Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität

Graz University of Technology

11. SYMPOSIUM ENERGIEINNOVATION

ALTE ZIELE – NEUE WEGE

Einladung und Programm

(Stand: 24.01.2010)

10. - 12. Februar 2010

TU Graz, Österreich

Veranstalter:

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (IEE)

Mitveranstalter:

Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE)

Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ)

Österreichisches Nationalkomitee des Weltenergierates (WEC)

SESSION F4: ELEKTROMOBILITÄT (6 BEITRÄGE)

Nischler, Zoglauer, et al	TU Graz / Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation und Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ)	AUSWIRKUNGEN ZUKÜNFTIGER ELEKTROMOBILITÄT AUF DIE ÖSTERREICHISCHE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT
Kloess(*), Müller, Haas	TU Wien / Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft	POTENTIALE DER ELEKTROMOBILITÄT IN ÖSTERREICH – MODELLBASIERTE SZENARIEN 2010-2050
Beermann, Engel, Jungmeier, Spitzer, Wenzel, Schmuck, Koller	Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH und TU Graz / Institut für Chemische Technologie von Materalien	ENTWICKLUNGSSZENARIEN DER ELEKTROMOBILITÄT IN ÖSTERREICH – STROMBEDARF, KOSTEN, UMWELTWIRKUNGEN
Mayrhofer	Linz AG	E-MOBILITÄT – STRATEGIEN UND WEGE DER LINZ AG
Schuster(*), Leitinger	TU Wien / Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft	WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITFORSCHUNG IN DER ELEKTROMOBILITÄTS-REGION VLOTTE
Raffeiner(*)	TU Graz / E-Power Racing Team	MAXWHEEL – DAS ELEKTROAUTO DER TU GRAZ

SESSION F5: STROMSPEICHERSYSTEME (7 BEITRÄGE)

Liu(*), Eisenreich(*), Balzer, Kessler	TU Darmstadt / Institut für Elektrische Energiesysteme / Fachgebiet Elektrische Energieversorgung	POTENZIELLE EINSATZMÖGLICHKEITEN DER BATTERIEN VON ELEKTROAUTOS IN NIEDERSPANNUNGSNETZEN
Röglin(*), Fiedler(*), Fenn, Metz,	Hochschule Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik	EINSATZMÖGLICHKEITEN STATIONÄRER UND MOBILER STROMSPEICHER IN VERTEILNETZEN
Litzlbauer(*)	TU Wien / Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft	ERSTELLUNG UND MODELLIERUNG VON STOCHASTISCHEN LADEPROFILEN MOBILER ENERGIESPEICHER
Leitinger, Schuster(*), Litzlbauer(*)	TU Wien / Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft	SMART ELECTRIC MOBILITY – SPEICHEREINSATZ FÜR REGENERATIVE ELEKTRISCHE MOBILITÄT UND NETZSTABILITÄT
Bärwaldt	TU Braunschweig / Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen	RECYCLING VON LITHIUM-IONEN-BATTERIEN
Haut(*), Karl	TU Graz / Institut für Wärmetechnik	ENTWICKLUNGSSTAND INNOVATIVER SOFC SYSTEME ZUR DEZENTRALEN ENERGIEBEREITSTELLUNG
Kordesch	TU Graz / Institut für Chemische Technologie von Materialien	RECHARGEABLE BATTERIES AND AFFORDABLE ALKALINE FUEL CELL HYBRIDS

POTENTIALE DER ELEKTROMOBILITÄT IN ÖSTERREICH – MODELLBASIERTE SZENARIEN 2010-2050

Maximilian KLOESS*[1], Andreas MÜLLER[2], Reinhard HAAS[3]

1 Motivation

Die geringe Effizienz der Antriebe und die starke Abhängigkeit von fossilen Energieträgern sind die zentralen Probleme mit denen der motorisierte Individualverkehr heute konfrontiert ist. Die Elektrifizierung der Antriebe wird als geeigneter Ansatz gesehen um diesen Problemen zu begegnen. Hybrid- und Elektrontriebe bieten in punkto Effizienz große Vorteile gegenüber konventionellen Antriebsystemen. Durch die Nutzung von Strom als Energieträger lässt sich außerdem die Abhängigkeit des Verkehrsbereichs von importierten fossilen Energieträgern verringern, vor allem dann wenn dieser aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird.

In diesem Beitrag wird anhand von modellbasierten Szenarien gezeigt wie sich unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Verbreitung elektrischer Antriebsysteme auswirken. Die dabei untersuchten Faktoren sind zum einen die technologische Entwicklung, zum anderen die wirtschaftlichen und politische Rahmenbedingungen. In der Untersuchung wurden 8 Antriebsysteme mit unterschiedlichem Grad der Elektrifizierung, beginnend vom konventionellen Antrieb über Hybrid-Systeme bis hin zu rein elektrischen Antrieben, untersucht. Das Ergebnis sind Szenarien der Markt- und Bestandsdurchdringung der Antriebsysteme (2010-2050) aus denen sich die Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen des Sektors ableiten lassen.

Das Papier basiert auf den Untersuchungen die im Rahmen eines durch das BMVIT geförderten Projekts in Kooperation mit AVL List und Joanneum Reseach duchgeführt wurde[4].

2 Methodik

Die Szenarien werden mit Hilfe eines Simulationsmodells entwickelt, anhand dessen sich die Wirkung verschiedener Einflussgrößen auf die Verbreitung von Antriebsystem simulieren lässt. In einem ersten Schritt werden die spezifischen Servicekosten aller Antriebsysteme für den Zeitraum 2010-2050 berechnet. Dabei werden zum einen technologische Fortschritte, in Form von Lerneffekten berücksichtigt (vgl.[1]), zum anderen werden veränderte politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen in Szenarien simuliert. Um die österreichische Fahrzeugflotte zu repräsentieren wurden 3 Fahrzeugkategorien (Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse) und 3 Nutzergruppen mit unterschiedlichen jährlichen Kilometerleistungen definiert und untersucht. Die spezifischen Kosten bilden die Grundlage für die Marktdurchdringung der Antriebsysteme. Zur Modellierung der Marktanteile der Technologien wurde ein Logit-Modell Ansatz verwendet.

Die sich daraus ergebenden Neuzulassungen an Fahrzeugen gehen in ein Bestandsmodell der Österreichischen Fahrzeugflotte ein. In dem Modell wurde die Dynamik der Flottenerneuerung und die Altersstruktur des Bestandes anhand statistischer Daten des Österreichischen PKW Markts und der PKW-Flotte modelliert. Auch hier wurde die Flotte in die 3 oben beschriebenen Fahrzeugklassen und die 3 Nutzerkategorien unterteilt. Basierend auf dem modellierten Fahrzeugbestand lassen sich der

[1] TU Wien Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Gusshausstraße 25-29/373-2, +43 (0)1 58801 37371, +43 (0)1 5880137397, kloess@eeg.tuwien.ac.at, http://eeg.tuwien.ac.at
[2] TU Wien Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Gusshausstraße 25-29/373-2, +43 (0)1 58801 37362, +43 (0)1 5880137397, mueller@eeg.tuwien.ac.at, http://eeg.tuwien.ac.at
[3] TU Wien Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Gusshausstraße 25-29/373-2, +43 (0)1 58801 37352, +43 (0)1 5880137397, haas@eeg.tuwien.ac.at, http://eeg.tuwien.ac.at

[4] *Entwicklung von Szenarien der Verbreitung von PKW mit teil- und voll-elektrifiziertem Antriebsstrang unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen – ELEKTRA*: gefördert durch das BMVIT im Rahmen des Technologieprogramms A3plus, Projekt Nr.: 816074

Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Stromerzeugungstechnologien ermitteln.

2.1 Struktur und Methodik des Modells:

In Abbildung 1 ist der grundlegende Aufbau des Modells dargestellt. Das Modell ist aus drei Hauptmodulen aufgebaut. In ersten Modul sind die Antriebsysteme der PKW in den drei Fahrzeugklassen aufgeschlüsselt nach Komponentengruppen erfasst. Ziel dieses Moduls ist es die Investitionskosten der Fahrzeuge und deren Entwicklung (2010-2050) zu ermitteln. Die Aufschlüsselung der Antriebsysteme ist für die korrekte Ermittlung der Lerneffekt von entscheidender Bedeutung (siehe Kapitel 2.3) Die hier ermittelten netto Investitionskosten stellen einen zentralen Input Parameter für Modul 2 dar (sieh Kapitel 2.6).

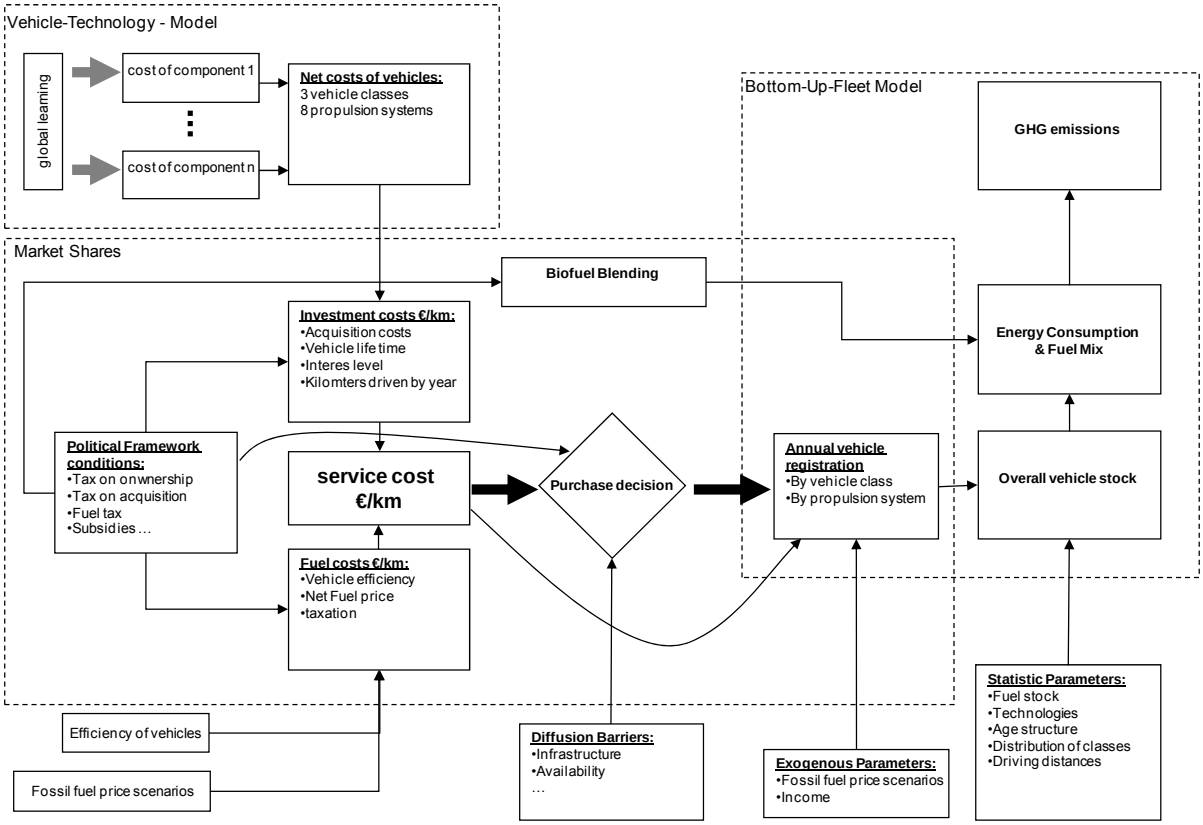


Abbildung 1: Aufbau des Modells

In Modul 2 werden die Marktdurchdringungen der verschiedenen Technologien ermittelt. Dabei wird von der Grundannahme ausgegangen, dass der Marktanteil einer Technologie hauptsächlich von deren wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit abhängt. Somit wurden die spezifischen Gesamtkosten der jeweiligen Technologien als entscheidender Parameter herangezogen. Es ist offensichtlich, dass für den Marktanteil von Antriebstechnologien für PKW auch andere Kriterien eine wichtige Rolle spielen. So kann zum Beispiel die Verfügbarkeit der Technologie, was auch die Auswahl an Fahrzeugmodellen mit einbezieht, ein starkes Hemmnis für die Verbreitung einer Technologie darstellen. Weitere Hindernisse können die Infrastruktur (Verfügbarkeit von Betankungsmöglichkeiten) sein oder andere Einschränkungen die sich in der Nutzung ergeben und damit die Akzeptanz der Technologie herabsetzen. Ein prominentes Beispiel für letztere Faktoren ist mangelnde Reichweit oder lange Betankungsdauer/Ladedauer. Sämtliche dieser Faktoren wurden in Form von Diffusionsbeschänkungen berücksichtigt.

Die Kaufentscheidung wurde dabei mit Hilfe eines Logit-Modell Ansatzes modelliert (vgl. [2]). Bei diesem Ansatz werden die Marktanteile konkurrierender Technologien anhand einer Verteilung ermittelt in deren Erwartungswert die Wirtschaftlichste Technologie liegt. Wirtschaftlich ungünstigere Optionen erhalten nach diesem Ansatz auch gewisse Marktanteile, womit die verschiedene individuelle Präferenzen und Niveaus der Zahlungsbereitschaft innerhalb der Konsumenten sowie unterschiedliche regionale Gegebenheiten und Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung

berücksichtigt wurden. Die Parameter dieser Verteilung wurden anhand historischer Daten über das Kaufverhalten in Bezug auf PKW-Antriebstechnologien bestimmt. Konkret wurde eine Zeitreihe von 20 Jahren (1990-2009) herangezogen in der es eine signifikante Verschiebung der Präferenzen innerhalb der Konsumenten gab (Benzin→Diesel).

Die Gesamtkosten der Technologien werden von einer ganzen Reihe von Parametern beeinflusst. Hierbei sind die Preise für Fahrzeugen und Kraftstoffe sowie die darauf bezogenen steuerlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Weiters spielt das Energiepreisniveau eine zentrale Rolle. Veränderungen dieser Rahmenbedingungen lassen sich im Modell simulieren, wodurch sich die Wirkung dieser Einflussgrößen auf die Marktdurchdringung der Antriebsysteme für den Zeitraum 2010-2050 simulieren lässt.

Die daraus ermittelten Marktanteile innerhalb der Neuzulassungen bilden eine zentrale Eingangsgröße für Modul 3. In diesem Modul wird die Entwicklung des Bestandes modelliert. Zusätzlich zu den Marktanteilen der jährlichen Neuzulassungen wird auch der Einfluss gesamtwirtschaftlicher Indikatoren auf das Verhalten der Nutzer modelliert. So wird der Einfluss des Einkommens- und Energiepreisniveaus sowie des Niveaus der Investitionskosten auf die Nachfrage nach Fahrzeugen (Anzahl der jährlich neu zugelassenen Fahrzeuge) modelliert. In gleicher Weise wird auch der Einfluss des Einkommens- und Energiepreisniveaus auf die jährlicher Fahrleistung (km/Jahr) und die durchschnittliche Leistung und das Gewicht (Anteile der verschiedenen Fahrzeugklassen) modelliert.

Die Fahrzeugflotte wurde basierend auf statistischen Daten des Österreichischen PKW Bestandes modelliert [3]. Hierbei wurden sämtlicher für eine detaillierte Modellierung erforderlichen Parameter berücksichtigt: historischen Neuzulassungen aufgeschlüsselt nach Antriebsystemen, Gewichts-, Leistungs- und Energieverbrauch der Fahrzeuge, durchschnittliches Flottenalter und Verweildauer der Fahrzeuge in der Flotte, durchschnittliche Fahrleistung und deren Verteilung.
Basierend auf diesen Daten wurde die Einteilung der Fahrzeugklassen und der Nutzergruppen (siehe Kapitel Table 2 durchgeführt. Somit ist die modellierte Flotte nach Fahrzeugklassen, Nutzergruppen, Antriebsystemen (und den damit Verbundenen Energieverbrauchsklassen) und nach Altersklassen aufgeschlüsselt und stellt somit ein relativ detailliertes Modell der realen Flotte dar. Besonderes Augenmerk wurde auch der Dynamik der Flottenerneuerung beigemessen. Hier wurde das jährliche Ausscheiden der Fahrzeuge eines Jahrganges über die jährliche statistische Ausfallswahrscheinlichkeit ermittelt.

Für den so modellierten Bestand lassen sich mit Hilfe der Energie- und Treibhausgasbilanzen der Gesamtenergieverbrauch, der Energieträger-Mix und die Treibhausgasemissionen der PKW Flotte ermitteln (siehe Kapitel 2.7).

2.2 Antriebsysteme

In der Untersuchung wurden 8 verschiedene Antriebsysteme mit unterschiedlichem Grad der Elektrifizierung untersucht. Dabei wurden jene Antriebsysteme ausgewählt die aus heutiger Sicht mittel bis langfristig in Österreich relevant sein werden. Dazu zählen folgende Antriebsysteme:

- Konventionelle Antriebe (Benzin, Diesel)
- Micro Hybride
- Mild Hybride
- Voll Hybride
- Plug-In Hybride
- Serielle Hybride
- Elektrofahrzeuge
- Brennstoffzellen-Plug-In-Hybride

Einen Überblick über die untersuchten Antriebsysteme liefert Abbildung 3. Hierunter befinden sich neben konventionelle Antrieben (mit Benzin- Diesel- und Erdgasmotor) auch bereits verbreitete Alternativen wie Micro Hybrid (auch bekannt als Motor-Start-Stop-System), mild hybride (Honda Civic, Honda Insight, Merceds S Klasse) und Voll Hybride (Toyota Prius).
Darüber hinaus wurde auch Antriebskonzepte untersucht, die sich heute meist noch im Versuchs- bzw. Entwicklungsstadium befinden. Dazu zählen sämtlich Antriebskonzepte die primär auf

elektrischen Betrieb ausgelegt sind. Da die Funktionsweise dieser Antriebe soll hier noch einmal kur beschrieben werden:

Plug-In Hybrid: Wie der Name andeutet sind Plug-In Hybride Fahrzeuge, die am Stromnetz aufgeladen werden können. Sie verfügen im Allgemeinen über eine größere elektrische Speicherkapazität als einfache Hybride und daher über eine deutlich höhere elektrische Reichweite. Plug-In Hybrid ist eigentlich ein Überbegriff. Es kann sich dabei sowohl um parallel als auch um serielle Antriebskonfigurationen handeln. Meist sind mit Plug In Hybriden aber parallel Hybrid mit Plug-In Funktion und höherer Speicherkapazität gemeint da serielle Hybride eine eigenen Kategorie darstellen. In der Folge ist daher beim Begriff Plug-In Hybrid ein parallel Hybrid (Antrieb wie ein Voll-Hybrid) mit Plug-In-Funktion und größeren Batterien gemeint.
Beim Plug-In Fahrzeug, das hier untersucht wurde, wurde angenommen, dass das Fahrzeug immer im Elektro-Modus startet und bei längeren Fahrstrecken dann in den Hybrid Modus wechselt.
Es wurde in weiterer Folge angenommen, dass die elektrische Reichweite von 40km ausreicht um 50% der Fahrstrecken rein elektrisch zurückzulegen (siehe Kapitel 2.6.)

Serieller Hybrid: Bei Seriellen Hybriden ist der Verbrennungsmotor mechanisch nicht mit den Antriebsrädern gekoppelt sondern treibt einen Generator an um auf dieser Weise den Strom für den elektrischen Antrieb bereitzustellen. Die Motoren sind nach einander geschaltet – daher serieller Hybrid. Serielle Hybride sind daher prinzipiell Elektrofahrzeuge. Da sie jedoch über eine kleinere elektrische Reichweite als reine Elektrofahrzeuge verfügen haben sie zusätzlich den Verbrennungsmotor, der quasi als Notstromaggregat fungiert und sich im Bedarfsfall einschaltet. Daher wird der Verbrennungsmotor im seriellen Hybrid auch als Range-Extender bezeichnet. Auch der Serielle Hybrid verfügt über eine Plug-In Funktion und kann daher am Stromnetz geladen werden. Die elektrische Speicherkapazität wird so ausgelegt, dass die Mehrzahl der zurückgelegten Strecken im Batteriebetrieb zurückgelegt werden können, und sich der Verbrennungsmotor nur selten einschalten muss.

Elektrofahrzeuge: Das reine Elektrofahrzeug besitzt ausschließlich einen Elektrischen Antrieb und bezieht die gesamte Energie aus den Batterien, welche am Netz geladen werden. Dadurch ist die Reichweite der Fahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor eher gering. Es gibt auf dem Markt heute schon eine ganze Reihe von Elektrofahrzeugen. Diese stammen jedoch fast ausschließlich von Nischenanbietern, wo sie in kleiner Serie produziert werden und entsprechend teuer sind.

Brennstoffzellen-Plug-In-Hybrid: So wie der Seriellen Hybrid ist auch Brennstoffzellen-Plug-In-Hybrid prinzipiell ein Elektrofahrzeug. Der Unterschied besteht darin, dass als Range Extender kein Verbrennungsmotor verwendet wird sondern ein Brennstoffzellensystem. Die Brennstoffzelle wird dafür genutzt die elektrische Energie für den Antrieb bereitzustellen. Die Energie wird dabei in Form von Wasserstoff im Fahrzeug gespeichert und bei Bedarf in der Brennstoffzelle in Strom umgewandelt. Der Wasserstoff wird entweder bei extrem niedrigen Temperaturen oder bei sehr hohem Druck gespeichert.

Auch Brennstoffzellenfahrzeugen verfügen über Batterien. Diese dienen als Puffer für die erhöhten Energieflüsse bei Beschleunigung und Bremsen mit Rekuperation und sind daher eher klein (in etwa so wie bei Voll Hybriden). Bei dieser Dimensionierung wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug primär im Wasserstoffbetrieb läuft, so wie das bei den meisten Versuchsfahrzeuge bisher der Fall war.

Eine weitere Möglichkeit die Brennstoffzelle einzusetzen ist in der Funktion als Range-Extender bei gleichzeitigem Einsatz größerer Batterien. Wie beim seriellen Hybrid der Verbrennungsmotor, kommt die Brennstoffzelle dann nur bei langen Fahrstrecken zum Einsatz. Primär wird daher auch ein solches Fahrzeug über die Plug-In Funktion mit Strom aus dem Netz betrieben. Wasserstoff wird nur für Langstrecken verwendet um die Reichweite zu erhöhen oder, sofern erforderlich, schnell nachzutanken.

Der Vorteil gegenüber verbrennungsmotorenbasierten Range Extendern liegt darin, dass auch lange Strecken emissionsfrei zurückgelegt werden können.

Bei der Untersuchung wurden drei Fahrzeugklassen unterschieden:

- Kleinwagenklasse

- Mittelklasse
- Oberklasse

Für diese Klassen wurde jeweils eine andere Auswahl an Antriebsystemen angenommen. In der Mitteklasse wurden alle 8 Antriebsysteme untersucht. In der Kleinwagenklasse wurden nur neben konventionellen Antrieben nur Micro Hybride und batterie-elektrische Antrieb untersucht. Hier liegt die Annahme zugrunde, dass bei kleineren Fahrzeugen (<1000kg) mit niedrigeren Kosten komplexe Hybridantriebe wirtschaftlich nicht darstellbar sind. In der Oberklasse (m>2000kg) sind hingegen rein elektrische Antriebe aus technischer Sicht nur schwer darstellbar, da die in diesem Fahrzeugsegment geforderte Reichweite technische kaum erreichbar scheint. Hier hat man sich in der Untersuchung daher auf konventionelle Antriebe, Micro-, Mild- und Vollhybride beschränkt.
Ein genaue Aufstellung der technischen Spezifikation der Antriebsysteme in der Mittelklasse findet sich in Table 1.

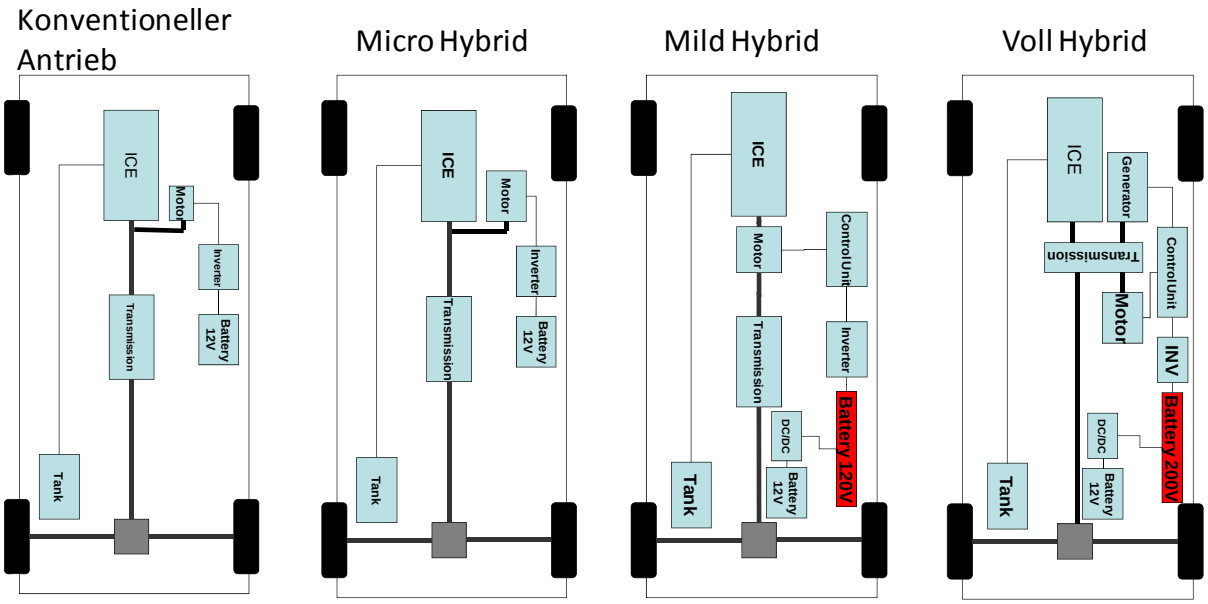


Abbildung 2: Etablierte Antriebsysteme (primär verbrennungskraftmaschinenbasiert)

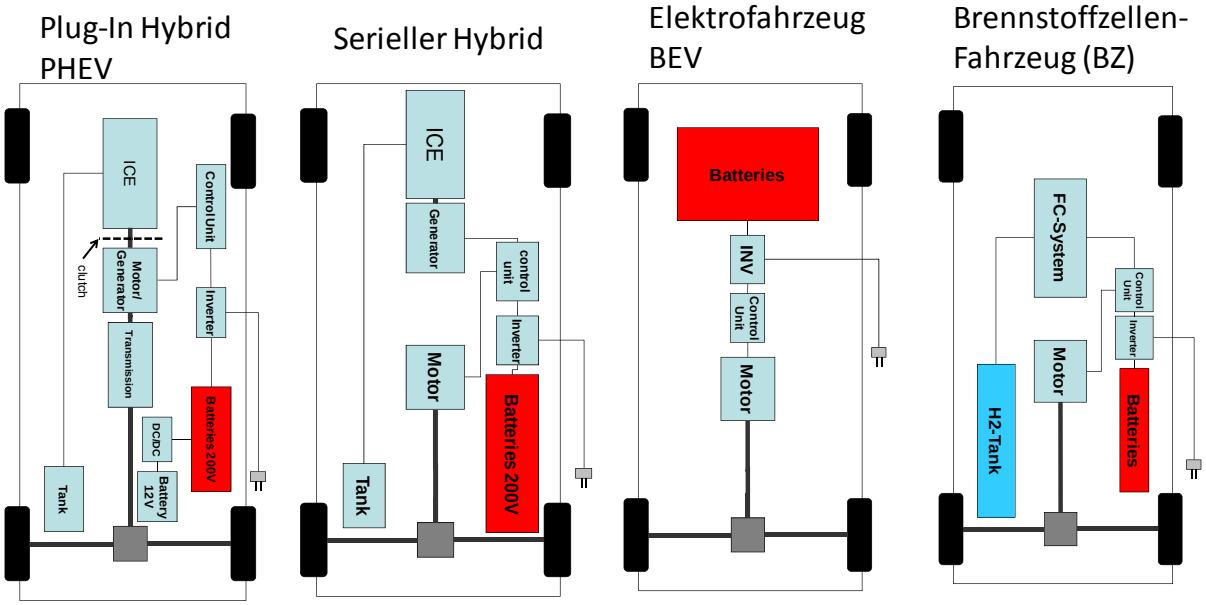


Abbildung 3: elektrische Antriebsysteme

Table 1: Spezifikationen der Antriebsysteme für Mittelklassefahrzeuge

Mittelklasse:	Konventioneller Antrieb Benzin	Konventioneller Antrieb Diesel	Mild Hybrid	Voll Hybrid	Plug-In Hybrid	Serieller Hybrid	Elektrofahrzeug	Brennstoffzellen Fahrzeug
Fahrzeuggewicht (kg)	1470	1522	1450	1458	1538	1623	1687	1645
Verbrennungsmotor Leistung (kW):	75	75	65	50	50	40	0	0
Elektromotor Leistung (kW):	0	0	20	50	50	75	75	75
Li-Ionen Batterien (kWh)			1	2	10	20	50	20
Elktrische Reichweite (km)					40	80	200	500
Gesamtreichweite (km)	700	700	700	700	700	700	250	500

Quelle: ELEKTRA [4]

2.3 Investitionskosten

Zur Abschätzung der Investitionskosten wurden Komponentengruppen der Fahrzeuge definiert und die unterschiedlichen Antriebsysteme danach aufgeschlüsselt. Für diese Komponentengruppen wurden die Kosten ermittelt und daraus deren Einfluss auf die Gesamtkosten der Antriebe abgeleitet (siehe Abbildung 4)

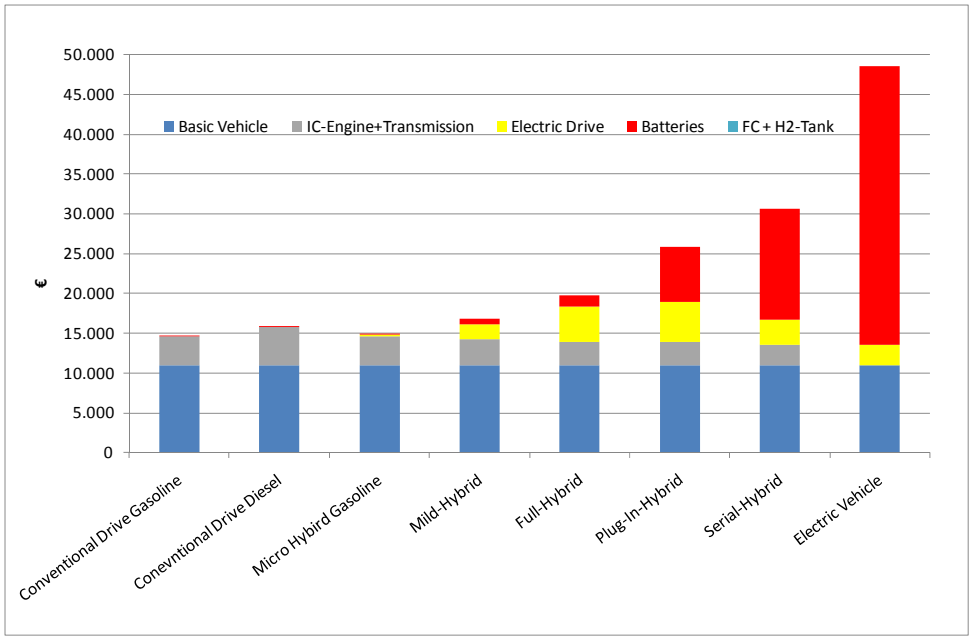


Abbildung 4: Investitionskosten der Antriebe nach Komponenten 2010

Die Gegenüberstellung der Investitionskosten der Antriebsystem in Abbildung 4 verdeutlicht wie die Kosten mit wachsendem Grad der Elektrifizierung steigen. Wesentlicher Kostentreiber sind die Batterien. In der Vorliegenden Untersuchung wurde angenommen, dass sämtliche verwendete Traktionsbatterien auf Lithium Ionen Technologie basieren. Diese Technologie wird in Expertenkreisen als die aussichtsreichste Option gesehen um die hohen Ansprüche an Energiespeicher für automobile Anwendungen zu erfüllen [5] [6]. Derzeit sind deren Kosten aber noch zu hoch. Die Systemkosten für ein Lithium-Ionen Batteriesysteme bewegen sich zwischen 150 und 600€/kWh für auf Energiedichte optimierte Systeme und 700 bis 2000€/kWh für auf Leistungsdichte optimierte Systeme [6]. Diesen Werten liegt jedoch die Annahm hoher Produktionsstückzahlen zu Grunde. Da diese Stückzahlen zumeist noch nicht erreicht sind ist davon auszugehen, dass die Kosten in den, anfänglich kleineren

Serien, höher liegen. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher spezifische Kosten in der Höhe von 700€/kWh für den Technologiestand 2010 angenommen. Bei Batterien sind für den Zeitraum 2010-2050 deutliche Kostenreduktionspotentiale zu erwarten, die sich entsprechend auf die Investitionskosten auswirken. Diese Kostenentwicklung wurde anhand der Methode des Technologischen Lernens abgeschätzt. Dabei wird angenommen, dass jede Steigerung der erzeugten Menge eines Produkts zu einer Kostenreduktion führt.
Die mathematische Beschreibung von Lernkurven erfolgt durch eine Exponentialfunktion der Form

$$C(x) = a * x^{-b}$$

mit

C.....Kosten pro erzeugter Einheit [EUR/Einheit]

a.....Kosten der ersten produzierten Einheit [EUR/Einheit]

x.....Gesamtzahl der erzeugten Einheiten

b.....Lernindex (learning index) [-]

Die Kosten sind also von der Anzahl der bisher erzeugten Einheiten abhängig, das Ausmaß der Kostenreduktion wird durch den Lernindex bestimmt. Aus ihm kann die progress ratio p berechnet werden, die Aufschluss über die Kostenreduktion nach einer Verdopplung der gesamten erzeugten Einheiten gibt.

$$p = 2^{-b}$$

mit

p.....progress ratio [-]

Eine progress ratio von 80% bedeutet beispielsweise, dass nach einer Verdopplung der kumulativen Produktion die Kosten auf 80% des ursprünglichen Wertes gesunken sind. Im Falle der Lithium Ionen Batterien wurde mit einer Progress Ratio von 87,5% gerechnet.

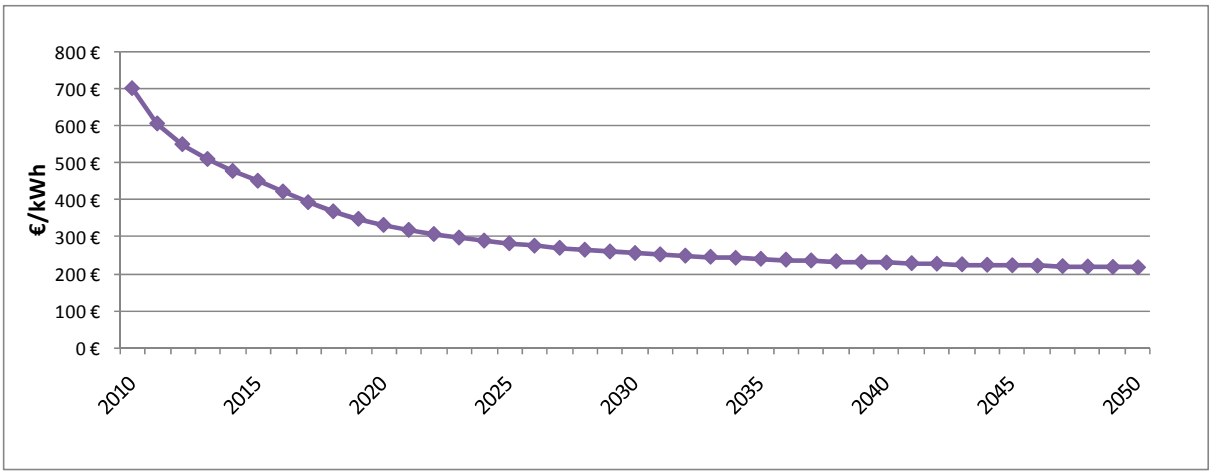


Abbildung 5: Lernkurve für Lithium Ionen Batterien

Prinzipiell sind für alle Komponenten Lerneffekt zu erwarten. Bei technologische ausgereiften Komponenten wie der Verbrennungskraftmaschine und des Basisfahrzeug (Karosserie + Fahrwerk + Innenausstattung) sind diese Lerneffekt allerdings deutlich geringer. Hier werden die Lerneffekte in der Praxis auch durch zusätzliche Anforderungen (Effizienz, Komfort, Sicherheit) kompensiert wodurch deren Reale Preis gleich blieben.

Abbildung 6 zeigt wie sich die Lerneffekte auf die Investitionskosten bis 2050 auswirken. Die Kosten für die Batterien werden demnach in diesem Zeitraum stark sinken, bleiben aber auch langfristig wesentliche Kostentreiber bei elektrischen Antriebsystemen.

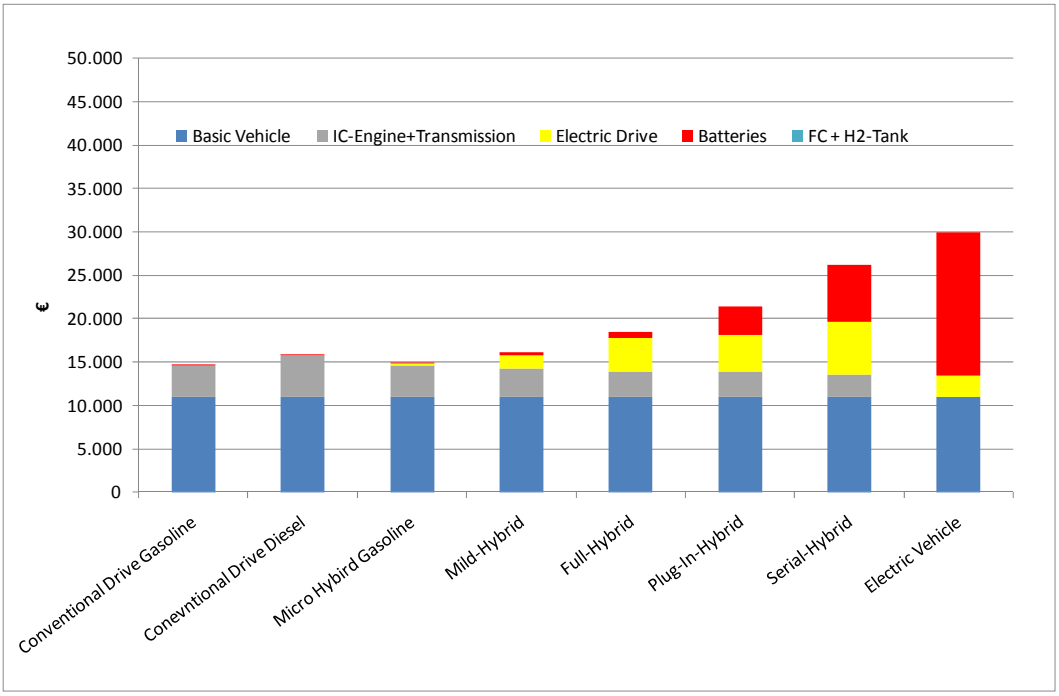


Abbildung 6: Investitionskosten der Antriebe nach Komponenten 2050

2.4 Kraftstoffkosten

Die zentralen Parameter für die Bestimmung der Kraftstoffkosten sind der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge und die Preise der Kraftstoffe, welche sich aus ihren Nettokosten und den Steuern zusammensetzen. Der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge wurde im Rahmen des Projekts ELEKTRA vom Projektpartner AVL List ermittelt[4]. Hierbei wurden die Wirkungsgrade und der Kraftstoffverbrauch der Antriebe für den Stand 2010 ermittelt sowie deren Verbesserungspotentiale bis 2011 abgeschätzt (siehe Abbildung 7).

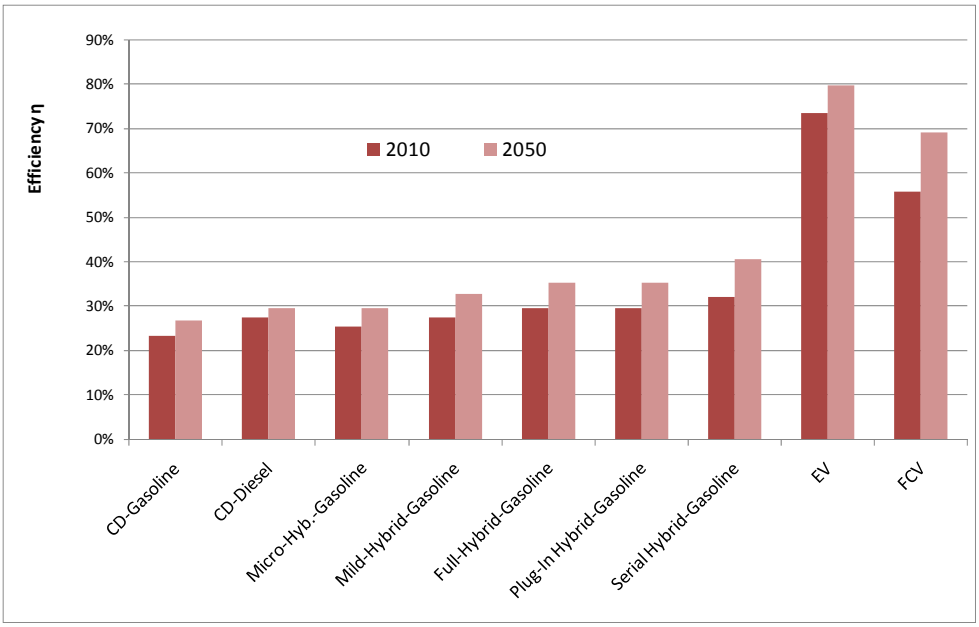


Abbildung 7: Wirkungsgrade der Antriebsysteme 2010 und 2050

Für die Kraftstoffe wurde das Preisniveau Jänner 2010 herangezogen. Für die Entwicklung der Kraftstoffkosten im Zeitraum 2010-2050 wurde das Energiepreisszenario „PRIMES-high“ zu Grunde

gelegt [7]. In diesem Szenario steigt der Rohölpreis ausgehend von 77$/bl (2010) auf 148$/bl 2050. Der Strompreis steig in diesem Szenario von 72€/MW (2010) auf 95€/MW (2050)

2.5 Politische Rahmenbedingungen in Österreich

In Österreich existieren abgesehen von der Mehrwertsteuer im Wesentlichen drei steuerliche Instrumente durch die auf den PKW Verkehr Einfluss genommen werden kann:

Mineralölsteuer: Hier wird auf die unterschiedlichen Mineralölprodukte ein Steuersatz eigehoben, wobei es in Österreich unterschiedliche Steuersätze für Benzin (44,7cent/l) und Diesel (34,7cent/l) gibt. Erdgas (CNG) und Biokraftstoffe (pur) sind von der Steuer ausgenommen.

Motorbezogene Versicherungssteuer (KFZ-Steuer): Diese Steuer ist jährlich zu entrichten und wird nach der Motorleistung des Fahrzeugs bemessen.

Normverbrauchsabgabe (NOVA): Hierbei handel es sich um eine Zulassungssteuer die einmal bei der ersten Anmeldung eines Neuwagens entrichtet werden muss. Ihre Höhe richtet sich nach dem Verbrauch und den Treibhausgasemissionen des Fahrzeugs und wird nach einem festgelegten Algorithmus erhoben: Dabei wird aus dem Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs ein Prozentwert ermittelt der mit dem Nettopreis des Fahrzeugs multipliziert wird, woraus sich dann der Steuersatz ergibt. Die Steuer ist jedoch mit 16% des Anschaffungspreises gedeckelt. Darüber hinaus gibt es noch festgelegte Emissionsgrenzwerte für CO2-Emissionen [g/km] bei deren Überschreitung die Steuer erhöht wird, und bei Unterschreitung gesenkt wird. Für Fahrzeuge mit alternativen Antriebsystem gibt es außerdem noch einen Bonus von 500€ der von der Steuer abgezogen wird. Diese Steuer hat somit formal eine klare Lenkungsfunktion in Richtung effizientere Antriebsysteme.

2.6 Gesamtkosten/Spezifische Kosten

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben wurde angenommen, dass die spezifischen Kosten (€/km) den wichtigste Einflussparameter auf die für die Marktverbreitung von Antriebstechnologien darstellen. Bei diesen Gesamtkosten wurden sämtliche, für den Vergleich der Antriebsysteme erforderlichen Kosten berücksichtigt. Dazu zählen neben den Investitions- und Kraftstoffkosten auch die Kosten, die sich aus politischen Rahmenbedingungen ergeben. Die unterschiedlichen Nutzungsintensitäten, die bei PKWs vorliegen, können sich entscheidend auf die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Antriebstechnologien auswirken. In der Untersuchung wurden daher drei verschieden Nutzergruppen mit unterschiedlichen jährlichen Kilometerleistungen definiert, für die dann jeweils die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt wurde (siehe Table 2).

Table 2: Basis Daten

Basis Daten:			
Jahresfahrleistung:	"Wenigfahrer"	10.000	km
	"Durchschnittsnutzer"	15.000	km
	"Pendler"	20.000	km
Abschreibungsdauer:		10	Jahre
Zinnssatz:		6	%

Die Gesamtkosten für eine spezifische Kostenkategorie SC_j setzen sich jeweils aus den Energiekosten und den Kapitalkosten und den jährlichen Fixkosten für das Fahrzeug zusammen.

$$SC_j = EK_j + CC_{SP_j} + OC_j \quad \text{[EUR/km]}$$

mit

SC_j.....Gesamttransportkosten/Servicekosten [EUR/km]

EK_j……..Energiekosten [EUR/km]

OCj……..sonstige Fixkosten

CC_{SP_j}……....Servicespezifische Kapitalkosten des Fahrzeugs j [EUR/km]

Die Energiekosten pro gefahrenen Kilometer ergeben sich aus dem Energieverbrauch des Fahrzeugs und dem Kraftstoffpreis an der Tankstelle:

$$EK_j = EV_j * (KP_i + MÖSt) * (1 + MwSt) \text{ [EUR/km]}$$

mit

EV_j…….Energieverbrauch des Fahrzeugs j [kWh/km]

KP_j……..Kraftstoffpreis [EUR/kWh]

Die gesamten jährlichen Investitionskosten des Fahrzeugs ergeben sich aus dem Annuitätenfaktor, der Investitionskosten für das Fahrzeug j, der Normverbrauchsabgabe (NoVA) und der Mehrwertsteuer (MwSt).

Die jährlichen Kapitalkosten für die Fahrzeuge wurden nach der Annuitätenmethode mit einem Zinssatz von 6 % ermittelt.

$$CC_{SP_j} = (\alpha * (IK_j + NoVA_j) * (1 + MwSt_j)) / S_{km} \quad \text{[EUR/km]}$$

mit

α ..... …Annuitätenfaktor

IK_j……Investitionskosten des Fahrzeugs j (EUR/Fahrzeug)

NoVA…..Normverbrauchsabgabe

MwSt…...Mehrwertsteuer

S_{km}…….Gefahrene Kilometer pro Jahr (Fahrleistung)

Die sonstigen Fixkosten ergeben sich zu:

$$OC_j = (WK_j + VK_j + KfzSt_j) / S_{km} \quad \text{[EUR/km]}$$

WK_j…. Wartungskosten

VK_j…..Versicherungskosten

$KfzSt_j$….KFZ-Steuer

Welchen Einfluss die Kostenarten auf die Gesamtkosen haben wird in Abbildung 8 am Beispiel eines Mittelklasse PKW mit Benzinmotor veranschaulicht. Hier wurden die wirtschaftlichen und steuerlichen Rahmenbedingungen in Österreich (Stand 1/2010) zugrunde gelegt. Man erkennt, dass die brutto Kapitalkosten für das Fahrzeug mit knapp 56% den größten Einfluss haben. Die Brutto-Kraftstoffkosten machen bei einer jährlichen Fahrleistung von 15 000km in etwa 21% der Kosten aus. Etwa ein Drittel der jährlichen Kosten des PKWs sind Steuern wobei, der größte Anteil auf die Mehrwertsteuer auf Fahrzeuge und Kraftstoffe entfällt (13,6%), gefolgt von der Mineralölsteuer (9%). Die fahrzeugbezogenen Steuern (KFZ Steuer und NOVA) machen zusammen knapp 11% aus. Bei der Betrachtung der Steuern, die einen Lenkungseffekt in Hinblick auf die Effizienz der Antriebe haben, nämlich der NOVA und, zu einem gewissen Grad, der Mineralölsteuer, fällt auf, dass diese mit gemeinsam 13,8% der Kosten relativ wenig Gewicht haben. Die NOVA, welche sich nach Verbrauch und Treibhausgasemissionen bemisst, und daher den Anspruch erhebt ein Lenkungsinstrument zu sein, fällt dabei mit 4,8% kaum ins Gewicht. Die Tatsache, dass die NOVA als Prozentsatz des Anschaffungspreises bemessen wird, stellt deren Förderungsfunktion für effiziente Antriebe in Frage, da diese höhere Nettoinvestitionskosten haben, und sich somit, trotz nach Prozenten niedrigerem Steuersatz, höhere absolute Steuern ergeben. Durch die Tatsache, dass die NOVA in die Bemessungsrundlage der Mehrwertsteuer mit einbezogen wird, wird dieser Effekt noch weiter verschärft, womit sich die heutige Form der Zulassungssteuer (NOVA) als ungeeignet bezeichnen lässt um die Verbreitung effizienter Antrieb zu fördern. Auch die Tatsache, dass es für so genannt alternative Antriebsysteme einen Bonus in Form einer Reduktion der NOVA um 500€ gibt ändert daran recht wenig. In Abbildung 9 wird diese Problematik noch einmal verdeutlicht. Man sieht, dass

bei Hybridantrieben die NOVA zwar geringer ausfällt, diese Einsparung aber durch die, aufgrund der höheren Investitionskosten, höheren Mehrwertsteuer kompensiert wird.

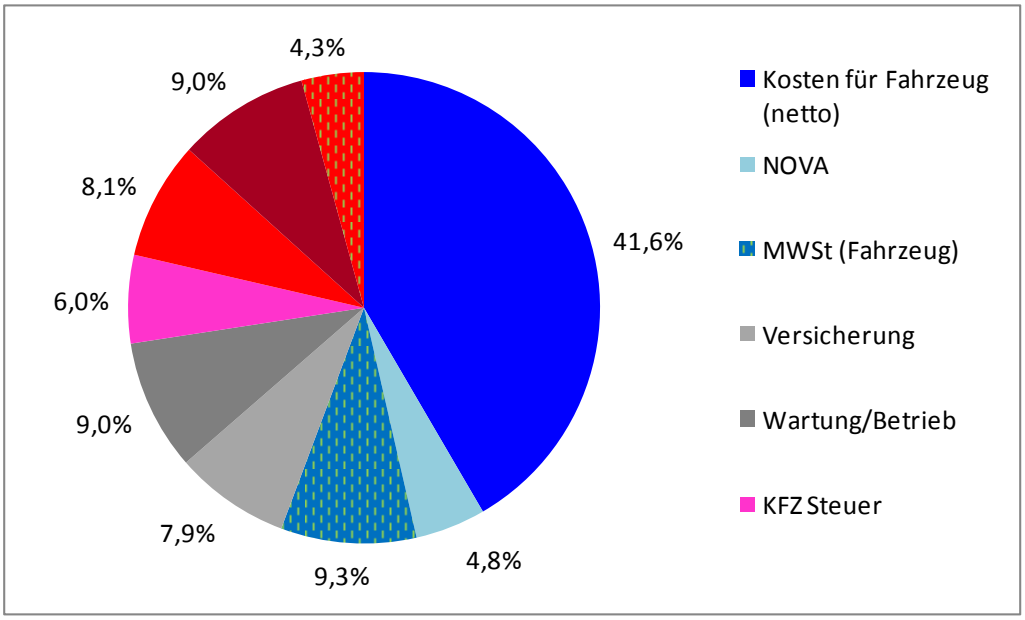


Abbildung 8: Gesamtkosten nach Kostenkategorien (Mittelklasse, Benzin, 15 000km/Jahr)

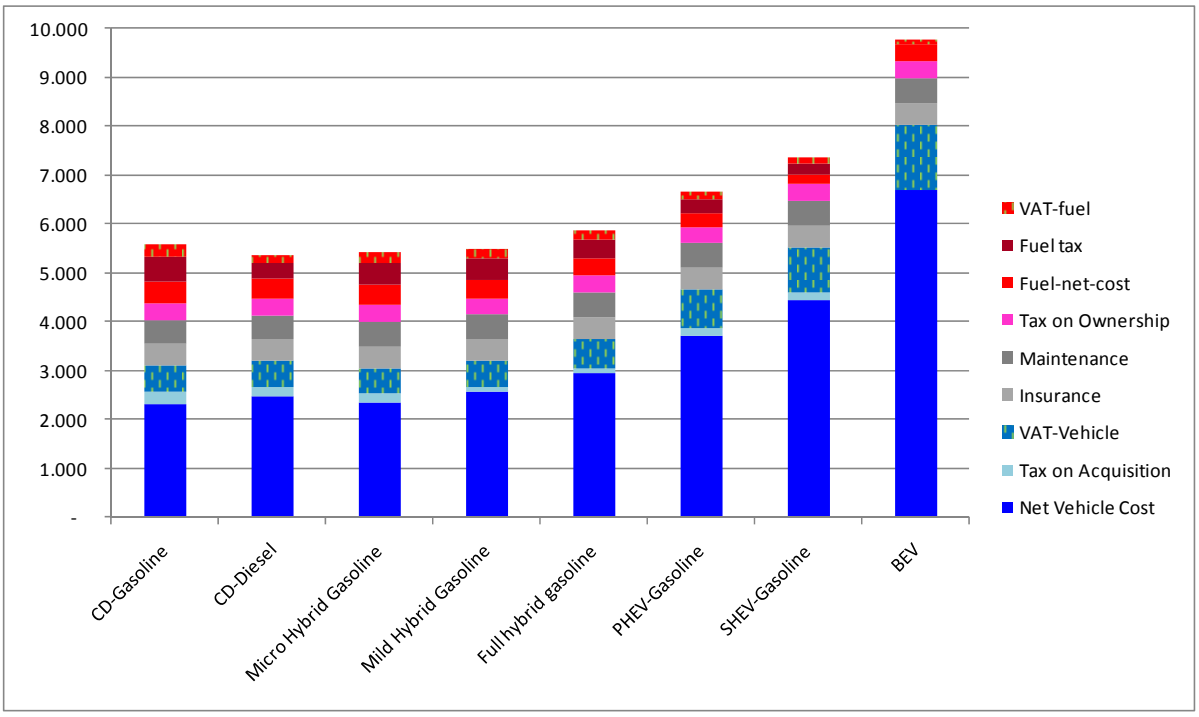


Abbildung 9: Jährlich Gesamtkosten nach Antriebsystemen (Mittelklasse, 15 000km/Jahr, Stand 2010)

Im Vergleich der Antriebe in Abbildung 9 ist zu sehen, dass unter den gegebenen Randbedingungen konventionelle Antrieb noch immer am wirtschaftlichsten sind. Diesel Antriebe bildenaufgrund der niedrigeren Mineralölsteuer auf Diesel-Kraftstoff die wirtschaftlich attraktivste Option. Micro- und Mild-Hybrid sind heute schon fast konkurrenzfähig und werden nur durch den Diesel geschlagen, sind aber gesamtwirtschaftlich bereits günstiger als Benzinantriebe.

2.7 Energie und Teibhausgasbilanzen

Um die den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der Fahrzeugflotte zu ermitteln wurden Energie und Treibhausgasbilanzen verschiedener relevanter Umwandlungspfade

berücksichtigt. Dabei wurde die gesamte Umwandlungskette von der Bereitstellung der Kraftstoffe bis zur Umwandlung im Fahrzeug betrachtet. Daraus ergaben sich so genannte well-to-wheel (WTW) Treibhausgasemissionen (THG) und WTW Energiebilanzen, den so genannten kumulierten Energieaufwand (KEV). Die entsprechenden Daten wurden von Joanneum Research ahand von Life-Cycle Analysen im Rahmen des ELEKTRA Projekts ermittelt [4]. Diese Daten liegen den im Kapitel 4 angeführten Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen der Gesamtflotte zu Grunde.
Neben den heute dominierenden fossilen Kraftstoffen, Benzin und Diesel, wurden auch alternative Kraftstoffe wie CNG, Biokraftstoffe der 1. und 2. Generation sowie Strom und Wasserstoff untersucht. Die untersuchten Kraftstoffen und die jeweiligen Primärenergiequellen sind in Table 3 angeführt.

Table 3: Kraftstoffe

Kraftstoff-Typ	Kraftstoff	fossil	erneuerbar	Primärenergiequelle
Benzin	fossil gasoline	✓		Rohöl
	ethanol 1		✓	Mais
				Weizen
				Zuckerrübe
	ethanol 2		✓	Stroh
			✓	Holz Kurzumtrieb
Diesel	fossil diesel	✓		Rohöl
	biodiesel		✓	Raps
			✓	Sonnenblumen
			✓	Altspeiseöl
	Fischer-Tropsch-Diesel		✓	Holzschnitzel
compressed natural gas (CNG)	Erdgas	✓		Erdgas
	Biogas		✓	Gülle
			✓	Energiepflanzen Mix
			✓	Maissilage
	Synthetic Natural Gas (SNG)		✓	Holzschnitzel
electricity		✓	✓	Strom Mix-Österreich
		✓		Erdgas (GuD)
			✓	Wasserkraft
			✓	Wind
			✓	Photovoltaik
			✓	Holzschnitzel
			✓	Holz Kurzumtrieb
Wasserstoff H2	komprimierter Wasserstoff	✓		Erdgas
			✓	Wasserkraft
			✓	Wind
			✓	Photovoltaik
			✓	Holzschnitzel
			✓	Holz Kurzumtrieb
			✓	Energiepflanzen Mix

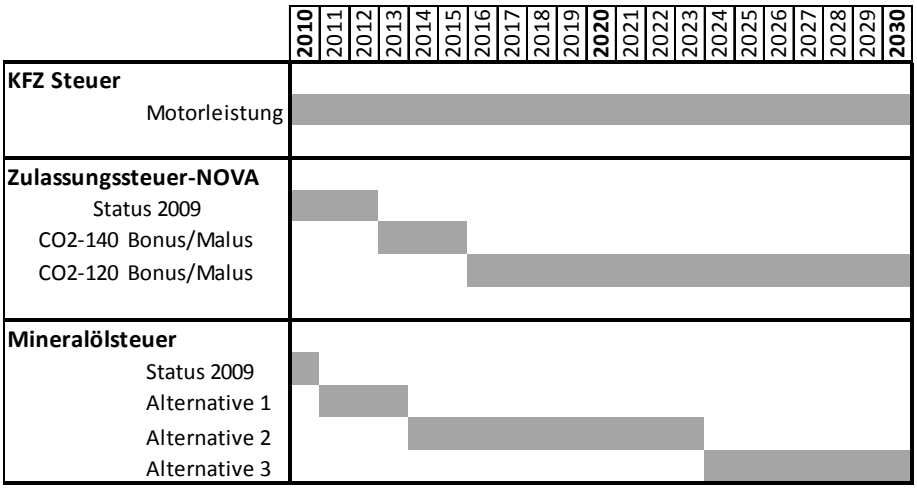
3 Szenarien

Anhand des Modells lässt sich die Entwicklung der Fahrzeugflotte im Zeitraum 2010-2050 in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren simulieren. Dabei spielen neben der Entwicklung der Kosten der Technologie und des Energiepreisniveaus die politischen Rahmenbedingungen eine zentrale Rolle. Letztere sind in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse, da diese durch entsprechende Eingriffe direkt beeinflusst werden können währen die Technologiekosten und das Energiepreisniveau von globalen Zusammenhängen abhängen und sich somit Lenkungseinflüssen weitestgehend entziehen. In den Szenarien wurde auf die Untersuchung der unterschiedlichen Politischen Instrumente daher besonderes Augenmerk gerichtet.
Um die Wirkung verschiedener politischer Instrumente auf die Entwicklung der Fahrzeugflotte in Hinblick auf Effizienz, Kraftstoff-Mix, Antriebstechnologien und den sich daraus ergebenden Energieverbrauch sowie die Triebhausgasemissionen zu untersuchen wurden Szenarien mit unterschiedlichen Politischen Rahmenbedingungen entwickelt. In allen Szenarien wurde von einem Anstieg des fossilen Energiepreisniveaus bis 2050 gemäß dem Energiepreisszenario „PRIMES-high“ ausgegangen [7].

3.1 “Business-as-usual – Szenario(BAU-Szenario)”:

Es wurde angenommen, dass es im Vergleich zum Stand 2010 nur geringe Anpassungen bei Steuern geben wird. NOVA und KFZ-Steuer bleiben gleich. Die Mineralölsteuer wird dahingehend angepasst, dass ab 2015, dem europäischen Trend folgend, Diesel und Erdgas (CNG) zum gleichen Steuersatz wie Benzin besteuert werden. (siehe Table 4)

Table 4: Politische Rahmenbedingungen im "BAU-Szenario"



3.2 „Elektromobilität-Förderung – Szenario“

In diesem Szenario wurde angenommen, dass elektrische Antriebsysteme durch einen Investitionszuschuss von 1500€ gefördert werden. Neben Elektrofahrzeugen kommen auch Plug-In Hybrid und Serielle Hybride in den Genuss dieser Förderung. Es wurde angenommen, dass die Förderung von 2010-2020 läuft.

3.3 „Politik – Szenario“:

In diesem Szenario wurde angenommen, dass die steuerlichen Rahmenbedingungen stärker im Sinne einer Effizienzverbesserung der Antriebe und einer Verringerung der Treibhausgasemissionen gestaltet werden. Grundsätzlich wurde jedoch davon ausgegangen, dass das existierend steuerliche Portfolio (MÖSt, NOVA, KFZ-Steuer) in seiner Grundstruktur beibehalten wird, jedoch mit dem Ziel einer Emissionsreduktion verschärf wird. Es wurde daher angenommen, dass die Mineralölsteuer auf fossile Kraftstoffe kontinuierlich erhöht wird, um auf diese Weise effiziente Antriebe zu fördern. Bei der Besteuerung der Fahrzeuge wurde angenommen, dass die existierende Zulassungssteuer zur Förderung effizienter Antriebsysteme weiter verschärft wird. Konkret wurde basierend auf dem existierenden Schema, die Grenze, ab der das Bouns-Malus System für Treibhausgasemissionen greift, herabgesetzt, was zu einer höherer Steuerbelastung für weniger effiziente Antriebe führt (siehe Table 5 & Table 6). In diesem Szenario wurden jedoch keine Maßnahmen gesetzt die direkt auf die Förderung der Elektromobilität abzielen.

Table 5: Politische Rahmenbedingungen im "Politik-Szenario"

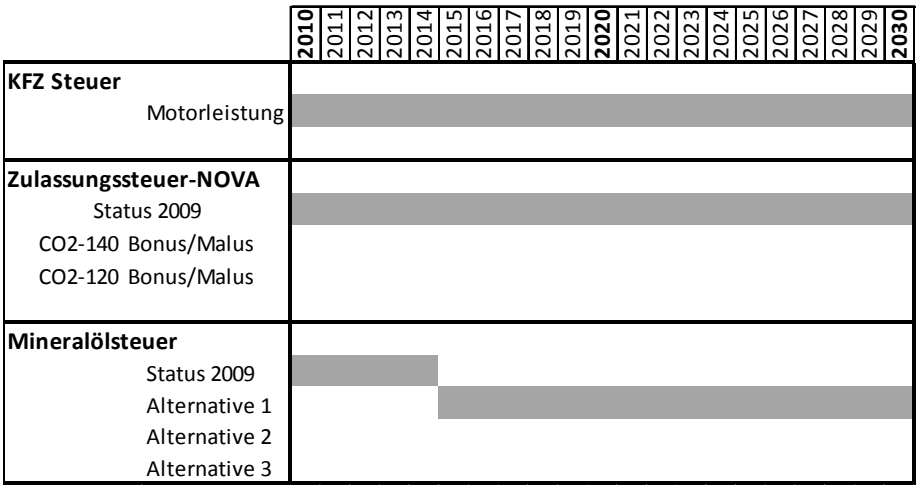


Table 6: Mineralölsteuer

	Status 2009	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
	€/kWh	€/kWh	€/kWh	€/kWh
Gasoline	0,051	0,05	0,07	0,1
Diesel	0,036	0,05	0,07	0,1
CNG	0,004	0,05	0,07	0,1
Electricity	0,02	0,02	0,02	0,02
H2	0	0	0,02	0,02

3.4 „Politik + E-Mob. – Szenario“

In diesem Szenario wurde angenommen, dass sich die politischen Rahmenbedingungen entsprechend dem „Politik-Szenario“ ändern und es darüber hinaus eine Förderung für elektrische Fahrzeuge gemäß dem „Elektromobilität-Förderung-Szenario“ gibt.

4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel wird gezeigt wie sich die unterschiedlichen politischen Rahmenbedingungen in den Szenarien auf die Markt- und Bestandsdurchdringung der Antriebsysteme auswirken. Weiters wird gezeigt wie sich die Szenarien auf den Energieverbrauch, den Energieträger-Mix und die Triebhausgasemissionen des PKW Sektors auswirken.

4.1 “Business-as-Usual Szenario” (BAU-Szenario)

In Abbildung 10 ist veranschaulicht wie sich die Markanteile der Antriebsysteme bei gleich bleibenden politischen Rahmenbedingungen entwickeln. Man erkennt, dass es kurz- bis mittelfristig zu einem ausgeprägten Trend zu Hybridantrieben kommt, welche zur dominierenden Technologie werden. Die größten Markanteile erlangen dabei schwach elektrifizierte Antriebe wie Micro- und Mild-Hybride. Voll-elektrifizierte Antriebsysteme gewinnen nur sehr langsam an Marktanteilen.

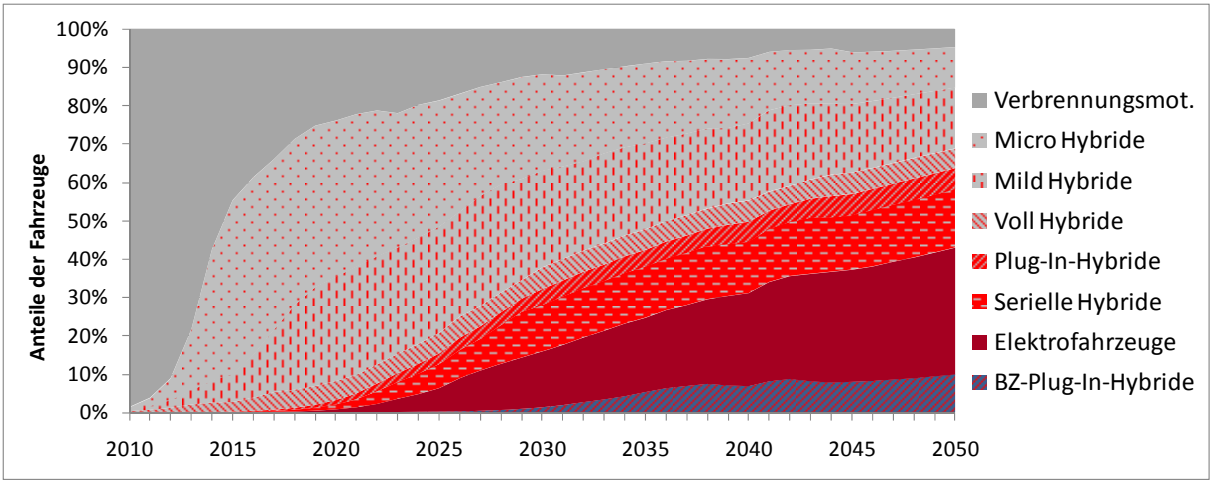


Abbildung 10: Entwicklung der Marktanteile der Antriebsysteme – „BAU-Szenario“

Abbildung 11 zeigt die Entwicklung der gesamten Flotte in diesem Szenario aufgeschlüsselt nach Antriebsystemen. Aufgrund der Trägheit in der Flottenerneuerung kommen die Markttrends hier mit einer Zeitverzögerung zum Tragen. So bleiben im Bestand Verbrennungsmotor basierte Antriebe bis etwa 2040 dominant.

Im „BAU-Szenario“ erreichen primär elektrisch betrieben Fahrzeuge, dazu gehören neben dem Elektrofahrzeug auch der Plug In Hybrid (PHEV), Serielle Hybridantriebe (SHEV) und Brennstoffzellen Plug-In-Hybrid (FC-PHEV), etwa 3,2% Marktanteil. Bis 2030 steigt dieser Anteil auf 32% an.

Bis 2020 werden so knapp 25 000 Fahrzeuge im Bestand erreicht, was etwa 0,5 Prozent der Flotte entspricht. Bis 2030 wächst diese Zahl auf etwa 620 000 Fahrzeuge an (7,4% der Flotte).

Obwohl auch in diesem Szenario ein Anstieg des globalen Rohölpreises unterstellt wurde verringern sich durch die bessere Effizienz der Antrieb die spezifischen Kosten [€/km]. Dies führt dazu, dass die Kosten für PKW-Mobilität vergleichsweise niedrig bleiben, wodurch der Bedarf danach hoch bleibt. Dies kommt in diesem Szenario durch ein weiteres Anwachsen der Flotte zum Ausdruck.

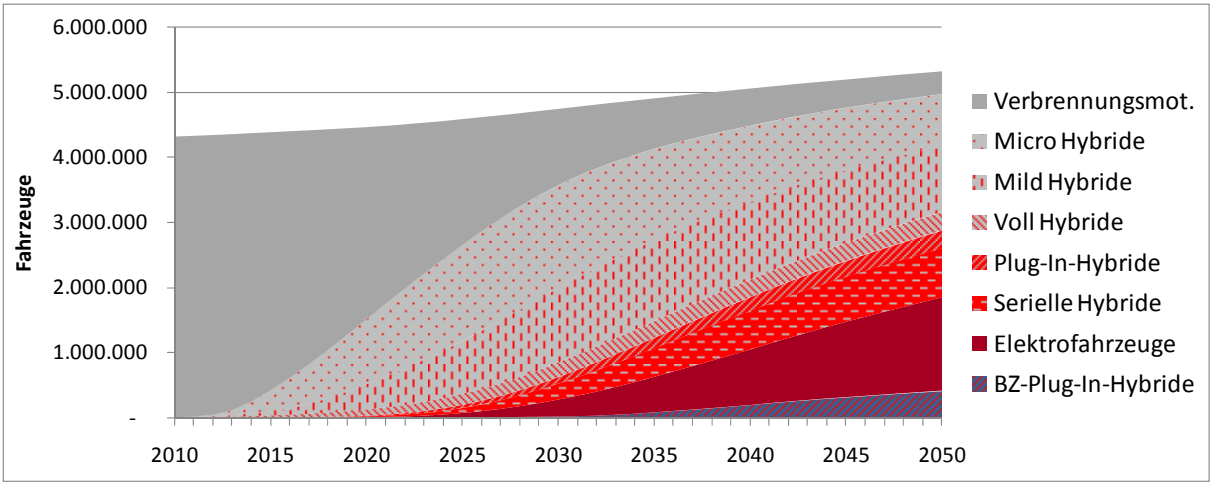


Abbildung 11: Entwicklung des Fahrzeugbestands nach Antriebsystemen – „BAU-Szenario“

Abbildung 12 zeigt den Endenergieverbrauch im BAU-Szenario. Da Verbrennungsmotor basierte Antriebe bis etwa 2040 im Bestand dominieren kommt es zu keinen wesentlichen Einsparungen im Energieverbrauch. Die steigende Effizienz der Antriebe wirkt sich zwar verbrauchsenkend aus, dieser Effekt wird jedoch durch das Wachstum der Flotte abgeschwächt. Mit wachsender Bedeutung von Strom nimmt der Endenergieverbrauch zwar ab, hier muss aber für eine korrekte Bewertung der kumulierte Energieverbrauch herangezogen werden, welcher die Bereitstellung der Energieträger mit berücksichtigt (siehe Abbildung 13). Dieser weist demgegenüber einen deutlich schwächeren Rückgang des Energieverbrauchs auf. Der erneuerbare Anteil im kumulierten Energieaufwand ist auf

die Beimischung von Biokraftstoffen zurückzuführen. Hier wird davon ausgegangen, dass die Beimischung von 5,75% im Jahr 2010 auf 8,5% im Jahr 2020 erhöht wird.

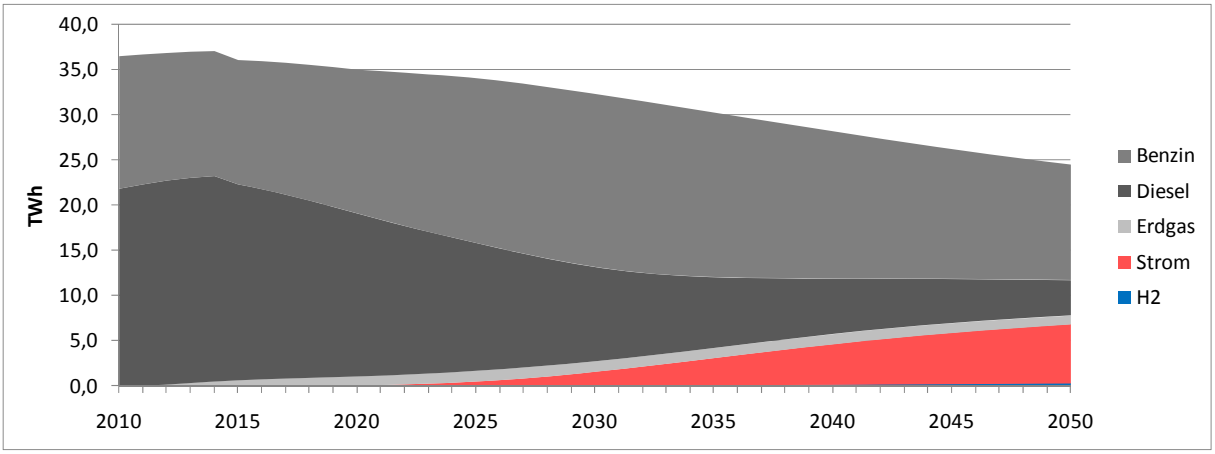


Abbildung 12: Endenergieverbrauch – „BAU-Szenario“

In den Darstellungen des Energieverbrauchs sind auch die unmittelbaren Auswirkungen von Preiserhöhungen auf das Nutzerverhalten zu erkennen. So führt die angenommene Angleichung der Besteuerung von Diesel auf das Niveau von Benzin zu einem erkennbaren Rückgang des Energieverbrauchs.

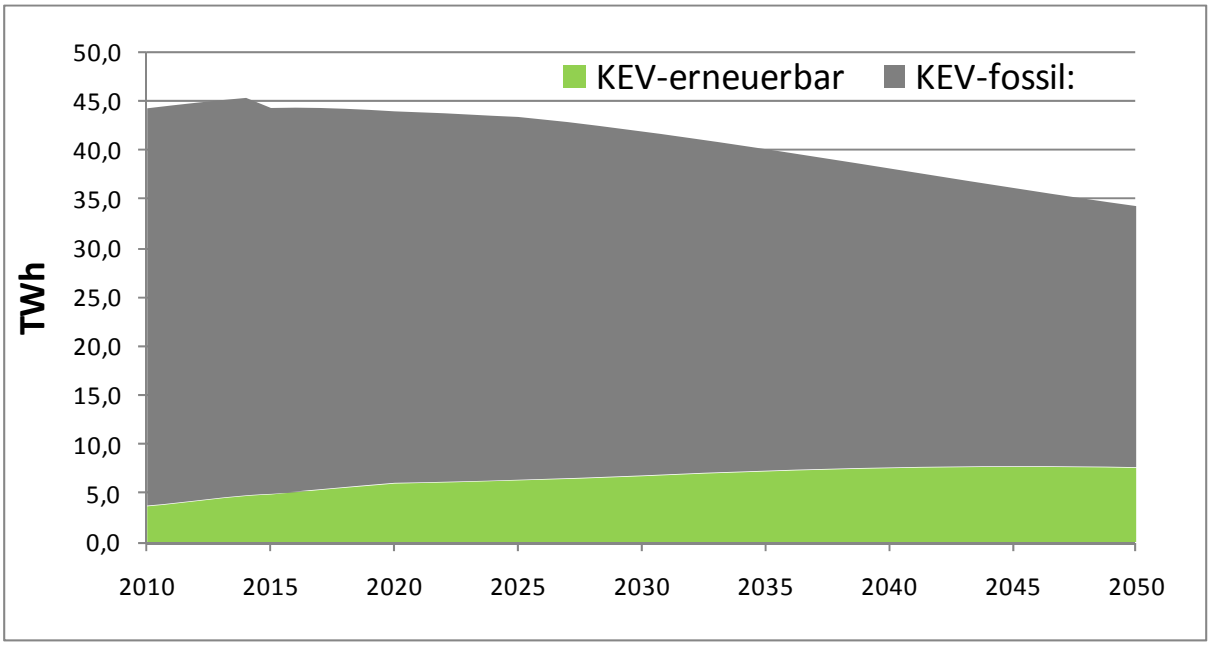


Abbildung 13: Kumulierter Energieverbrauch – „BAU-Szenario“

In Abbildung 14 sind die Treibhausgasemissionen in der Betrachtung Well-to-Wheel (WTW), also unter Berücksichtigung der gesamten Umwandlungskette der Energiedienstleistung, abgebildet. Dies beinhaltet neben den Emissionen aus der Verbrennung des Kraftstoffes auch jene Emissionen die sich aus der Bereitstellung des Kraftstoffes ergeben und jene, die durch die Produktion der Fahrzeuge verursacht werden.

Man erkennt, dass die Emissionen in diesem Szenario bis etwa 2015 leicht ansteigen. Mittelfristig gehen sie dann leicht zurück, was auf die Effizienzverbesserung bei den Antriebsysteme zurückzuführen ist. Ab etwa 2025 verzeichnen sie einen stärkeren Rückgang was auf die stärkere Verbreitung elektrischer Antriebe und die Nutzung von Strom als Energieträger zurückzuführen ist.

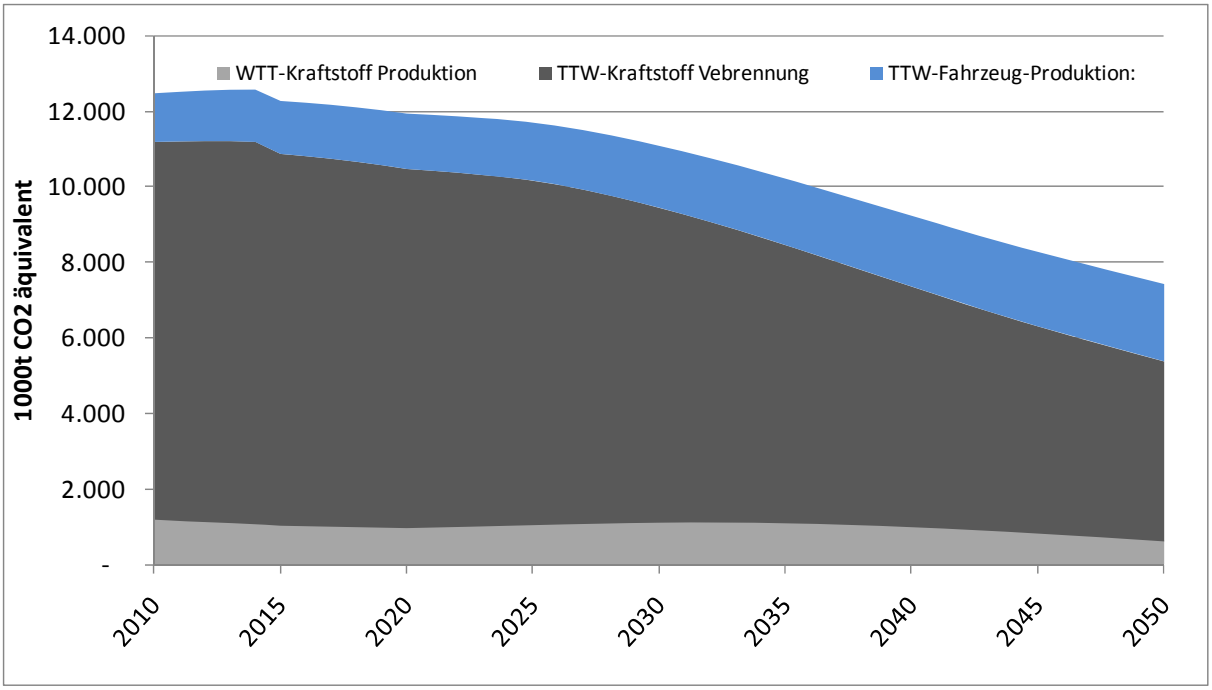


Abbildung 14: WTW-Treibhausgasemissionen - "BAU - Szenario"

4.2 E-Mobilität Förderung

Anhand dieses Szenarios sollte untersucht werden welche Effekte eine gezielte Förderung von Elektrofahrzeugen auf deren Markanteile hat. Wie in Abbildung 15 ersichtlich ist verzeichnen die elektrischen Antriebe aufgrund der Förderung ein starkes Wachstum. So wird bis 2020 ein Anteil von über 9% an den Neuverkäufen erreicht. Dadurch werden bis 2020 etwa 70 000 elektrische Fahrzeuge in der Flotte erreicht. Nach Wegfall der Förderung kann dieser Trend dann aber nur in abgeschwächter Form fortgesetzt werden was zu einem Marktanteil von etwa 32% bis 2030 führt und zu etwa 680 000 Fahrzeugen im Bestand. Generell zeigt die Bestandsentwicklung langfristig eine ähnliche Entwicklung wie im „BAU-Szenario“.

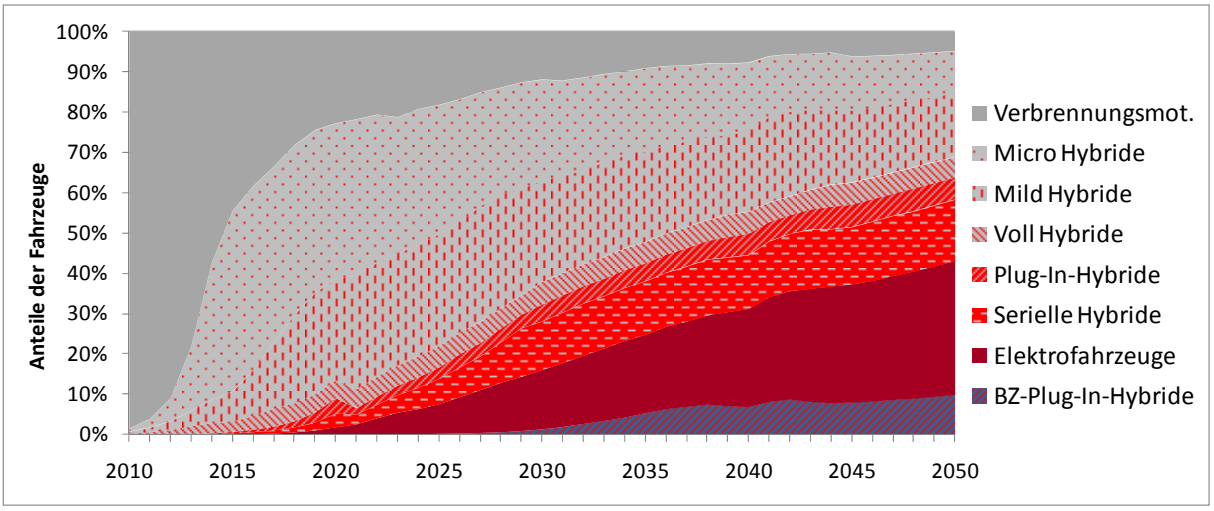


Abbildung 15: Entwicklung der Marktanteile der Antriebsysteme –„E-Mob.-Förderung-Szenario“

4.3 Politik-Szenario

In diesem Szenario kommt es nicht zu einer gezielten Förderung von Elektrofahrzeugen sonder zu es werden generell bessere Rahmenbedingungen für effiziente Antriebsysteme geschaffen (siehe Kapitel

3.3). Dadurch können im Bereich der Elektrofahrzeuge zwar kurzfristig nicht jene Effekte erzielt werden wie sie durch gezielte Förderung möglich sind, mittel- bis langfristig kommt es jedoch zu einer deutlich stärkeren Verbreitung. So beträgt der Marktanteil elektrischer Antriebsysteme 5,1% und es befinden sich zu diesem Zeitpunkt etwa 36 000 elektrisch angetriebene Fahrzeuge in der Flotte. Bis 2030 steigt der Marktanteil jedoch auf über 70% und die Anzahl der Fahrzeuge in der Flotte steigt bis dahin auf über 1,3Mio. Langfristig kommt es damit in diesem Szenario zu einer fast vollständigen Substitution konventioneller Antriebsysteme durch elektrische Antriebe.

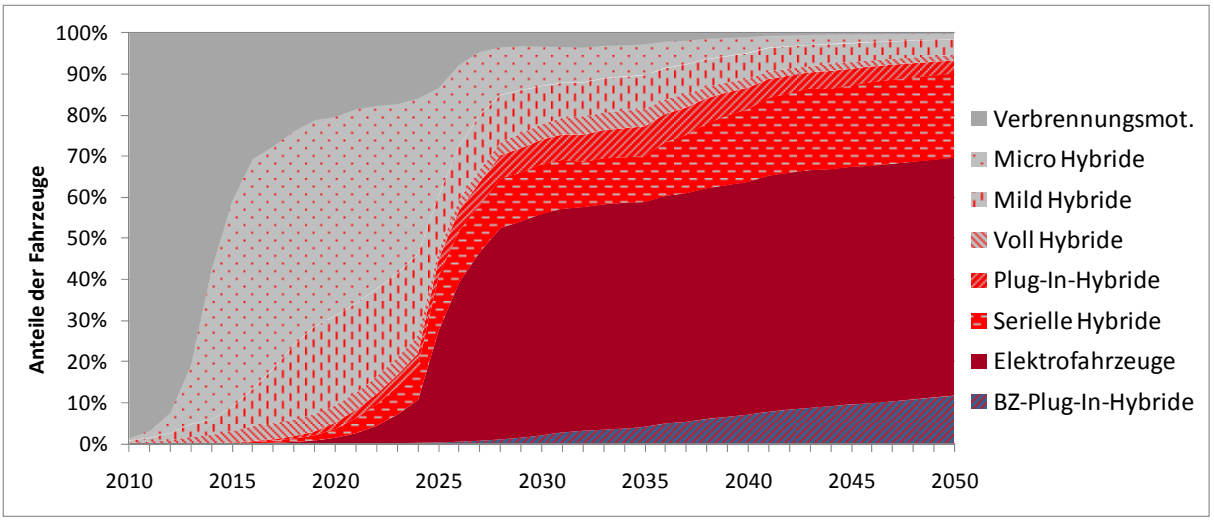


Abbildung 16: Entwicklung der Marktanteile der Antriebsysteme –„Politik-Szenario“

4.4 Politik + E-Mobility Förderung – Szenario

Dieses Szenario veranschaulicht welche Markt- und Bestandsdurchdringungen elektrischer Antriebe möglich sind wenn ein breites Spektrum direkter und indirekter Fördermaßnahmen angewandt wird. Wie in Abbildung 17 ersichtlich steigen die Marktanteile elektrischer Antriebsysteme in den Jahren 2015 bis 2020 stark an. Im Jahr 2020 erreichen Elektrofahrzeuge und Plug-In Hybride einen Marktanteil von 13,8% und knapp 100 000 Fahrzeuge in der Gesamtflotte. Dann kommt es aufgrund des Wegfalls der Förderung zu einem leichten Rückgang der Marktanteile. In den Folgejahren setzt sich das Wachstum jedoch weiter fort. Im Jahr 2030 beträgt der Marktanteil elektrischer Antriebe bereits 74% und deren Bestand erreicht bereits knapp 1,5Mio Fahrzeuge.

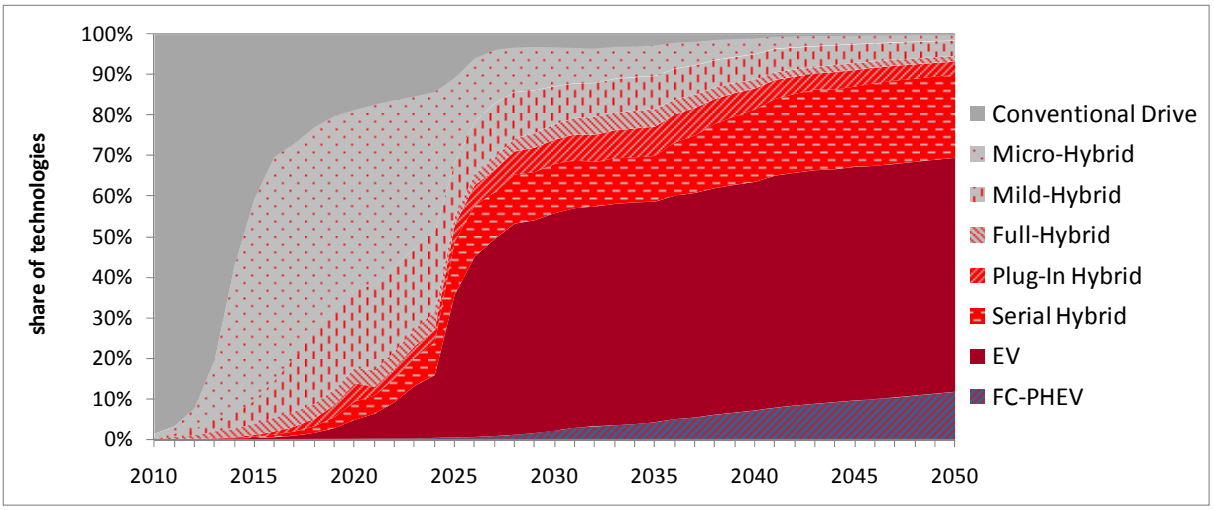


Abbildung 17: Marktanteile der Antriebsysteme – „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“

An der Bestandsentwicklung in Abbildung 18 ist deutlich zu erkennen, wie es ab etwa 2020 zu einer Substitution konventioneller Antriebsysteme durch alternative kommt. Darüber hinaus bewirkt das höhere Preisniveau der Energiedienstleistung PKW-Mobilität in diesem Szenario, dass es zu einer

Stagnation der Nachfrage nach dieser Art von Mobilität kommt, was dazu führt, dass sich die Flotte in etwa auf dem Niveau von 2010 stabilisiert.

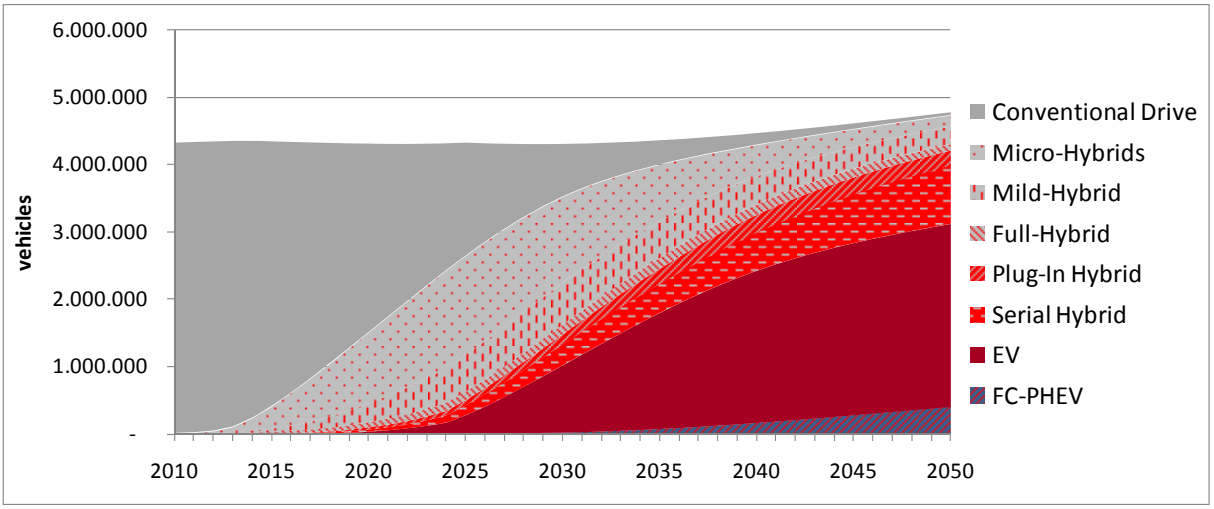


Abbildung 18: Entwicklung des Fahrzeugbestands nach Antriebsystemen – „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“

In Abbildung 19 ist dargestellt wie sich die Maßnahmen in diesem Szenario auf den Endenergieverbrauch auswirken. Benzin und Diesel verlieren in diesem Szenario stark an Bedeutung während Strom als Energieträger immer wichtiger wird. Man erkennt auch deutlich wie sich die Anhebungen der Mineralölsteuer (2011, 2014, 2025) unmittelbar auf die Nutzerintensität der PKW und damit auf den Endenergieverbrauch auswirken. Insgesamt kommt es zu einem starken Rückgang des Endenergieverbrauchs. Da hier hohe Stromanteile im Energieträger Mix vorliegen ist der Gesamtenergieverbrauch für dieses Szenario jedoch aussagekräftiger (Abbildung 19). Doch selbst unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung kommt es bis 2050 zu einem Rückgang des Energieverbrauchs um etwa 50%.

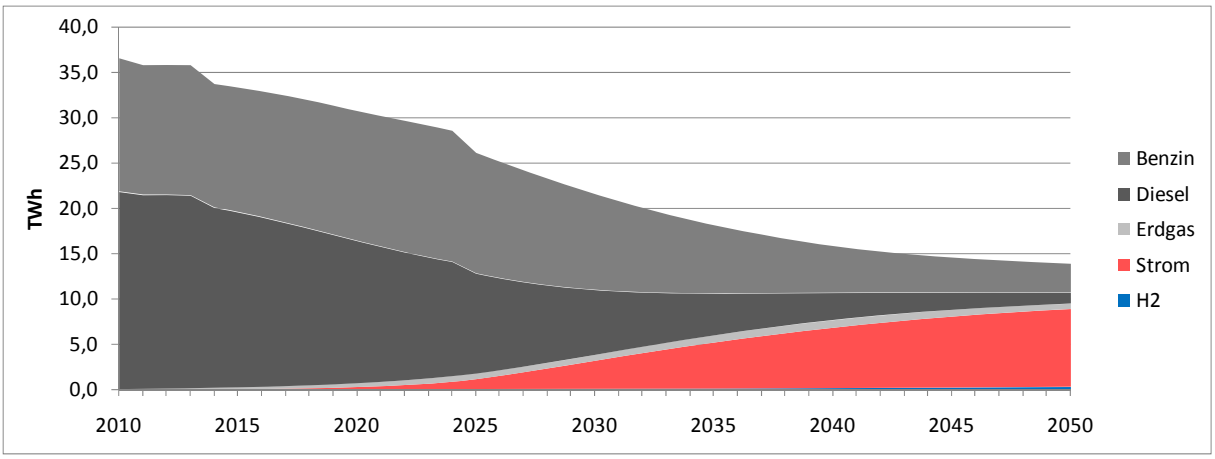


Abbildung 19: Endenergieverbrauch - „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“

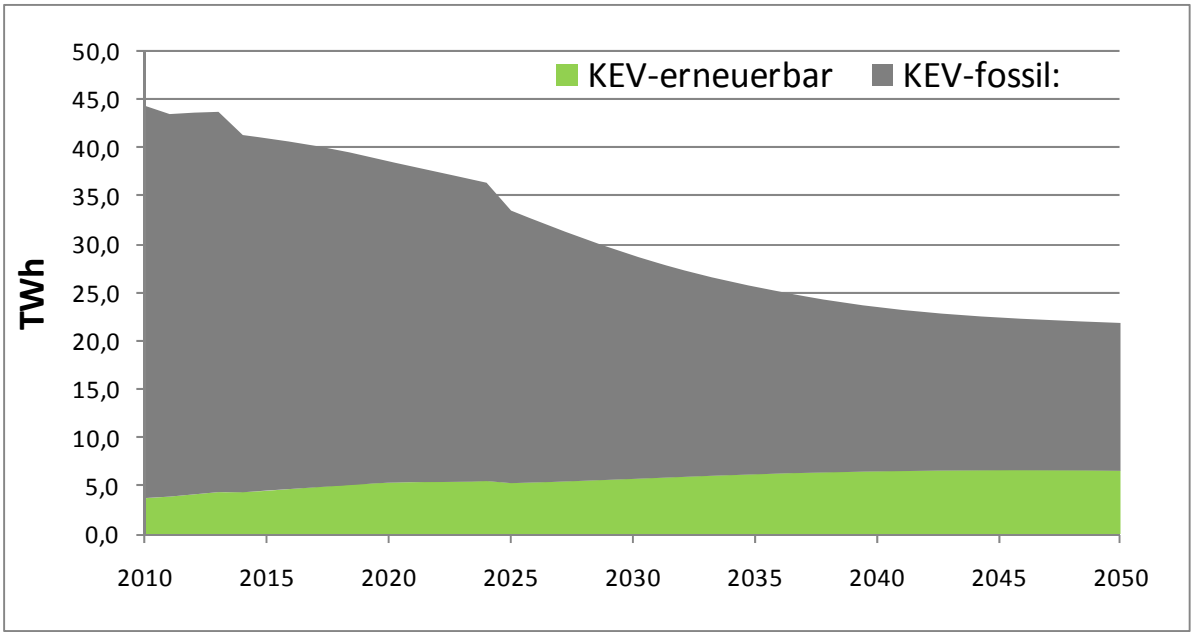


Abbildung 20: Kumulierter Energieverbrauch - „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“

Auch bei den Triebhausgasemissionen kommt es zu einem deutlichen Rückgang bis 2050. Hier spielt die Art der Stromerzeugung eine zentrale Rolle. Bei den in Abbildung 21 angeführten Werten wurde angenommen, dass der Strom für die Elektrofahrzeuge aus erdgasbefeuerten GuD Anlagen stammt. Man sieht, dass selbst unter Annahme einer fossilen Erzeugungstechnologie durch die Verwendung elektrischer Antriebsysteme ein starker Rückgang der Emissionen erreicht wird.

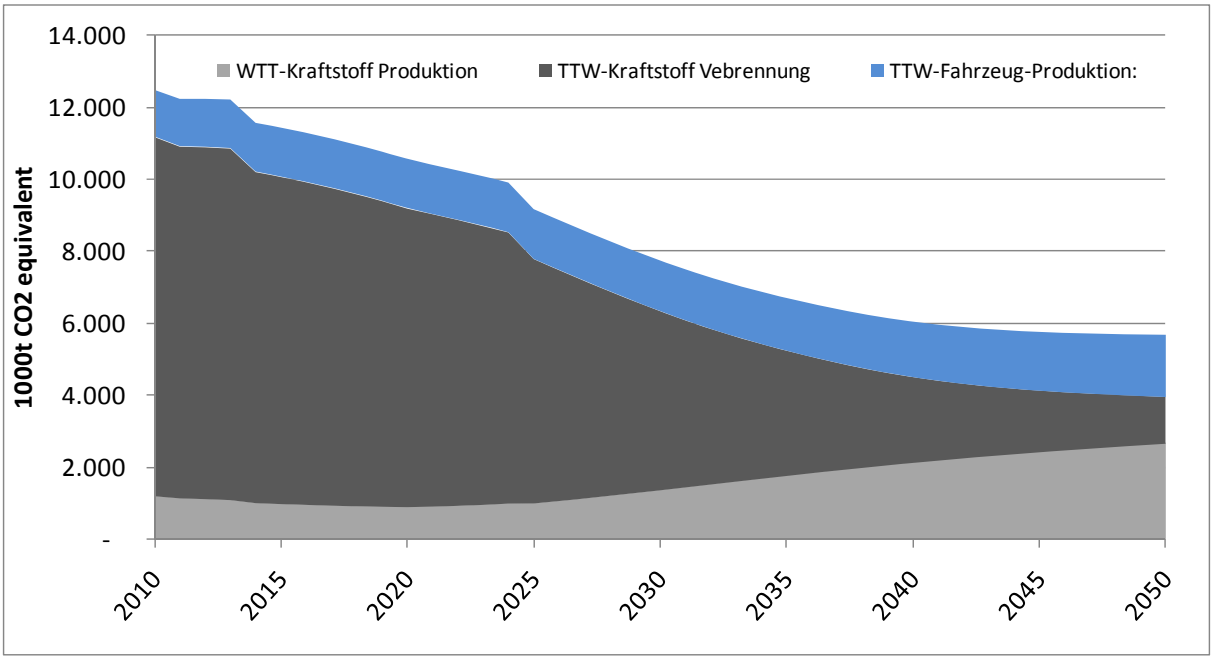


Abbildung 21: WTW-Treibhausgasemissionen „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“

Wenn der Strom nicht aus fossiler, sondern aus erneuerbare Stromerzeugung stammt, dann lassen sich diese Emissionen noch einmal deutlich reduzieren. Bis 2050 ist so eine Reduktion der PKW-verursachten THG-Emissionen um über 70% möglich.

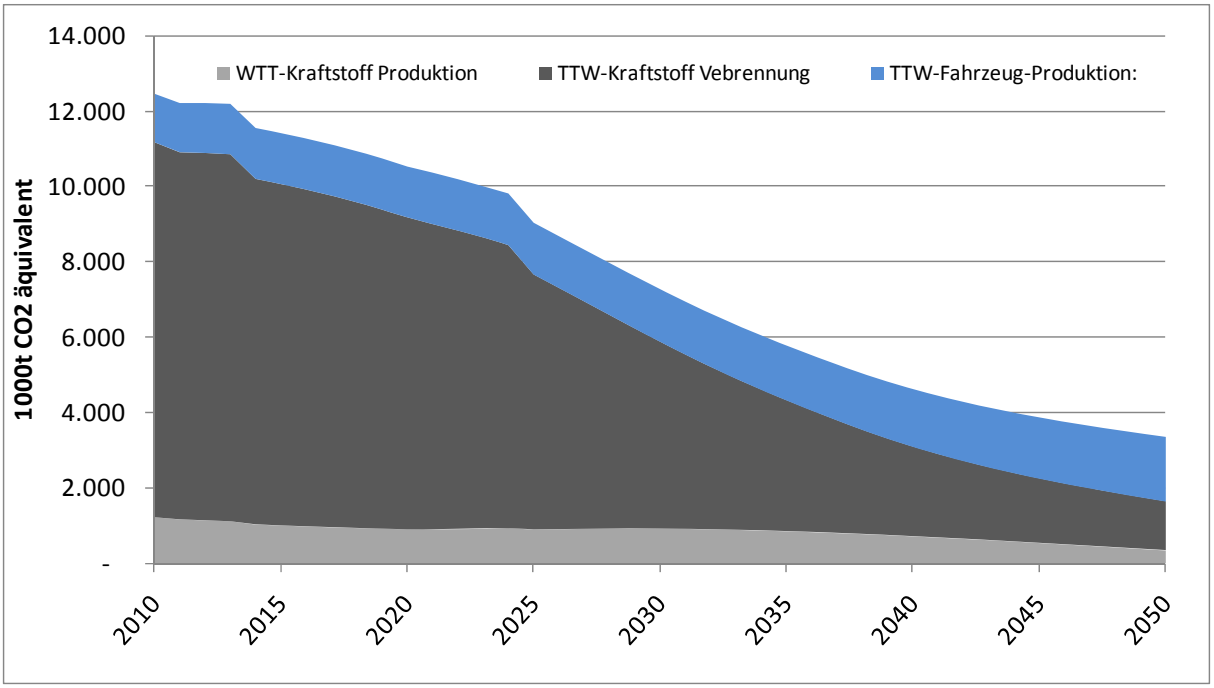


Abbildung 22: WTW-Treibhausgasemissionen - „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“ & Strom 100% aus Erneuerbaren

Die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen wirkt sich auch auf den kumulierten Energieverbauch aus. Hier kann der Anteil fossiler Energie im PKW Bereich um bis zu 80% reduziert werden.

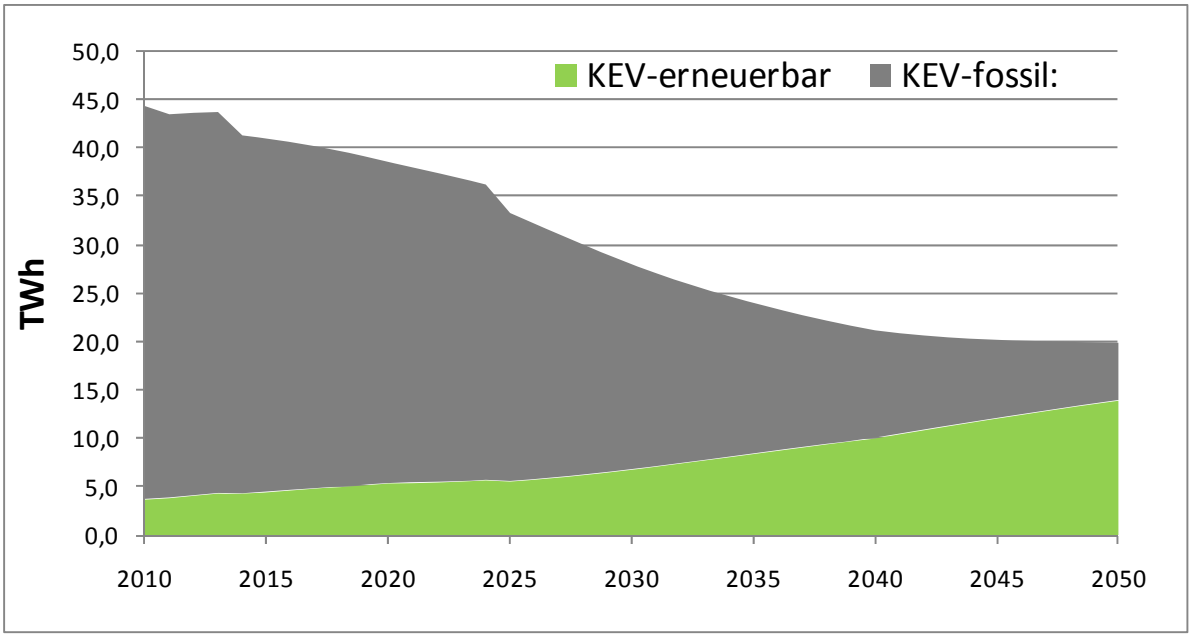


Abbildung 23: Kumulierter Energieverbrauch „Politik + E-Mobility Förderung – Szenario“ & Strom 100% aus Erneuerbaren

5 Schlussfolgerungen

Elektrifizierte Antriebe erleben in allen Szenarien ein deutliches Wachstum. Diese Entwicklung kann daher als robust angesehen werden. Hauptverantwortlich für diese Entwicklung ist der steigende Preis für fossile Kraftstoffe, der allen Szenarien zugrundegelegt wurde. Die Elektrifizierung des Antriebs im Sinne von Hybridantrieben ist ein logischer Schritt um die Effizienz verbrennungsmotor-basierter Antriebe zu steigern und wird bei steigendem Energiepreis auch aus wirtschaftlicher Sicht immer attraktiver. Wie am BAU-Szenario erkennbar wurde lassen sich Energieverbrauch und THG Emissionen so nur geringfügig und nur sehr langfristig reduzieren. Eine stärkere Reduktion erfordert den Einsatz noch effizienterer Antriebsysteme.

Voll elektrifizierte Antriebe können sich bei der hier angenommenen Entwicklung des Rohölpreises kurz- bis mittelfristig jedoch nicht durchsetzen. Um deren Verbreitung zu fördern sind zusätzliche Eingriffe der öffentlichen Hand erforderlich. In den Szenarien zeigte sich, dass durch gezielte Förderung (z.B. 2010-2020) zwar kurzfristig eine höhere Anzahl an E-Fahrzeugen in der Flotte erreicht werden können, eine Substitution der Gesamtflotte ist so aber im betrachteten Zeitraum nicht möglich.

Als wesentlich effektiver stellten sich die Änderungen der allgemeinen steuerlichen Rahmenbedingungen für PKW heraus („Politik-Szenario“). Durch eine Kombination steuerlicher Maßnahmen die sowohl antriebs- als auch kraftstoffseitig greifen lässt sich die Verbreitung elektrischer Antriebe nachhaltig fördern ohne ausufernde Förderkosten zu verursachen. Auf diese Weise ließe sich bis 2050 eine weitgehende Substitution konventioneller Antriebsysteme durch elektrische in der Fahrzeugflotte erzielen.

Der Energieverbrauch und die Triebhausgasemissionen können durch elektrische Antriebe deutlich reduziert werden. Hier spielt jedoch die Art der Stromerzeugung eine wesentliche Rolle. Es zeigt sich aber, dass selbst bei fossiler Stromerzeugung die THG Emissionen im PKW Sektor durch elektrische Antriebe stark gesenkt werden können (Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Anlagen). Bei Verwendung von Strom aus erneuerbaren Quellen sind Reduktionen von über 70% bis 2050 möglich. Auch der Energieverbauch ließe sich so um über 50% reduzieren. Bei erneuerbarer Stromerzeugung könnte der fossile Anteil des Energieverbrauchs sogar um über 80% reduziert werden.

Referenzen

[1] M. Kloess, A. Weichbold, und K. Könighofer, “Technical, Ecological and Economic Assessment of electrified powertrain systems for passenger cars in a dynamic context (2010 to 2050),” *The International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium – EVS-24*, Stavanger: 2009.

[2] G. Erdmann und P. Zweifel, *Energieökonomik*, Springer, 2008.

[3] Statistics Austria, “public available statistic information on the Austrian vehicle fleet,” 2009.

[4] M. Kloess und R. Haas, “ELEKTRA-Project final Report,” Okt. 2009.

[5] J. Axsen, A. Burke, und K. Kurani, *Batteries for Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Goals and the State of Technology circa 2008*, Institute of Transportation Studies University of California Davis, CA, 2008.

[6] G. Passier, F.V. Conte, S. Smets, F. Badin, A. Brouwer, M. Alaküla, und D. Santini, *Status Overview of Hybrid and Electric Vehicle technology (2007)*, IEA, 2007.

[7] P. Kapros, L. Mantzos, V. Papandreu, und N. Tasios, *European Energy and Transport - Tends to 2030 - Update 2007*, European Commission Directorate-General for Energy and Transport, 2008.