020 Mio €	NPV 2025 Mio €	Wechsel- wirkunge- n bei Kombina- tionen	Anmerkungen
Bonus-Malus	12-16	Sehr hoch	500.00 0	- 2000	- 1.000	- 2.000		Sehr hohe Ausfälle bei d. Energiesteuer auf Treibstoff
Kaufprämie 2000 für 200.000	ab 14	Hoch	130.00 0	2615	- 276	- 343		Einfache Maßnahme mit hoher Wirksamkeit, recht teuer
Ladeinfrastruktur für Laternenparker	12-20	Hoch	100.00 0	4550	-766	-1.000		Für Nutzer ohne eigenen Stellplatz öffentlich oder semiöffentlich, sehr teuer
Flottenkäufe ab 2012, DW, Befreiung KfZ	12-16	Hoch	90.000	-900	-452	-272	33 %	Kombination der Maßnahme führt zu hohen Wechselwirkungen
15 cent Strom	12-20	Mittel	70.000	833	-207	-800		Flottenkäufe bessere Alternative
Flottenkäufe	12-20	Mittel	70.000	-1300	161	255		Führt zu frühem stabilem Hochlauf
Reduktion Bemessungsgrdl. Dienstwagen um 4000€ und Sonderabschreibung	12-16	Mittel	60.000	1100	- 9	8	23%	Führt Fahrzeuge früh in den Markt
KfW – Kredit	12-16	Gering	35.000	keine	-10	-17		Bringt zusätzliche xEV zu geringen Kosten
Reduktion Bemessungsgrdl. Dienstwagen um 4000€	12-26	Gering	20.000	1300	- 504	- 493		Reduzierung Bemessungsgrundlage ohne Kombination mit Sonderabschreibung wenig wirksam

Abbildung 41: Maßnahmen Markthochlauf

Quelle: MMEM (2011)

2.10. Integration mit dem Energiesektor

Auf den Transportsektor entfällt in Deutschland rund ein Viertel des Energieverbrauchs. Erdöl hat mit über 90 Prozent den größten Anteil daran. Strom hingegen trägt bislang nur mit weniger als 3 Prozent zum Energiemix im Transportsektor bei. Elektromobilität wird diese Relation langfristig verschieben, wenn eine wachsende Zahl an Autohaltern auf Elektrizität als primäre Energiequelle zurückgreift. Eine solche Neuordnung der Nachfragestruktur wird die Abhängigkeit von importierten, fossilen Energieträgern mindern, sofern der zusätzliche Bedarf an Strom mit einheimischen Energiequellen gedeckt werden kann. Aus der Perspektive des Klimaschutzes führt die höhere Effizienz von Elektromotoren gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren jedoch nicht zwingend zu Null-Emissions-Autos: Je nachdem, welche Kraftwerke zur Befriedigung der zusätzlichen Nachfrage eingesetzt werden, können klimaschädliche Gase wie Kohlendioxid innerhalb der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen in einem mit Braunkohle, Steinkohle oder Erdgas betriebenen Kraftwerkspark entstehen.

Die Wechselwirkung zwischen Elektromobilität und dem Energiesektor beschränkt sich jedoch nicht nur auf Versorgungssicherheit und Emissionen, sondern umfasst auch ganz konkret die Infrastruktur, die zum Laden der Elektroautos notwendig werden wird. Dazu gehören

- individuelle Ladestellen
- ein Versorgungsnetz mit Schnellladestationen für rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge
- eine den Anforderungen des Ladeverhaltens gerecht werdende Netzinfrastruktur, inklusive der Anbindung an Informations- und Kommunikationsschnittstellen.

Bei stärkerer Marktdurchdringung können Elektroautos sogar aktiv am Elektrizitätsmarkt teilnehmen. Der zunehmende Anteil zeitlich variierender Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern, insbesondere Wind und Sonne, führt zu einem höheren Bedarf an der Zwischenspeicherung der erzeugten Energiemengen und zugeordneten Netzdienstleistungen als bisher. Im Vergleich mit anderen Speichertechnologien, etwa Pumpspeicherkraftwerken, Druckluftspeichern oder auch dem Gasnetz, haben die Batterien der Elektroautos zwar nur ein begrenztes Potential. Sobald die Autohalter ihre Fahrzeuge jedoch ans Netz anschließen, können sie zur Aufrechterhaltung der Netzspannung und Bereitstellung von sogenannter Regelleistung eingesetzt werden. So kann Elektromobilität positiv zur Stabilisierung des Netzes beitragen und erleichtert den Übergang in eine emissionsärmere Energieversorgung. Der Einsatz von Elektroautos im Netz muss jedoch organisiert und koordiniert werden; die Autohalter wiederum werden nur bereit sein, ihre Autos wo immer möglich mit dem Netz zu verbinden, wenn es entsprechende Anreizmechanismen gibt.

Das Umfeld, in dem sich Elektromobilität derzeit entwickelt, ist geprägt von einer zunehmenden Konvergenz des Elektrizitätssektors mit Internet und Kommunikationstechnologien. Die gewünschte Koordination des Ladeverhaltens und der Markthochlauf von Elektromobilität fällt zeitlich zusammen mit dem Plan zum Aufbau eines intelligenten Verteilnetzes bzw. „Smart Grid“. Synergien können aus der Kombination verschiedener Technologien mit Hilfe geeigneter Politikinstrumente entstehen.

Der Energiesektor ist traditionell eng an Politik, Regulierung und staatliche Lenkungsmechanismen gebunden. Als eine der wichtigsten nationalen Infrastrukturdienstleistungen trägt er maßgeblich zur Qualität des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei. Die sektorspezifische Politik bewegt sich im Zieldreieck von Nachhaltigkeit, Versorgungssicherheit und Effizienz. Entsprechende Maßnahmen folgen häufig nicht nur komplementären, sondern entgegengesetzten Zielen. Während eine klimaneutrale Energieversorgung durch den Ausbau erneuerbarer Energieträger erreicht werden soll, führt die selektive Einspeisevergütung einzelner Erzeugungstechnologien zur Verzerrung der Kostenstruktur und widerspricht damit dem Leitbild eines

wettbewerblich orientierten Elektrizitätsmarktes. Zudem wandeln sich die Prioritäten im zeitlichen Verlauf aufgrund alternierender politischer Zielsetzungen. Elektromobilität kann jedoch zu allen drei Komponenten des energiepolitischen Zieldreiecks positiv beitragen: Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit werden durch die Abkehr von Erdöl als primärem Energieträger für Transportdienstleistungen und den Beitrag der Autos zur Stabilisierung des Netzes gefördert, während Effizienzsteigerungen über das Innovationspotential von Elektroautos und durch die Belegung des Elektrizitätsmarkts durch neue Akteure erzielt werden können.

Das Marktmodell Elektromobilität erlaubt sowohl eine quantitative Auswertung der Auswirkungen kurz- und mittelfristig angelegter Politikmaßnahmen als auch die Darstellung langfristiger Entwicklungen in der Wechselwirkung zwischen Elektroautos und dem Energiesektor. Neben energiewirtschaftlichen Indikatoren als einem Ergebnis des Modells hält die Kosten-Nutzen-Analyse ein Instrument bereit, das Investitionsvolumen und Auswirkungen des Ladeverhaltens auf Netz und Emissionen bis zum Jahr 2050 prognostiziert.

Das Simulationsmodell nutzt als Referenzszenario bis 2050 die Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen aus der Studie „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010), sowohl zur Erweiterung und Umstrukturierung des Kraftwerksparks als auch zur Vorhersage der Elektrizitätspreise. Alternative Szenarien, u.a. die Ausbauszenarien aus der Stellungnahme Nr. 15 (Mai 2010) des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU), sind im Modell hinterlegt und können ebenfalls durchgespielt werden. MMEM simuliert die Einspeisung der fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Sonne auf Basis empirischer Daten des Jahres 2010. Für die anderen Kraftwerkstechnologien wird die durchschnittliche Einspeisung gemäß BDEW-Angaben zu den Jahresvollaststunden der deutschen Kraftwerke aus dem Jahr 2008 zugrunde gelegt.

Das Ladeverhalten der Elektroautohalter wird im Marktmodell für eine Beispielwoche jeden Monats von 2011 bis 2050 unter veränderten Einspeisebedingungen stundenweise berechnet. Hierfür wird auf Daten aus „Mobilität in Deutschland (2008)“ zu Fahrleistung, Anfangs- und Endzeit des Weges sowie Fahrtzweck, unterteilt nach Arbeit, Freizeit und Besorgungen, zurückgegriffen. Die genaue Kilometerzahl der zurückgelegten Strecken fließt in die Berechnung der notwendigen Lademengen ein. Im Referenzszenario starten die Fahrzeuge morgens mit über Nacht vollständig aufgeladener Batterie und starten den Ladevorgang abends nach der Rückkehr nach Hause. Für tägliche Fahrtstrecken, die jenseits der Reichweite des jeweiligen KBA-Segments liegen, wird angenommen, dass Range Extender und PlugIn-Hybride die Restkilometerstrecke mit konventionellen Brennstoffen zurücklegen, während rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge an Schnellladestationen Strom nachtanken – bei in der MiD-Wegeverteilung seltener auftauchenden, weiteren Fahrtstrecken kann dies bis zu vier- oder fünfmal sein.

Die folgende Abbildung zeigt das wöchentliche Ladeverhalten rein batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge im Wochenverlauf, differenziert nach Laden am eigenen Stellplatz und unterwegs.

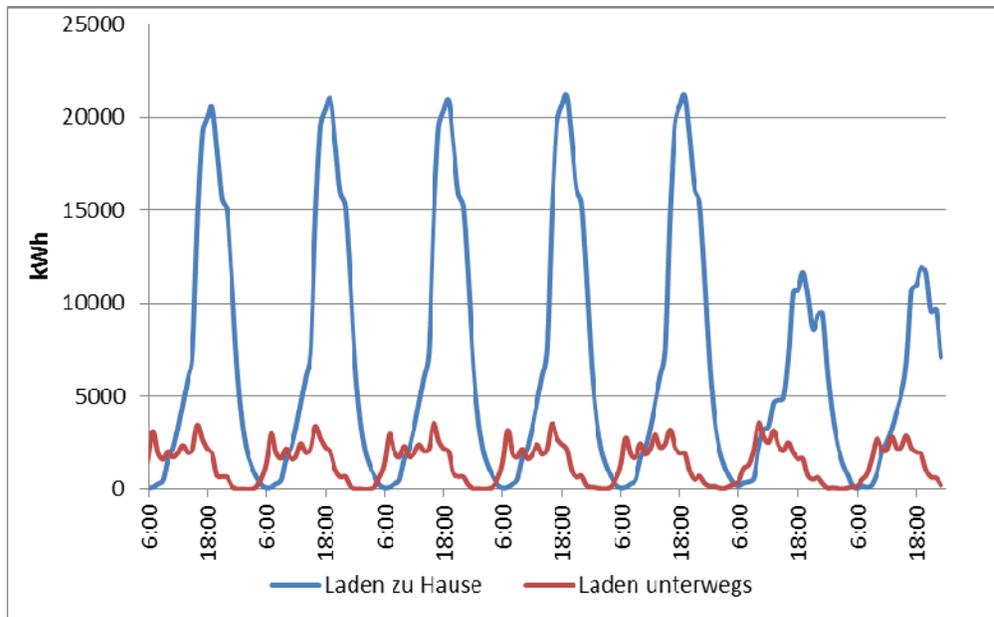


Abbildung 42: Ladeverhalten rein batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge

Quelle: MMEM (2011)

2.10.1. Erneuerungs- und Erweiterungsbedarf des Netzes

Die Ladevorgänge von Elektroautos involvieren, zumindest in der Anfangsphase, noch keine größeren Energiemengen. Das Marktmodell Elektromobilität ermittelt für das Referenzszenario einen Anteil von weniger als 0,1 Prozent am Gesamtverbrauch entsprechend der Prognos-EWI-GWS-Vorhersagen für das Jahr 2020. Bis zum Jahr 2050 steigen die Ladevolumina bei um rund ein Viertel sinkender Gesamtnachfrage auf über 1 Prozent. Abbildung 43 zeigt die Verlaufskurve über den Simulationszeitraum.

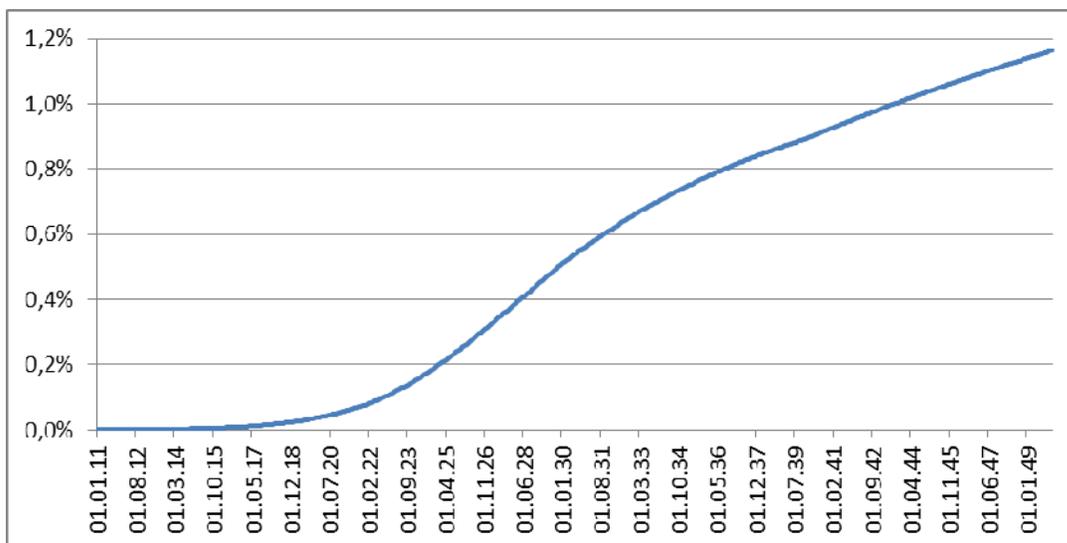


Abbildung 43: Strombedarf durch Netzladen von Elektrofahrzeugen in Prozent der Jahresstromnachfrage

Quelle: MMEM (2011)

Während die absoluten Lademengen relativ gering sind, erfordert das Ladeverhalten von Elektroautos dennoch einen Netzausbau, wie zahlreiche Studien belegen. Das Marktmodell Elektromobilität unternimmt keine desaggregierte Simulation einzelner technischer Aspekte und möglicher Überlastungen des Mittel- und Niederspannungsnetzes, sondern nutzt die Erkenntnisse dieser Studien. Die Kostenabschätzung der Investitionen in die Netzerneuerung wird im Marktmodell auf Basis von Untersuchungen der Energieversorgungsunternehmen RWE und E.ON sowie der RWTH Aachen und der Universität Magdeburg vorgenommen, die auf desaggregiertem Niveau abschätzen, ab welchem Anteil von Elektrofahrzeugen am Gesamtfahrzeugbestand eine Überlastung einzelner Systemkomponenten im Mittel- und Niederspannungsnetz auftritt. Bis auf die RWE-Studie, die von nicht haushaltsüblichen Ladeleistungen in Höhe von 3,7 kW ausgeht, kommen alle Untersuchungen zum Ergebnis, dass frühestens ab einer Marktdurchdringung von 10 Prozent Verbesserungen am Netz notwendig werden.

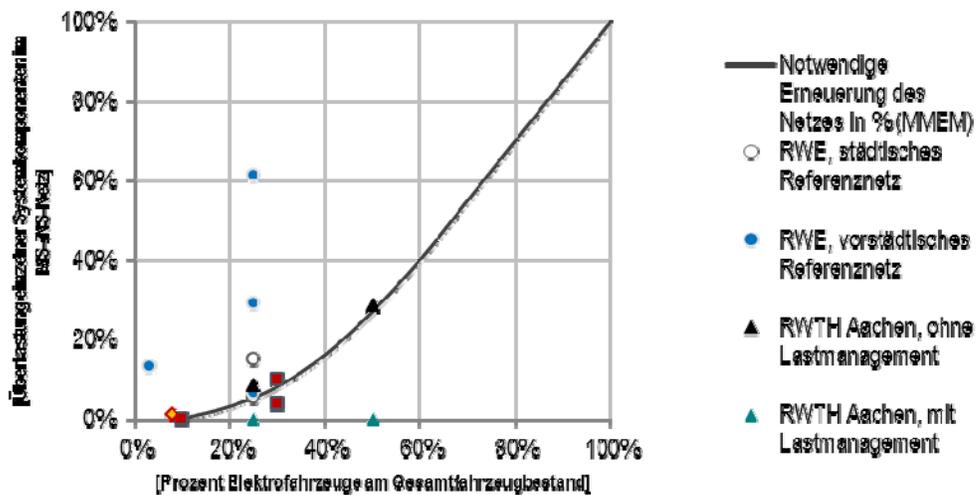


Abbildung 44: Netzverstärkungsbedarf durch Elektroautos

Quelle: MMEM (2011), RWE(2011), RWTH Aachen (2011)

Im MMEM wird die zu erwartende Elektrofahrzeugdichte auf Basis der MiD-Bestandsdaten neun verschiedenen Regionstypen zugeordnet. Im Referenzszenario treten notwendige Erweiterungen und Erneuerungen des Mittel- und Niederspannungsnetzes erst ab 2027 in größerem Umfang auf. Unter Berücksichtigung modellgener Investitionen in ein Smart Grid und den daraus resultierenden Synergien beim Demand Side Management können die rein elektromobilitätsinduzierten Netzinvestitionen später getätigt werden.

Mit zunehmendem Elektrofahrzeugbestand werden jedoch etwa ab dem Jahr 2035 substantielle Investitionen insbesondere im verdichteten, verdichteten Raum und in ländlichen Gebieten höherer Dichte notwendig. Die geringsten Investitionen fallen in den Kernstädten an, da dort im Referenzszenario der hohe Anteil an Laternenparkern für eine geringere Marktdurchdringung sorgt. Bei entsprechender Subvention der kernstädtischen Ladestellen verändern sich jedoch die Anteile deutlich.

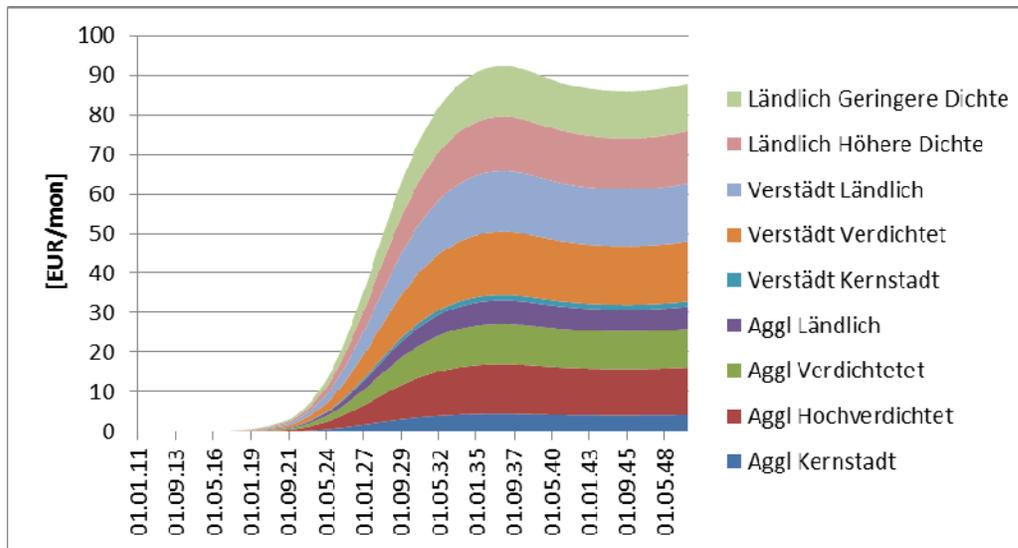


Abbildung 45: Regionstypen und Marktdurchdringung

Quelle: MMEM (2011)

Die elektromobilitätsbedingten Netzinvestitionen müssen jedoch ins Verhältnis gesetzt werden mit den ohnehin fälligen Netzinvestitionen. Hierfür wird im Modell angenommen, dass bei einer Netzlänge von 1.000 km und einer Nutzungsdauer der Kabel von 50 Jahren jährlich im Mittel 20 km Kabel altersbedingt zu ersetzen sind. Unter den Annahmen, dass Kabel typischerweise 60 bis 80 Prozent des Tagesneuwertes eines Mittel- und Niederspannungsverteilungsnetzes darstellen und Netzerneuerung rund 40 bis 50 Euro pro Meter im Niederspannungsnetz und 50 bis 80 Euro pro Meter im Niederspannungsnetz kostet¹², fallen die spezifischen Investitionen für Elektroautos vor allem in der Anfangsphase der Marktdurchdringung relativ gering aus, steigen jedoch ab 2035.

¹² Annahmen basieren auf Informationen von ABB (2006) und E-Bridge Consulting GmbH Kabel (2011), Angaben gelten inkl. Graben für den ländlichen Raum und sind somit für rund 85 Prozent der Verteilung von Autos auf deutsche Haushalte, d.h. ohne Berücksichtigung niedrigerer Kosten für die Kernstädte, repräsentativ.

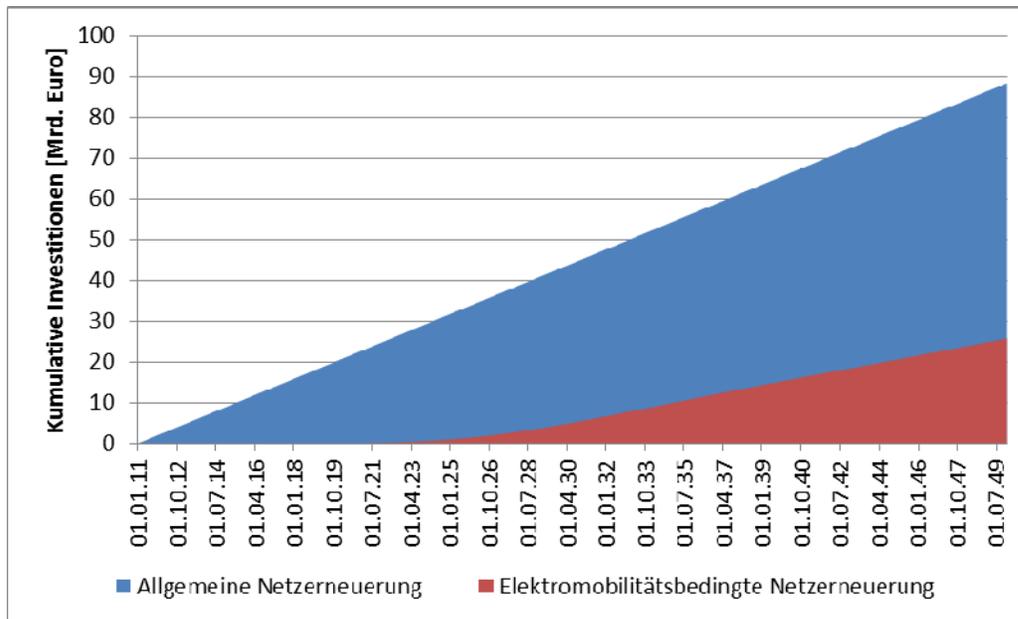


Abbildung 46: Durch Elektromobilität bedingte kumulative Netzinvestition MMEM

Quelle: MMEM (2011)

Durch den Ausbau des Nieder- und Mittelspannungsnetzes zum sog. „Smart Grid“ und die Netzerneuerung aufgrund der zunehmenden Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien ist anzunehmen, dass sich Potentiale zu Synergien zwischen elektromobilitätsbedingten und regulären Netzinvestitionen erschließen lassen. In der Kosten-Nutzen-Analyse des MMEM werden die elektromobilitätsbedingten Kosten für das Netz berechnet und über Netzentgelte sozialisiert.

2.10.2. Ladestellen für Laternenparker

Die sog. „Laternenparker“, d.h. Autohalter ohne privaten Stellplatz, belaufen sich MiD zufolge in Deutschland auf rund 30 Prozent und sind vor allem in den verdichteten Innenstädten anzutreffen. Autokäufer mit bzw. ohne privaten Stellplatz werden in der Nutzenfunktion des MMEM getrennt betrachtet. Im Referenzszenario wird angenommen, dass Laternenparker die laufenden Kosten für einen Stellplatz über eine Nutzungsdauer von 4,5 Jahren sowie die Installationskosten einer Ladeeinheit selbst finanzieren müssen. Entsprechend niedrig liegt die Bereitschaft, ein elektrisch betriebenes Fahrzeug zu erwerben.

Die Stromversorgung der Elektroautos kann über unterschiedliche Schnittstellen mit dem Elektrizitätsnetz erfolgen. Dazu gehören im einfachsten Fall genormte Ladesteckdosen ohne Kommunikations-Rückkopplung mit dem Netzversorger, die im Handel für rund 10 Euro erhältlich sind, bis hin zu Schnellladestationen, deren Preise mit über 40.000 Euro pro Ladestation im Jahr 2011 zu Buche schlagen. Die im MMEM hinterlegten Preise orientieren sich an den in der Arbeitsgruppe „Infrastruktur“ der Nationalen Plattform Elektromobilität erarbeiteten Kosten.

Im Referenzszenario wählen Elektroautohalter die billigste Option, die ihnen zur Verfügung steht. Das Marktmodell Elektromobilität differenziert hier zwischen zwei Käufergruppen: Autohalter mit eigenem Stellplatz und Autohalter ohne verfügbaren privaten Stellplatz, den sog. „Laternenparkern“. Rund 70 Prozent aller deutschen Haushalte mit mindestens einem Kraftfahrzeug verfügen über einen Stellplatz. Allerdings liegt dieser Anteil nur bei etwa 50 Prozent in Kernstädten, auf die immerhin rund 15 Prozent aller deutschen Autohalter entfallen. Hier wohnen vermehrt die von vielen Marktbeobachtern als wichtige Zielgruppe

identifizierten sogenannte LOHAS, besser verdienende Befürworter eines Lifestyles „auf Basis von Gesundheit und Nachhaltigkeit“, die als Innovatoren für die erste Verbreitung von Elektromobilität von entscheidender Bedeutung sein könnten. Bezüglich der Ladeinfrastruktur sind sie aufgrund des urbanen Kontextes gegenüber Autokäufern mit Stellplatz deutlich im Nachteil: Neben den Anschaffungs- und Installationskosten von über 6400 Euro für eine private Ladestelle kommen im Referenzszenario noch monatliche Gebühren zum Mieten des Parkplatzes von rund 40 Euro hinzu. Dies senkt die Attraktivität von Elektroautos in diesem Käufersegment deutlich. Die folgende Abbildung zeigt den Markthochlauf von Elektroautos unter Käufern mit und ohne Stellplatz im Vergleich zu anderen Antriebsarten.

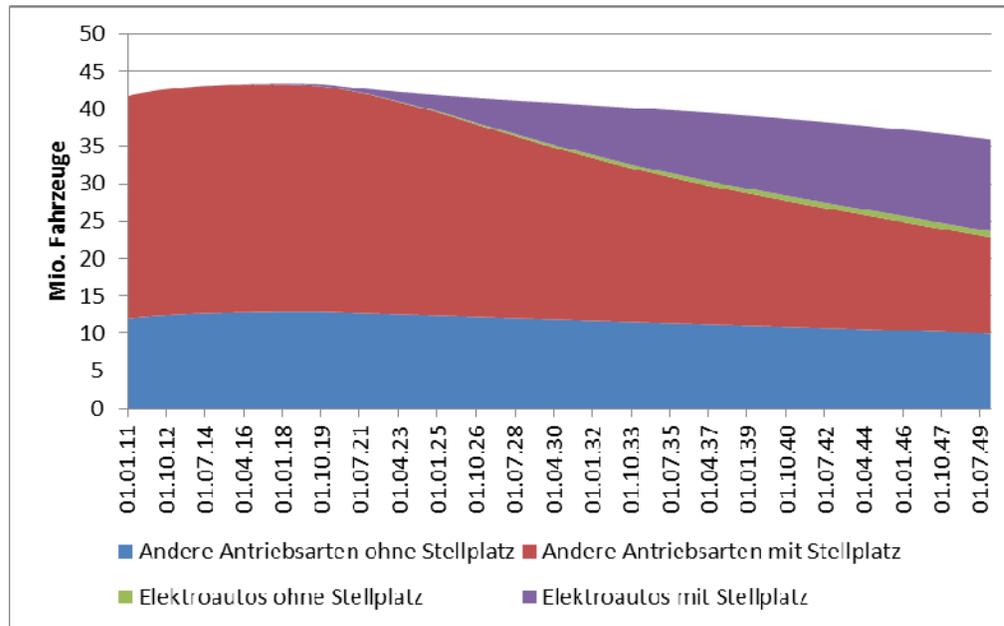


Abbildung 47: Entwicklung der Fahrzeugflotte, Differenzierung nach Autohaltern mit und ohne Stellplatz

Quelle: MMEM (2011)

2.10.3. Politikmaßnahme: Subventionen für Laternenparker

Autokäufer ohne einen privaten Stellplatz haben einen entscheidenden Nachteil gegenüber Autokäufern mit eigener Garage oder Stellplatz am Haus: Sie müssen auf Ladestellen im öffentlichen oder halböffentlichen Raum, etwa Parkhäuser oder Einkaufszentren, zurückgreifen, um ihre Elektroautos nachts zu laden. Dies verursacht Kosten, die, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, im Referenzszenario des Marktmodells von dieser Käufergruppe zu tragen sind. Aufgrund des erhofften Multiplikatoreffekts dieser Zielgruppe, insbesondere in den verdichteten Kernstädten, wird in verschiedenen europäischen Ländern der Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Autokäufer ohne privaten Stellplatz gefördert.

Im Marktmodell Elektromobilität wird überprüft, ob eine geeignete Politikmaßnahme die mangelnde Attraktivität von Elektroautos für Käufer ohne Stellplatz kosteneffizient reduzieren könnte. Dafür werden Kosten für die Geräte und Installation auf 6400 Euro für eine private Ladestelle sowie monatliche Gebühren zum Mieten des Parkplatzes von rund 40 Euro angenommen. Die im MMEM simulierte Fördermaßnahme sieht die volle Subvention dieser Kosten für alle Elektroautokäufer ohne eigenen privaten Stellplatz vor. Der Förderzeitraum ist von 2012 bis 2020.

Die Analyse legt nahe, dass eine solche Förderstrategie zwar den Bestand an Elektrofahrzeugen erhöht, aber vergleichsweise teuer ist:

- Durch die Subvention gibt es im Jahr 2020 rund 100.000 zusätzliche Elektrofahrzeuge mehr als im Referenzszenario, da jetzt auch für die 30 Prozent der privaten Haushalte ohne Stellplatz Elektrofahrzeuge attraktiv werden.
- Die direkten Gesamtkosten der Subvention für den Staat belaufen sich auf €455 Millionen.
- Die Hersteller der Ladeinfrastruktur profitieren direkt von einer solchen Maßnahme.
- Während sich die Konsumentenwohlfahrt beim Fahrzeugkauf erhöht, ergeben sich für den Staat neben den direkten Kosten der Maßnahme auch Verluste im Steuereinkommen bei Mineral- und Umsatzsteuer. Hingegen reduzieren sich durch die Maßnahme die Kohlendioxidemissionen und andere Umweltschäden.

Die Ergebnisse der Simulation bestätigen, dass die Subvention einer Ladeinfrastruktur für Laternenparker innerhalb eines möglichen Maßnahmenpakets nicht das kosteneffizienteste Politikinstrument zur Förderung von Elektromobilität ist. Das Ergebnis weist die Maßnahme zwar als hilfreich für jene Kundengruppe aus, die ansonsten nur schwer vom Kauf eines Elektroautos zu überzeugen wäre. Die Kosten übersteigen jedoch den gesamtgesellschaftlichen Nutzen. Darüber hinaus finden sich gerade innerhalb des urbanen, technikaffinen und ökologisch orientierten Teils dieser Zielgruppe genügend Innovatoren, die sich durch die Zusatzkosten für Stellplatz und Geräte nicht von der Anschaffung eines Elektroautos abhalten lassen. So prognostiziert das Referenzszenario, dass bis Ende des Jahre 2020 über 25.000 Elektroautos an Käufer ohne privaten Stellplatz verkauft werden - trotz aller finanziellen Nachteile.

2.10.4. Schnellladestationen

Rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge bedürfen einer Infrastruktur, die das Laden unterwegs ermöglicht - ansonsten müssten Fahrer mit dieser Antriebstechnologie lange Wartezeiten in Kauf nehmen, bis ihre Batterien wieder vollständig geladen sind, sobald sie längere Strecken zurücklegen. Erste Schnellladestationen befinden sich derzeit im Aufbau, aber hohe Installationskosten und die in bisherigen Fahrzeugen noch nicht optimale Wechselwirkung zwischen Batteriechemie und Schnellladung verzögern eine rasche Ausbreitung.

Im MEM wird der Ausbau an autonomen Schnellladestationen prognostiziert; dafür wird die Ladenotwendigkeit rein elektrisch betriebener Fahrzeuge entsprechend der MID-Wegearten zugrunde gelegt. Über eine positive Rückkopplungsfunktion ist die Tankstellendichte für diesen Fahrzeugtyp in die Nutzenfunktion des Modells integriert.

Die Rentabilität einer Schnellladestation wird mit Hilfe der Barwertmethode (Net Present Value) kalkuliert. Sobald ein positiver Barwert, das heißt die diskontierte Summe aller Ausgaben, inklusive der Installationskosten und der laufenden Ausgaben, erreicht wird, entsteht eine neue Schnellladestation. Bei angenommenen Installationskosten von über 40.000 Euro ist dies praktisch niemals der Fall. Vereinfachend wird angenommen, dass die nächstbilligere Variante, der Vorläufer künftiger Schnellladestationen mit langsameren Ladevorgängen von rund 20 bis 30 Minuten, für insgesamt rund 15.000 Euro Installations- und Gerätekosten für die Ladevorgänge unterwegs ausreichend ist. Die betriebswirtschaftliche Ausrichtung der Berechnung sieht eine „Stand-Alone“-Profitabilität vor, das heißt kombinierte Geschäftsmodelle, wie etwa die Installation einer Schnellladestation als Zusatzservice in Einkaufszentren, Restaurants oder an konventionellen Tankstellen, werden nicht weiter verfolgt.

Unter dieser Annahme gewinnt der Zubau von profitabel operierenden Schnellladestationen im Referenzszenario nur langsam an Fahrt. Im Jahr 2020 könnten der Prognose des Marktmodells zufolge rund 220 Stationen ohne Verluste betrieben werden - vorausgesetzt, sie siedeln sich in Regionen mit ausreichender Dichte an Elektroautos an. Das Modell bestätigt damit die vielfach geäußerte Ansicht, dass Privatinvestitionen

in eine öffentliche Schnellladeinfrastruktur derzeit kein tragfähiges eigenständiges Geschäftsmodell haben und auch mittelfristig keines haben werden.

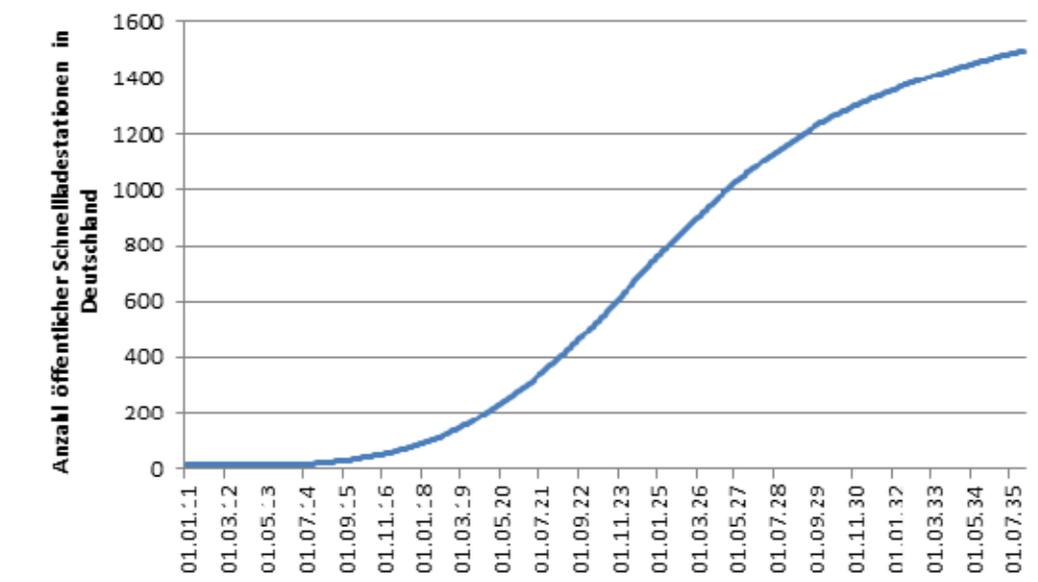


Abbildung 48: Anzahl vom Markt hervorgebrachter Schnellladestationen

Quelle: MMEM (2011)

2.10.5. Politikfolgenanalyse: Subvention von Schnellladestationen

Im Marktmodell Elektromobilität wird mit Hilfe einer betriebswirtschaftlichen Barwertberechnung der Ausbau an autonomen Schnellladestationen prognostiziert. Mit dem Modell ist es zudem möglich, den Effekt einer Subvention für Schnellladestationen abzubilden. Ziel einer solchen Maßnahme wäre es, die Abdeckung mit Schnellladestationen zu erhöhen und so den derzeitigen Nachteil für rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge zu reduzieren. Dazu wird beispielhaft angenommen, dass jede neu eröffnete, zusätzliche Ladestation zwischen 2012 und 2020 einen Zuschuss von 5000 Euro erhält, der die Investitionskosten reduziert und die Gewinnschwelle senkt. Die Maßnahme ist auf insgesamt 200 Millionen Euro begrenzt.

In Folge der Politikmaßnahme fahren im Jahr 2020 rund 3.000 Elektrofahrzeuge mehr auf Deutschlands Straßen als ohne die Subvention der Schnellladestellen. Es handelt sich demnach um ein Instrument, das nur wenige Autokäufer davon überzeugt, sich für ein rein batterieelektrisch betriebenes Fahrzeug zu entscheiden. Die Kosten-Nutzen-Analyse zeigt, dass die direkten Kosten der Maßnahme durch positive Effekte in der Konsumentenwohlfahrt und im Steuereinkommen kompensiert werden - allerdings erscheint das Instrument wenig geeignet, eine größere Marktdurchdringung zu erzielen.

2.10.6. Netzintegration und Teilnahme am Regelenergiemarkt

Während das Laden an Schnellladestationen nur zum Zweck eines möglichst raschen Auffüllens der Batterie dient, können Elektroautos, die mit einer Steckdose zu Hause oder bei der Arbeit verbunden sind, zu aktiven Teilnehmern im Strommarkt werden. So kann beispielsweise die Batterie von Elektroautos genutzt werden, um Schwankungen im Elektrizitätsbedarf auszugleichen: Zu Spitzenlastzeiten können ans Netz angeschlossene Batterien Elektrizität an das Stromnetz abgeben, während bei niedriger Nachfrage und überschüssigem

Angebot, etwa durch starke Einspeisung von Strom aus Windkraftanlagen, die Fahrzeugbatterie als Speicher dienen kann. Zudem können Elektroautos ihre Batteriekapazitäten zur Stabilisierung des Netzes bereitstellen. Der Beitrag eines individuellen Fahrzeugs ist, insbesondere bei der Ein- bzw. Rückspeisung, verhältnismäßig gering, in der Summe aller Fahrzeuge kann jedoch mittel- bis langfristig ein deutlicher Nutzen durch diese Funktionalität entstehen. Die bisherigen Anbieter alternativer Speichermöglichkeiten und Kraftwerksbetreiber, die Regelleistung bereitstellen, etwa Pumpspeicherkraftwerke, werden sich stärkerem Wettbewerb ausgesetzt sehen.

Dies ist insbesondere im sekundären Markt für Regelleistung der Fall und sollte zu insgesamt niedrigeren Strompreisen führen, von denen alle Endkunden profitieren. Allerdings sind in Deutschland die Preise für positive und negative Minutenreserve innerhalb der letzten zwei Jahre schon deutlich gefallen, so dass sich die Erschließung neuen Einkommens für Elektroautohalter auf rund 35 Euro pro kW und Jahr für negative Minutenreserve und 10 Euro pro kW und Jahr für positive Minutenreserve bei ununterbrochener Bereitstellung beschränken würden, auf Basis der durchschnittlichen Preise des Jahres 2010. Unter der Annahme, dass eine Haushaltssteckdose mit normaler Spannung zur Verfügung steht, könnten sich bei Durchschnittspreisen des Jahres 2010 rund 170 Euro Mehreinnahmen pro Jahr erzielen lassen. Allerdings ist die Annahme einer kontinuierlichen Netzverfügbarkeit von Elektroautos antagonistisch zum eigentlichen Zweck des Fahrzeugs als Fortbewegungsmittel. Die Auswertung der Daten von Mobilität in Deutschland hat für das Marktmodell Elektromobilität im Wochenverlauf gezeigt, dass zwischen 25 Prozent (sonntags) und 38 Prozent (werktags) aller Autos überhaupt nur für Fahrten genutzt werden. Von den Autohaltern, die mit ihrem Auto im Tagesverlauf unterwegs sind, lässt noch einmal ein Anteil von maximal 40 Prozent das Fahrzeug am Arbeitsplatz ungenutzt stehen. Die folgende Abbildung zeigt den Anteil nicht mobiler Pkws im Wochenverlauf.

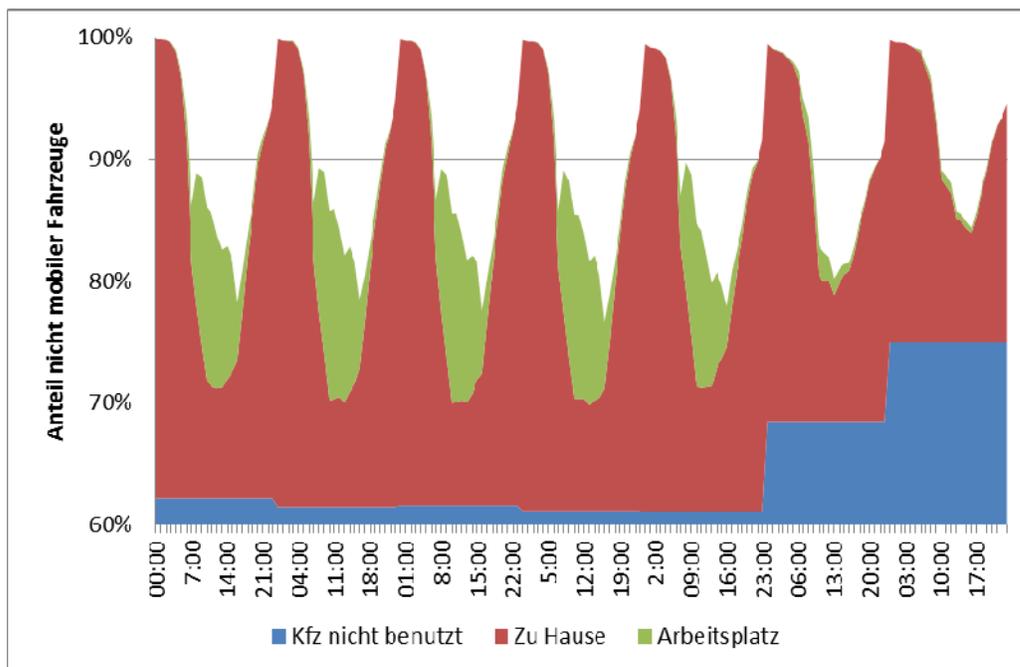


Abbildung 49: Anteil nicht mobiler Elektrofahrzeuge

Quelle: MEM (2011)

Für andere in Mobilität in Deutschland beobachtete Fahrten, etwa Freizeitausflüge und Besorgungen, wird im Marktmodell angenommen, dass auch bei längeren Aufenthalten am Zielort keine Netzanbindung zur Verfügung steht. Insgesamt ergibt sich daraus eine durchschnittliche wöchentliche Verfügbarkeit von rund 86 Prozent ohne Netzanchluss am Arbeitsplatz und knapp 90 Prozent mit Netzanbindung am Arbeitsplatz - vorausgesetzt,

der Autohalter ist willens, das Fahrzeug selbst bei aufgeladener Batterie ans Netz anzuschließen. Die Einkünfte aus der Regelleistung reduzieren sich entsprechend durchschnittlich auf 150 Euro pro Jahr mit Netzanschluss am Arbeitsplatz unter der Annahme konstanter Preise auf Basis des Jahres 2010.

Einschränkend kommt hinzu, dass bisher die Teilnahme am Markt für Minutenreserve auf Einheiten von mehr als 15 MW beschränkt ist und in Vierstundenintervallen über den Tagesverlauf organisiert werden muss. Folglich müssten bei einem gewöhnlichen Haushaltsanschluss über 4.500 Fahrzeuge und bei einem Drehstrom-Anschluss mit Anschlusswert 10 kW immer noch 1.500 Fahrzeuge koordiniert werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich mit dem Aufkommen von sog. Virtuellen Kraftwerken, d.h. dem Zusammenschluss kleinerer Einheiten wie Blockheizkraftwerken oder unterbrechbarer Verbrauchseinheiten wie Kühlhäusern, der Markt dynamisiert und sich die Untergrenzen für die Teilnahme am Regelenenergiemarkt zugunsten von Elektroautos verschieben. Die Koordination der Elektroautos bedarf eines „Aggregators“, der Einbau und die Einrichtung der Steuerung zu Hause oder am Arbeitsplatz übernimmt und dem Signalkosten und weitere Fixkosten (Miete, Büroausstattung, Börsenzulassung, Händlerdesk) entstehen. Wiechmann (2008) schätzt in einer Beispielrechnung für unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen mit einer durchschnittlichen Anlagengröße von 20 kW diese Kosten auf rund 24 Euro pro Jahr und Anlage¹³. Im Marktmodell Elektromobilität bleiben, abzüglich dieser notwendigen Transaktionskosten und unter konstanten Preisen auf dem Markt für positive und negative Minutenreserve, dem durchschnittlichen Autohalter zwischen 120 und 130 Euro pro Jahr an Zusatzeinnahmen - vorausgesetzt, er oder sie entscheidet sich für eine Teilnahme an einem solchen Geschäftsmodell.

Das Marktmodell Elektromobilität bildet eine weitere Charakteristik der Interaktion zwischen Netz und Elektroautos stundengenau ab, die nutzer- bzw. netzgesteuerte Aufladung der Batterien.

Im Referenzszenario des Modells beginnen Autohalter nutzergesteuerte, d.h. unkoordinierte Ladevorgänge, sobald sie abends zu Hause ankommen - es existiert also keine Koordination. Bis zum nächsten Morgen um 6 Uhr sind alle Batterien wieder vollständig aufgeladen. Mehrere Alternativszenarien zu nutzergesteuertem Laden stehen zur Verfügung und können simuliert werden, u.a. die (Selbst-)Verpflichtung der Arbeitgeber zur Bereitstellung der Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz. In diesem Szenario erfolgt die Ladung sowohl bei Ankunft zu Hause (auch tagsüber) wie auch am Arbeitsplatz; alle Batterien sind bis Arbeitsschluss bzw. bis zum nächsten Morgen um 6 Uhr wieder vollständig aufgeladen. Darüber hinaus wird ein Szenario zu unkoordinierter, Einspeisung von dezentral erzeugtem Solarstrom berechnet, das lokale Erzeugungsspitzen nutzt und, sofern keine überschüssige PV-Energie vorhanden ist, unkoordiniert den Strom aus dem Netz zieht.

Alternativ zu den Szenarien zum nutzergesteuerten Ladeverhalten wird bei netzgesteuertem Ladeverhalten die Emissionsbilanz von Elektroautos optimiert. Als Vorteile netzgesteuerten Ladens können gelten, dass das Nieder- und Mittelspannungsnetz besser vor Überlastung geschützt werden kann und die Ladevorgänge der Elektroautos ihre in Zeiten mit überschüssiger Windenergie oder Solarenergie verschoben werden können. Zudem können die Zeitintervalle derart koordiniert werden, dass in einem Zeitintervall Ladevorgänge verschoben werden, so dass bei einem variierenden, der allgemeinen Nachfrage folgenden Erzeugungsmix möglichst emissionsarmer Strom geladen wird. In Stunden, in denen beispielsweise ein Kohlekraftwerk zur Deckung der zusätzlichen Nachfrage durch Elektroautos zum Einsatz käme, kann die Energiezufuhr entsprechend der Ladebedürfnisse partiell verringert und in Intervalle gerückt werden, in denen der Bedarf mit Strom aus Gaskraftwerken oder Pumpspeicherkraftwerken (sofern diese Kraftwerke mit überschüssigen erneuerbaren Energien betrieben werden) gedeckt werden kann.

Die folgende Abbildung zeigt eine Beispielwoche aus dem Jahr 2015. Das Referenzszenario (rote Farbgebung) hat den Ladehöhepunkt bei unkoordinierter Ladung in den frühen Abendstunden, während die blauen Felder die Ladevolumina repräsentieren, wenn auch bei der Arbeit und zwischenzeitlich tagsüber geladen werden

¹³ Wiechmann (2008), Neue Betriebsführungsstrategien für unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen, S. 105ff.

kann. Es ergibt sich während der Werktage ein charakteristischer Morgenpeak. Die Fläche, d.h. das Ladevolumen, vergrößert sich gegenüber dem Referenzszenario, weil insbesondere Plugin-Hybride bis zur nächsten Lademöglichkeit kürzere Strecken zurücklegen und sich damit der elektrische Fahranteil gegenüber konventionellen Kraftstoffe erhöht. Im Referenzszenario sind Ladeverschiebungen zugunsten überschüssiger erneuerbarer Energie bzw. von Intervallen mit hohen spezifischen Emissionen der eingesetzten Kraftwerke zu Intervallen mit niedrigeren spezifischen Emissionen zwar vorhanden, aber relativ begrenzt (violette Felder), während schon bei größerer Flexibilität der Umschichtung der Ladeintervalle durch Laden am Arbeitsplatz und tagsüber zu Hause durchaus größere Potentiale ergeben.

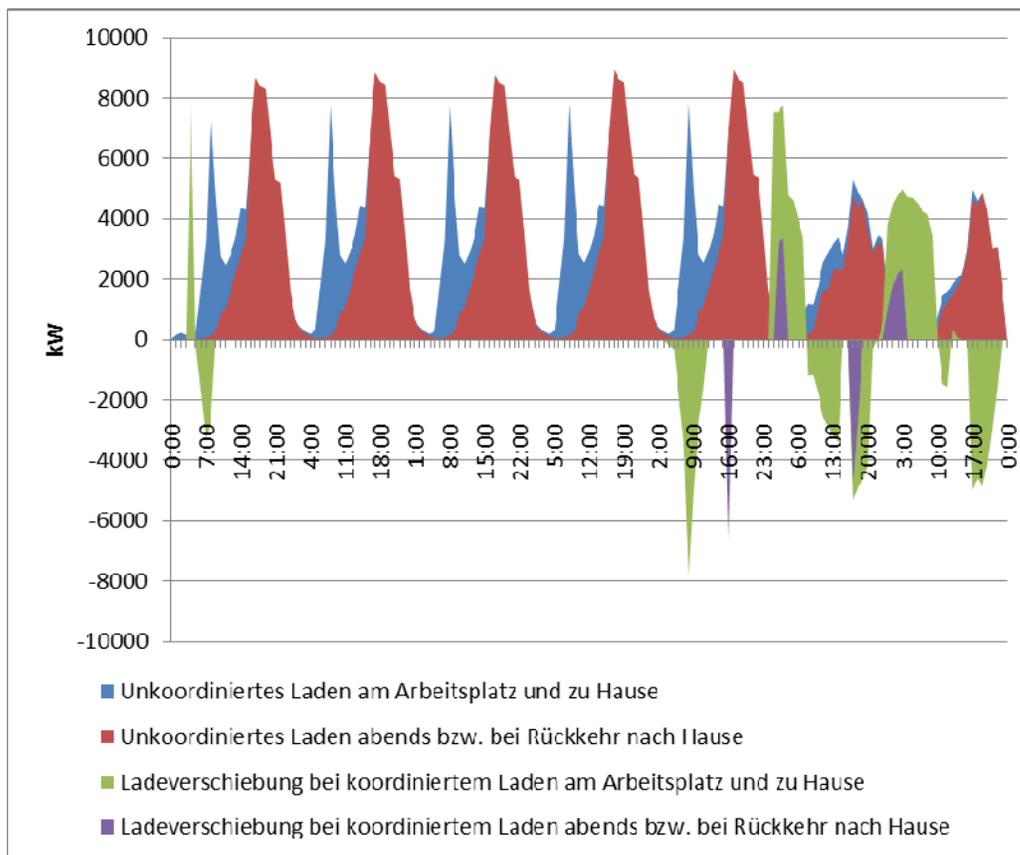


Abbildung 50: Koordiniertes und unkoordiniertes Ladeverhalten der Elektrofahrzeugflotte (April 2020)

Quelle: MMEM (2011)

Ladeverschiebungen treten in den Szenarienberechnungen vermehrt gegen Ende der Woche und an Wochenenden auf, da durch eine insgesamt geringere Nachfrage häufiger überschüssige Energie aus Windparks zur Verfügung steht.

Die Reduzierung der durchschnittlichen Emissionen kann, entsprechend der Zusammensetzung des Kraftwerksparks und der zur Nachfrage der Elektroautos eingesetzten Energien, auf bis zu 10g/km ansteigen. Gerade in diesem Jahrzehnt treten durch den relativ großen Anteil an Must-Run-Kraftwerken - dazu gehören u.a. Kernkraft und Braunkohle - relativ häufig Optimierungsoptionen auf, in denen überschüssige Windenergie gewinnbringend eingesetzt werden kann. Im Zeitraum ab 2035 gibt es ebenfalls ein deutliches Potential durch den Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken, Biomasse und geothermischen Anlagen.

Die Herausforderung für die Politik besteht darin, ein geeignetes Instrument zu etablieren, das die Autohalter zur Bereitstellung von Minutenreserve als auch zur Optimierung der Ladevorgänge incentiviert. Die

Wechselwirkungen zwischen Elektrofahrzeugen und dem Elektrizitätssektor zeigen Netzwerkeffekte. Der Nutzen für alle Akteure steigt mit einer höheren Anzahl von Elektroautos, weil sich die Transaktions- und Koordinationskosten verringern und Innovationen sowohl auf technischer wie betriebswirtschaftlicher Ebene verstärkt auftreten. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen steigt mit der Anzahl der Elektroautos, die zur Verfügung stehen. Im Umkehrschluss bedeutet dieser Netzwerkeffekt, dass insbesondere in den Anfangsjahren (bei niedrigen Elektrofahrzeugbestand) die positiven Effekte von Netzdienstleistungen gering sein werden und nicht ausreichend von Marktteilnehmern berücksichtigt werden. Das könnte auf Seite der Netzbetreiber dazu führen, dass entsprechende Investitionen nur langsam getätigt werden. Auf der Seite der Elektrofahrzeugbesitzer würden beispielsweise niedrigere Fahrstrompreise, die den Effekt der Netzdienstleistungen berücksichtigen, nur allmählich realisiert. Der positive Rückkopplungseffekt aus Netzwerkeffekten auf Strompreis, Verbrauchskosten und der Anzahl von Elektrofahrzeugen wird nicht vollständig realisiert.

Ansätze zu einer Operationalisierung von Politikmaßnahmen der netzgesteuerten Ladung finden sich beispielsweise im sog. „Stetigkeitsanreiz“. Der Stetigkeitsanreiz könnte beispielsweise eine Zahlung von 0,01 Euro für jedes kW und jede Stunde, die ein Elektroauto am Netz angeschlossen ist, beinhalten. Berechnungen mit dem MMEM zeigen, dass unter diesem Anreizsystem selbst bei einem Anschluss ohne Drehstrom die Kompensation eines durchschnittlichen Elektroautohalters bis zu 250 Euro pro Jahr betragen könnte. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf, um in der Kosten-Nutzen-Betrachtung eine differenziertere Repräsentation des tatsächlichen Nutzens, sowohl für Netzdienstleistungen als auch für Gesellschaft und Umwelt, zu ermöglichen.

2.11. Instrumente 2040: Effizienter Klimaschutz

Das Referenzszenario zeigt, dass mit einem Emissionsstandard von 95g/km bereits signifikante Optimierungen und eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs vorgenommen werden und damit eine langfristige Reduktion der jährlichen Emissionen von CO₂ um 50 Prozent erreicht werden kann. Dies wird vor allem dadurch erreicht, dass immer mehr effiziente Fahrzeuge einschließlich Elektrofahrzeuge in die Flotte gelangen und ineffiziente Fahrzeuge ausscheiden. 15 Jahre nach dem Gelten der 95g - Regelung in 2020 werden nur noch wenige ältere Fahrzeuge in der Flotte fahren.

Für eine langfristig erfolgreiche Klimapolitik ist die Frage, wie die Emissionsreduktionsziele wirtschaftlich zu erreichen sind, von großer Relevanz.

Ein erstes Indiz gibt die Simulation verschiedener langfristiger Standardsetzungen mit dem MMEM.

2.11.1. CAFE 40 vs CAFE 60

Hinterlegt wurde eine lineare Verschärfung der Flottenemissionsstandards von 95g in 2020 auf 40g beziehungsweise 60g in 2040. Das vorrangige Ziel der Betrachtung ist es, die beiden Ausprägungen der verschärften Standards miteinander zu vergleichen.

Die Regulierungsstrategie erhöht den Bestand an Elektrofahrzeugen nachhaltig

Dieser Befund gilt gleichermaßen für beide Standards bis 2040, wobei ein schärferer Standard einen stärkeren Anstieg der Elektrofahrzeuganteile im Markt bewirkt. Dabei ist allerdings zu bemerken, dass ein Standard von 40g zu einer sichtbaren Abnahme der Gesamtnachfrage führt. Dies verdeutlicht sich auch in der Kosten-Nutzen-

Analyse, die jetzt zum Vergleich herangezogen werden soll. Der Betrachtungszeitraum ist in beiden Fällen 2012 bis 2050.

Die Kosten der Politikmaßnahme übersteigen deren Nutzen

(1) Beide Maßnahmen verursachen gesamtgesellschaftliche Kosten, allerdings in sehr unterschiedlicher Höhe. Ein Standard von 60g verursacht Kosten von knapp €4 Milliarden, ein Standard von 40g verursacht Kosten von etwa €27 Milliarden (die Nummerierungen im Text entsprechen den einzelnen Effekten in der Abbildung):

In einer detaillierten Betrachtung der wesentlichen Effekte werden die Ursachen dieser Unterschiede deutlich.

Die Politikmaßnahmen unterscheiden sich in ihrem Nutzen für die Konsumenten

(2) Die Konsumenten profitieren im Fall der 60g-Standards (25 Mrd. Euro Vorteil) und verlieren im Fall der noch schärferen Standards (€1 Milliarde Nachteil)

(3) Der maßgebliche Unterschied entsteht im Wechselspiel zwischen Anschaffungs- und Treibstoffkosten. Im Falle der 40g-Standards werden zwar ca. €9 Milliarden. mehr Treibstoffkosten gespart, die Anschaffungskosten für effizientere Technologie übersteigen aber die des weniger strikten Szenarios um mehr als €26 Milliarden.

(4) Auch die Netzausbauinvestitionen unterscheiden sich um €10 Milliarden. Es entstehen höhere Kosten im Falle der strengen Regulierung, da verstärktes elektrisches Fahren erwirkt wird.

Produzenten Kosten-Nutzen Bilanz in beiden Fällen leicht positiv

(5) Für die Produzenten erwarten wir im Vergleich moderate Effekte. Insgesamt ergibt sich ein Netto-Nutzen, den wir mit circa €1,5 Milliarden bewerten, durch einen Standard von 40g. Der positive Effekt durch den leicht abgeschwächten Standard ist in etwa doppelt so groß.

Staat hat erhebliche Kosten durch Steuerausfall

(6) Für den Staat ergeben sich insgesamt Netto-Kosten in der Höhe €37 Milliarden im Zeitraum 2012-2050 für einen Flottenemissionsstandard von 40g. Der im Vergleich leicht schwächere Standard verursacht ähnliche Kosten in Höhe von €39 Milliarden.

(7) Ein entscheidender Unterschied entsteht durch den Umstand, dass im 40g-Fall die Produzenten durch technologische Barrieren nicht mehr in der Lage sind, die Standards zu erfüllen. Dies verursacht auf Seiten der Konsumenten einen Kaufpreinachteile, der sich nicht durch Effizienzvorteile ausgleicht. Eine sehr scharfe Regulierung erhöht zwar weiter den Durchsatz der Flotte mit Elektrofahrzeugen, ist aber für Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb wirkungslos in Punkto Effizienzsteigerung und daher auch insgesamt ineffizienter, da sie die Kosten für Mobilität erhöht und die Gesamtnachfrage senkt.

(8) Die strengere der beiden Regulierungen verursacht höhere Ausfälle bei der Mineralölsteuer und den Kfz-Steuereinnahmen. Die Summe der Differenzen beträgt €13 Milliarden.

Bereich	Stakeholdergruppe						Rest der Welt (kein Bestandteil der inländischen Kosten-Nutzen Bilanz)				
	Konsumenten	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Produzenten	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Staat	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Umwelt	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Rest der Welt	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	
Fahrzeugkauf Treibstoffausgaben 3	Konsumentenwohlfahrt Fahrzeugkauf	- 76.260 €	Produzentenrente Fahrzeugkauf	4.124 €	Direkte Kosten der Politikmaßnahme	- €			Produzentenwohlfahrt Fahrzeugkauf (Ausland)	27.863 €	
	Konsumentenwohlfahrt Treibstoffkosten	66.703 €	Produzentenrente Treibstoffherstellung und Vertrieb	- 110.9 €	Steuereinkommen Mineralölsteuer	8	31.000 €	CO2 Umweltschaden	10.076 €	Produzentenwohlfahrt Treibstoff (Ausland)	- 41.003 €
			Produzentenrente Elektrizitäts herstellung und Vertrieb	68,6 €	Steuereinkommen Energiesteuer		610 €	Andere Umweltschäden	19,9 €		
			CO2 Vermeidungskosten Elektrifizierungssektor	- 88,6 €	Regulierung 44% Stratzahlungen	7	15,28 €				
Kfz-Steuer	Kfz Steuerzahlungen	18,784 €			Kfz-Steuererlöse	8	18,784 €				
Infrastruktur 4	Ausgaben für Ladestationen	- 4.800 €	Bereitstellung Ladestationen	424 €							
	Netzausbau Investitionen	- 12.633 €	Netzausbau Investitionen	1.200 €							
Politikkosten	Schattenkosten durch Staatsausgaben	1.188 €	Schattenkosten durch Staatsausgaben	7.012 €	Einnahmen Umsatzsteuer	-	1.780 €				
Gesamt Nettogegenwerts-wert Stakeholder	Gesamt Nettogegenwerts-wert Konsumenten	2	Gesamt Nettogegenwerts-wert Produzenten	5	Gesamt Nettogegenwerts-wert Staat	6	37.269 €	Gesamt Nettogegenwerts-wert Umwelt	9	Gesamt Nettogegenwerts-wert Rest der Welt	13.150 €
Gesamt Nettogegenwerts-wert der Politikmaßnahme	-	1									
Bilanz inklusive Rest der Welt	-	26,119 €		1,613 €				11,965 €		- 13,150 €	

Abbildung 51: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „40g in 2040“

Quelle: MMEM (2011)

Bereich	Stakeholdergruppe						Rest der Welt (kein Bestandteil der inländischen Kosten-Nutzen Bilanz)				
	Konsumenten	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Produzenten	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Staat	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Umwelt	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	Rest der Welt	Nettgegenwerts-wert in Mio. €	
Fahrzeugkauf Treibstoffausgaben 3	Konsumentenwohlfahrt Fahrzeugkauf	- 49.109 €	Produzentenrente Fahrzeugkauf	2.507 €	Direkte Kosten der Politikmaßnahme	- €			Produzentenwohlfahrt Fahrzeugkauf (Ausland)	20.343 €	
	Konsumentenwohlfahrt Treibstoffkosten	51.009 €	Produzentenrente Treibstoffherstellung und Vertrieb	- 7.479 €	Steuereinkommen Mineralölsteuer	8	21.007 €	CO2 Umweltschaden	6.110 €	Produzentenwohlfahrt Treibstoff (Ausland)	- 27.145 €
			Produzentenrente Elektrizitäts herstellung und Vertrieb	50 €	Steuereinkommen Energiesteuer		111 €	Andere Umweltschäden	150 €		
			CO2 Vermeidungskosten Elektrifizierungssektor	- 222 €	Regulierung 44% Stratzahlungen	7	424 €				
Kfz-Steuer	Kfz Steuerzahlungen	15,825 €			Kfz Steuererlöse	8	15,825 €				
Infrastruktur 4	Ausgaben für Ladestationen	- 1.051 €	Bereitstellung Ladestationen	90 €							
	Netzausbau Investitionen	- 2.905 €	Netzausbau Investitionen	207 €							
Politikkosten	Schattenkosten durch Staatsausgaben	4.476 €	Schattenkosten durch Staatsausgaben	7.451 €	Einnahmen Umsatzsteuer	-	3.207 €				
Gesamt Nettogegenwerts-wert Stakeholder	Gesamt Nettogegenwerts-wert Konsumenten	2	Gesamt Nettogegenwerts-wert Produzenten	5	Gesamt Nettogegenwerts-wert Staat	6	39.608 €	Gesamt Nettogegenwerts-wert Umwelt	9	Gesamt Nettogegenwerts-wert Rest der Welt	6.788 €
Gesamt Nettogegenwerts-wert der Politikmaßnahme	-	1									
Bilanz inklusive Rest der Welt	-	3,424 €		2,880 €				8,429 €		- 6,788 €	

Abbildung 52: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „60g in 2040“

Quelle: MMEM (2011)

2.11.2. CAFE 110

Die Gegenprobe zeigt, dass im Vergleich zum Referenzszenario „95g“ bei einer Lockerung des Flottenemissionsstandards auf 110g ab 2020 alle Interessensgruppen außer dem Staat und den Ölexporteuren verlieren. Der Staat verzeichnet massive Mehreinnahmen über Mineralölsteuer, während die Konsumenten und Produzenten massive Verluste hinnehmen müssen - die Konsumenten über die entgangene Wohlfahrt aufgrund geringerer Treibstoffeffizienz, die Produzenten über die entgangenen Margen hocheffizienter Fahrzeuge.

Million € (2011 prices)										
Bereich	Stakeholdergruppe							Rest der Welt (kein Bestandteil der inländischen Kosten-Netzen Bilanz)		
	Konsumenten	Nettgegenwert in Mio. I	Produzenten	Nettgegenwert in Mio. I	Staat	Nettgegenwert in Mio. I	Umwelt	Nettgegenwert in Mio. I	Rest der Welt	Nettgegenwert in Mio. I
Fahrzeugkauf	Konsumentenwohlfahrt Fahrzeugkauf	23.505	Produzentenrente Fahrzeugkauf	634	Direkte Kosten der Politikmaßnahme	-			Produzentenwohlfahrt Fahrzeugkauf (Ausland)	10.107
Treibstoffausgaben	Konsumentenwohlfahrt Treibstoffkosten	34.841	Produzentenrente Treibstoffherstellung und Vertrieb	4.332	Steuereinkommen Mineralölsteuer	12.626	CO2 Umweltschaden	4.133	Produzentenwohlfahrt Treibstoff (Ausland)	15.544
			Produzentenrente Elektrizitätsherstellung und Vertrieb	49	Steuereinkommen Energiesteuer	45	Andere Umweltschäden	765		
			CO2 Vermeidungskosten Elektrizitätssektor	66	Regulierung 443 Strafzahlungen	0				
Kfz-Steuer	Kfz-Steuerzahlungen	10.384			Kfz-Steuererträge	10.384				
Infrastruktur	Ausgaben für Ladestationen	136	Bereitstellung Ladestationen	12						
	Netzausbauinvestitionen	367	Netzausbauinvestitionen	35						
Politikkosten	Schattenkosten durch Staatsausgaben	3.080	Schattenkosten durch Staatsausgaben	5.184	Einnahmen Umsatzsteuer	4.432				
Gesamt Nettogegenwert Stakeholder	Gesamt Nettogegenwert Konsumenten	25.303	Gesamt Nettogegenwert Produzenten	4.56	Gesamt Nettogegenwert Staat	27.547	Gesamt Nettogegenwert Umwelt	4.905	Gesamt Nettogegenwert Rest der Welt	5.438
Gesamt Nettogegenwert der Politikmaßnahme		4.116								
Bilanz inklusive Rest der Welt		1.322								

Abbildung 53: Ausgabematrix Wohlfahrtsanalyse MMEM „110g in 2020“

2.11.3. Beitrag der Instrumente zur Emissionsreduktion

Ein Vergleich der Emissionsreduktionsszenarien zeigt, dass der Unterschied in den Flottenemissionsstandards vor allem über den Zeitverlauf durch den Ersatz der Altfahrzeuge erzielt wird.

Bereits das Erreichen der 95g in 2020 in der Neuwagenflotte führt zu einer signifikanten Emissionsreduktion (und einem hohen Anteil an Elektrofahrzeugen).

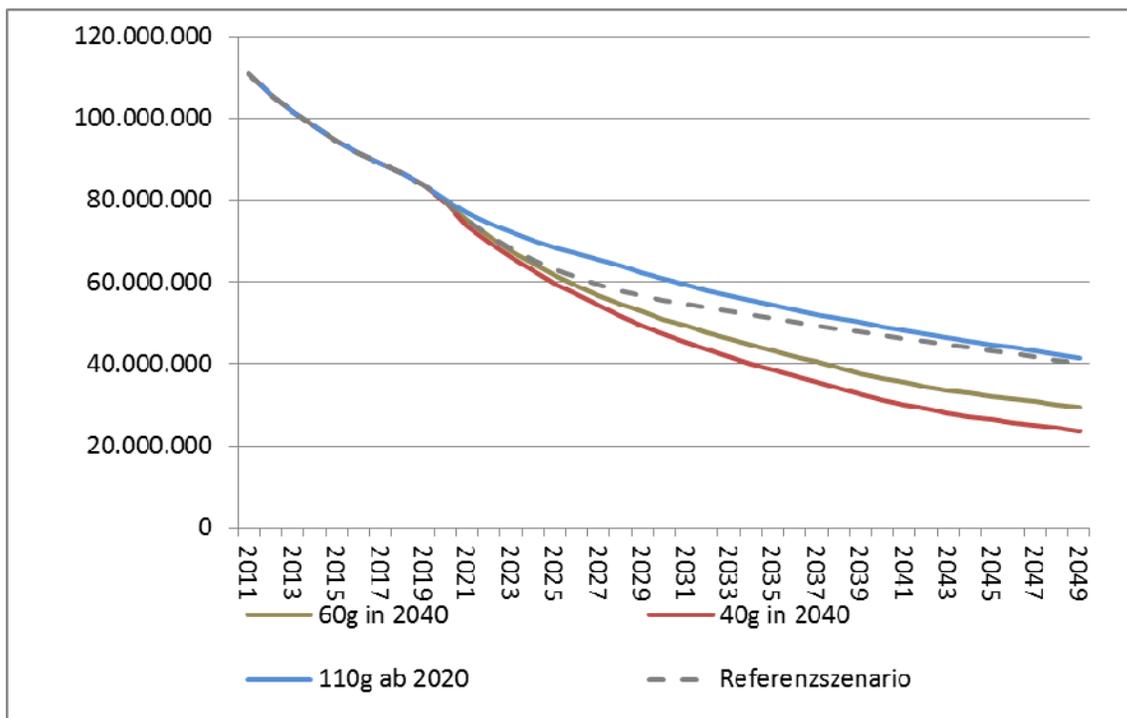


Abbildung 54: Jährliche Emissionen (Tonnen CO₂) unter verschiedenen Flottenemissionsstandards

Quelle: MMEM (2011)

2.12. Ausblick

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs ist eine Möglichkeit, fossile Treibstoffe im Mobilitätsbereich zu reduzieren. Avisierte Emissionsgrenzwerte lassen Elektrofahrzeuge auch für Hersteller interessant werden und können eine wahrnehmbare Verschiebung des Portfolios herbeiführen. Das MMEM Referenzszenario zeigt, dass hybride Antriebsformen unter „Business as Usual“ - Emissionsgesetzgebungen in einem Supermarkt von alternativen Antriebsmöglichkeiten auch im Wettbewerb mit immer effizienteren Verbrennungsmotoren rasch marktfähig sein werden.

Erst bei sehr ambitionierten und damit wohlfahrtsreduzierenden Grenzwerten werden rein batterieelektrische Fahrzeuge attraktiver, wenn sie als Nullemissionsfahrzeuge behandelt werden.

Auch eine noch so massive Subvention von Elektromobilität kann nicht gegen Marktkräfte Elektromobilität attraktiv machen (sie kann den Markthochlauf nur etwas vorziehen). Sie sollte es auch nicht: unter den geltenden Rahmenbedingungen führt eine solche Maßnahme in Europa zu Wohlfahrtsverlust. Warum sollten Hersteller eine Innovation beschleunigen, die für Kunden noch nicht attraktiv ist? Und warum sollte der Steuerzahler diese Beschleunigung fördern und mit einer Infrastruktur ausstatten?

In einer Marktwirtschaft soll der Staat Rahmenbedingungen setzen und nicht Technologien auswählen, weil es unwahrscheinlich ist, dass der Staat bessere Kenntnis von Technologieentwicklungen und Marktbedingungen hat als die Marktteilnehmer. Große Technologiewetten des Staates mit dem Geld der Steuerzahler können zu einem Subventionswettlauf führen, der den Schaden für alle maximiert.

Momentan bringt der Markt Mobilität zum günstigen Preis für alle hervor. Externalitäten sind prinzipiell eingepreist. Ein Marktversagen ist nicht festzustellen. Die Dauersubvention einer teuren Zusatzinfrastruktur für ein spezielles Segment einer Antriebstechnologie oder die Subvention dieser Technologie ist nicht nötig.

Zwei Gegenpositionen werden für ein Abweichen von dieser strikten Argumentation genannt: 1. Marktversagen bei Transformationsprozessen ist nur durch Technologiesubvention zu beseitigen, 2. Industriepolitische Gesichtspunkte müssen berücksichtigt werden. Eine dritte Position sei abschließend hinzugefügt: die der Rückversicherung.

1. Im Markt werden sich neue Technologien nicht durchsetzen, solange sie nicht wettbewerbsfähig sind. Subventionen müssen helfen, eine wünschenswerte Technologie an den Markt heranzuführen und Kostendegressionseffekte durch Lernen und Skaleneffekte zu erzielen.

Subventionen für bestimmte Technologien werden in der Regel von Ökonomen eher skeptisch betrachtet. Rahmenbedingungen, die externe Effekte einpreisen, sollen es dem Markt erlauben, technologieoffen die ökonomisch beste Lösung zu finden.

Mit Flottenemissionsstandards ist für die individuelle Mobilität ein marktorientiertes Instrument unter mehreren möglichen in der Diskussion. Wie beim Emissionshandel ist eine Emissionsreduktion in der Neufahrzeugflotte vorgegeben, damit Hersteller und Kunden technologieoffen eine Vielzahl von neuen Fahrzeugkonfigurationen am Markt erproben können. Deutsche Fahrzeughersteller arbeiten seit einigen Jahren sehr wahrnehmbar daran, die Flottenemissionsziele im Hinblick auf 2020 deutlich zu verringern. Auch Hybridfahrzeuge und batterieelektrische Fahrzeuge werden daran einen Anteil haben.

Die Kombination eines Kontextinstruments mit Technologiesubventionen führt in der Regel zu negativen Effekten. So resultiert die Kombination von deutschem EEG und europäischem Zertifikatehandel darin, dass großflächig erneuerbare Energien aufgebaut werden, die Emissionen in einem europäischen System mit Obergrenze aber nicht reduziert werden. Die Zertifikate werden weiterverkauft. Ein ähnlicher Fall ist mit der Subvention von Elektromobilität bei geltenden Flottenemissionsstandards möglich.

Durch Subvention einen Markt künstlich zu schaffen, nimmt auch das Risiko eines Scheiterns einer Technologie nach Auslaufen der Subventionen in Kauf (Beispiel: Gasfahrzeuge in Neuseeland). Dieser Nachweis („nicht marktfähig“) verstärkt eher das Risiko, einen Lock-in in einem erfolgreichen, aber langfristig nicht zukunftsfähigen System zu akzeptieren, oder die Förderung einer nicht marktfähigen Technologie ins Unendliche zu verlängern.

2. Ziel von Regierung und Nationaler Plattform Elektromobilität ist es zunächst, bei der Elektromobilität und dem Zusammenspiel mit dem Energiesektor „Leitanbieter und Leitmarkt“ zu sein. Dies ist ein industriepolitisches Ziel, bei dem auf den Wettbewerb mit anderen Industrienationen um Technologie- und Marktführerschaft abgestellt wird.

Aus Sicht der sehr erfolgreichen und exportstarken deutschen Fahrzeughersteller sind die Rahmenbedingungen für Elektromobilität in den großen Märkten USA und China mindestens ebenso relevant wie die in Deutschland. Zweifellos ist es wichtig, dass die Fahrzeuge und ein großer Anteil der Wertschöpfung in Deutschland hergestellt würden. Dies ist aber nicht zwingend von Kaufprämien oder Ladeinfrastruktur in Deutschland abhängig, sondern von anderen Faktoren. Die Entscheidung eines Fahrzeugherstellers, eine neue Fahrzeugklasse mit Karbonkarosserie in Leipzig zu produzieren, ist ohne Kaufprämien gefallen. Die Fahrzeuge werden für einen globalen Markt produziert. Dies bedeutet auch, dass Produktionsstätten zur Absicherung von Währungsrisiken immer mehr in den Ländern errichtet werden, wo die Fahrzeuge verkauft werden. Ein selbsttragender Markt ist jedoch für den Erfolg einer jeden Innovation Voraussetzung. Die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Elektrifizierung des Antriebsstrangs sind in Europa technologieoffen bereits angelegt.

Für die Leitanbieterschaft bei der Wertschöpfungskette des Gesamtsystems sind die Rahmenbedingungen in Deutschland höchst relevant. Ein Joint-Venture zwischen einem deutschen Chemiekonzern, einem Energiekonzern, einem Technologiekonzern, einem Fahrzeughersteller, und einer Vielzahl von mittelständischen Unternehmen und Start-Ups, das die gesamte Systemkette Elektromobilität von der Batteriefertigung bis zur Integration mit erneuerbaren Energien darstellt, wird am Standort D leicht zu realisieren sein; in China eher nicht. Für einen Erfolg des Systems ist allerdings auch eine bestimmte kritische Masse bei der Anzahl der Fahrzeuge notwendig.

3. Neben industriepolitischen Argumentationen lautet eine mögliche Begründung, dass auch bei einer Einpreisung von Externalitäten dem Markt allein keine adäquate und rechtzeitige Lösung der großen Transformationsaufgaben gelingt, weil der Lock-in in die bestehende Technologie so stark ist, dass der Alternativtechnologie in einem abgeschirmten Reservat Lernen über F&E und Skaleneffekte ermöglicht werden muss.

Im Sinne dieser Argumentation können massive Investitionen in die Elektromobilität, die Erneuerbaren Energien, in die Brennstoffzelle als ein Versicherungsbeitrag betrachtet werden, die Wirtschaft und Gesellschaft zahlen, um darauf vorbereitet zu sein, dass bequeme und günstige fossile Energieträger nicht mehr zur Verfügung stehen.

Die Entwicklung alternativer Antriebe in einem Gesamtsystem und ihre vorzeitige Heranführung an den Markt wären also legitimiert aus der Perspektive einer Rückversicherungsprämie gegen den Eintritt eines kommenden Ereignisses.

Mit einer solchen Versicherungsprämie werden Technologieoptionen erschlossen und verfügbar gehalten. Diesen Technologieoptionen in einem ewigen Advent den „Durchbruch“ und die Marktfähigkeit zu prognostizieren, verkennt, dass Innovationen zunächst nicht marktfähig sind. Es ist bewusst zu halten, dass sie es notwendig nicht sind, und dass ihr Erfolg von sehr vielen nicht zu beeinflussenden Faktoren abhängt.

Wie groß eine solche Rückversicherungsprämie sein kann und darf - und vor allem, wann die Prämie entrichtet werden sollte, muss politisch ausgehandelt werden und in den Investitionsbudgets der Unternehmen festgelegt werden. Dabei sind bereits hohe Investitionen von Staat und Unternehmen in die Brennstoffzellentechnologie geflossen; hohe Investitionen werden auch für Elektromobilität getätigt und gefordert. Diese wachsende Rückversicherungsprämie sollte sich auf ein Portfolio von Alternativen aufteilen.

Nicht die Enttäuschung, sondern zunächst die Erleichterung sollte groß sein, wenn das „Schadensereignis“, das Ende des billigen Öls, noch nicht eintritt.

3. Darstellung des Nutzens des Projekts

Mit dem „Marktmodell Elektromobilität“ wurde erstmals ein Werkzeug vorgelegt, das die Möglichkeit bietet, die Auswirkungen verschiedener Szenarien und Politikoptionen über eine Prognose der Marktdurchdringung verschiedener Antriebstechnologien umfassend darzustellen. Das Modell kann für die Weiterentwicklung der Mobilitätstrategie der Bundesregierung, die Prognose der Auswirkung der Netzintegration von Elektromobilität, die Abwägung der finanziellen Implikationen verschiedener Rahmenbedingungen für Mobilität genutzt werden. Die Ergebnisse können helfen, adäquate Politikentscheidungen herbeizuführen.

Das Modell wird bereits genutzt, um im Rahmen eines durch EU Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking durchgeführten Forschungsvorhabens gemeinsam mit dem Brüsseler Thinktank Brueghel Empfehlungen für Rahmenbedingungen für FCEV (Brennstoffzellenfahrzeuge) und die zugehörige Infrastruktur zu erarbeiten.

4. Darstellung der Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Nicht bekannt.

5. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung der Ergebnisse

Im veröffentlichten ersten Berichtsteil „Ansatz und Ergebnisse“ (unter www.mmem.eu) sind die relevantesten Ergebnisse des Marktmodells veröffentlicht. Ergänzt wird dieser durch einen zweiten Berichtsteil „Technical Documentation“, der über Einzelheiten der Modellierung aus technischer Sicht berichtet.

6. Angaben zu den Personalkosten und Investitionen

Für das Projekt wurden keine unbefristeten Arbeitsverträge geschlossen.

Befristet geschlossene Arbeitsverträge bzw. die Verlängerung zuvor bestehender befristeter Arbeitsverträge (Dauer und Zeitraum der Befristungen):

- 12/2009 - 11/2011
- 02/2010 - 09/2011
- 03/2020 - 09/2011
- 05/2010 - 11/2010
- 05/2010 - 09/2011
- 07/2010 - 09/2011
- 01/2011 - 09/2011

Aus dem Personalbestand finanzierten Beschäftigten, die über das Projekt abgerechnet werden (entlastende Ausgaben): Anrechnung von Arbeitszeit der am Projekt beteiligten ESMT-Professoren.

Projektteam

- Michael Holtermann leitet das Forschungsprojekt „Marktmodell Elektromobilität“. Seine Erfahrungen liegen hauptsächlich im Bereich regulierter Märkte und Industrien, von Energiesystemen und -netzwerken, und in der Interaktion zwischen privaten und öffentlichen Institutionen. Er unterstützte den Präsidenten der ESMT, Prof. Lars-Hendrik Röller, bei dessen Mitarbeit im Lenkungsreis der „Nationalen Plattform Elektromobilität“. Davor war er als Programmdirektor der ESMT Customized Solutions GmbH (2004-2009), als Berater bei Accenture im Bereich Telekommunikation, Anwendungen und High-Tech vor allem im Bereich von regulierten Industrien tätig (1998-2004), und als Mitarbeiter von Dr. Klaus von Dohnanyi bei der Treuhand-Nachfolgerin BVS mit Marktzugangsfragen für privatisierte ostdeutsche Unternehmen (1996-1998) beschäftigt. Sein Studium an der Freien Universität Berlin beendete er mit dem Abschluss MA.
- Jörg Radeke ist spezialisiert auf ökonomische Modellierungs- und Vorhersageansätze vor allem im Kontext der Bewertung von wirtschaftlichen Regulierungen und deren komplexer Auswirkungen. Er war als Wirtschaftsberater beim „centre for economics and business research (cebr)“ in London tätig (2008-2010), wo er volkswirtschaftliche Analysen und Prognosemodelle erstellt hat, zum Beispiel eine Studie für die britische ‚Forestry Commission‘ über die volkswirtschaftlichen und Umwelteinflüsse von verstärkter Nutzung von erneuerbaren Energien. Die Analyse beinhaltete neben gesamtwirtschaftlichen Aspekten, auch die Frage nach möglichen Treibhausgaseinsparungen unter unterschiedlichen Politikenszenarien. Zudem hat er Erfahrung als Berater im Bereich privates Eigenkapital und als Dozent für wirtschaftswissenschaftliche und quantitative Methoden. Seinen Diplom-Abschluss erlangte er an der Universität Rostock.
- Dr. Jens Weinmann ist Projektmanager des BMU-Projekts „Marktmodell Elektromobilität“ und Dozent an der HWR Berlin und der HTW Berlin in den Fächern Umweltökonomie und Statistik. Seine wissenschaftliche Arbeit hat den inhaltlichen Fokus Regulierung, insbesondere in den Bereichen Energie und Transport. Innerhalb des MMEM ist er für die Umsetzung der Fragestellungen zur Wechselwirkung zwischen Elektroautos und der Energieinfrastruktur zuständig, insbesondere bezüglich der notwendigen Erweiterungen des Verteilnetzes im Zuge netzgesteuerter Ladevorgänge (Vehicle-to-Grid und Grid-to-Vehicle). Herr Dr. Weinmann ist Diplom-Ingenieur (TU Berlin) der Fachrichtung Energietechnik und promovierte an der London Business School im Bereich Entscheidungswissenschaften und Quantitative Methoden.
- Prof. Dr. Jérôme Massiani ist ein Transportökonom mit 15-jähriger Berufserfahrung im Bereich der Modellierung. Seine Promotion in Wirtschaftswissenschaften erlangte er an der UPEC - Université Paris-Est Créteil. Prof. Massiani hat an verschiedenen internationalen Projekten in Frankreich, Italien und Deutschland gearbeitet, darunter Wirtschaftlichkeitsprüfungen neuer Infrastruktur, Verkehrsprognosen, Regulierungen, sowie Kosten-Nutzen-Analysen. Aktuell unterrichtet er Projektevaluation und Transportökonomie an der Universität Venedig.
- Giselmart Hemmert ist Diplom-Physiker und als Analyst für das Projekt „Marktmodell Elektromobilität“ tätig. Seinen Abschluss erlangte er im Jahre 2009 an der Westfälischen Wilhelmsuniversität Münster. Anschließend war er bei der Swiss Post Solutions im Bereich Consulting tätig. Seit Januar 2011 ist er Teil des Projekts und hauptsächlich verantwortlich für die Modellierung komplexer Systeme. Herr Hemmert wird im Anschluss an das Projekt seine Promotion beginnen.
- Andreas Gohs ist Diplom-Kaufmann (Goethe-Universität Frankfurt am Main) und war als Researcher für das Projekt tätig - speziell im Bereich der Zeitreihenanalyse. Von 2006-2009 war er Research-Assistent am Institut für Immobilienwirtschaft der Universität Regensburg. Im Anschluss an das Projekt wird Herr Gohs seine Promotion fortführen
- Iris Witsch ist seit Dezember 2010 studentische Mitarbeiterin im Projekt. Sie studiert Volkswirtschaftslehre an der Freien Universität Berlin.

Das Projekt wurde in umweltökonomischen Fragen beratend unterstützt von Prof. Georg Meran.

Prof. Meran hat an der Universität München, Universität Konstanz und an der Freien Universität Berlin studiert (Promotion 1986) und als wissenschaftlicher Mitarbeiter bzw. wissenschaftlicher Assistent gearbeitet. Die Habilitation erfolgte 1993 an der Freien Universität. 1995 erhielt er einen Ruf an die TU Berlin. Seit 2004 ist Prof. Meran auch als Dean of Graduate Studies für das DIW Berlin tätig. Prof. Meran ist Wissenschaftlicher Sprecher des Forschungs-Centrums Netzindustrien und Infrastruktur (CNI) an der TU Berlin.

Dank gilt auch den Professoren der ESMT für ihre Unterstützung und Mitarbeit, insbesondere

Sumitro Banerjee, Özlem Bedre-Defolie und Catalina Stefanescu-Cuntze.

Über ESMT

Die European School of Management and Technology (ESMT) wurde im Oktober 2002 durch die Initiative von 25 führenden deutschen Unternehmen und Verbänden gegründet. Das Ziel der Gründer war es, in Deutschland eine internationale Management School mit europäischem Fokus aufzubauen. Als private Hochschule bietet die ESMT Führungskräfteausbildung, ein internationales Full-time MBA-Programm und einen berufsbegleitenden Executive MBA. Der Sitz der Hochschule ist Berlin. Ein weiterer Standort ist Köln.