

Zukünftige PKW- Nutzerkosten in Deutschland

Endbericht

Karlsruhe, 9.06.2017

für

Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.

M-Five GmbH

Mobility, Futures, Innovation, Economics

Bahnhofstraße 46, 76137 Karlsruhe

Dr. Wolfgang Schade

Wissenschaftliche Leitung

Tel: +49 721 82481890

wolfgang.schade@m-five.de

www.m-five.de

Bearbeiter und Autoren:

Wolfgang Schade, Johannes Hartwig

M-Five GmbH Mobility, Futures, Innovation, Economics. Bahnhofstr. 46, 76137 Karlsruhe, Germany.

Alex Stewart, Tristan Dodson

Element Energy, 78 Margaret Street, London, W1W 8SZ, United Kingdom.

Danksagungen

Die Studie wurde von drei Stakeholder-Workshops begleitet. Wir möchten gerne den Teilnehmern der Workshops für ihre Mitarbeit und konstruktive Kritik danken. Durch die Diskussionen und nachgelagerten Feedbacks war es möglich, die Ergebnisse besser und unter Berücksichtigung vielfältiger Gesichtspunkte zu validieren.

Auch wenn in den Workshops versucht wurde einen Konsens zwischen den Teilnehmern herzustellen, war dies nicht immer möglich. Es wurde allerdings bei Dissens die Mehrheitsentscheidung berücksichtigt. Die Ergebnisse, welche in diesem Beitrag dargestellt werden, spiegeln folglich weder in allen Fällen die Meinung der einzelnen Teilnehmern wider und insbesondere entsprechen sie nicht den offiziellen Positionen der einzelnen Verbände, Organisationen oder Unternehmen.

Die folgenden Teilnehmer und Organisationen haben zum Gelingen der Workshops und Erstellen der vorliegenden Studie beigetragen:

Andrea Gärtner (ADAC), Michael Niedermeier (ADAC), Kerstin Meyer (Agora-Verkehrswende), Sabine Zwiener (ARVAL), Sylvia Maurer (BEUC), Matthias Breust (BSM), Tomic Ruschmeyer (BSM), Randolph Brechmann (DAT), Jens Nietzsche (DAT), Martin Weiss (DAT), Katrin Riegger (ECF), Dr. Martin Rocholl (ECF), Huy Tran (ECF), Peter Mock (ICCT), Paul Wolfram (ICCT), Julius Jöhrens (ifeu), Patrick Schöne (Mobility Center GmbH), Philipp Braunsdorf (NOW GmbH), Dominique Sevin (NOW GmbH), Niklas Wachholtz (teilAuto), Reinhard Herbener (UBA), Dr. Martin Lange (UBA), Michael Müller-Görnert (VCD), Marion Jungbluth (vzbv), Gregor Kolbe (vzbv)

Alle Werte sind ausgedrückt in EUR zum Jahr 2014 (kaufkraftbereinigter Wert).

Executive Summary

Der deutsche Automobilmarkt wird momentan von Personenkraftwagen (PKW) mit Verbrennungsmotor dominiert. In den Energie- und Klimazielen der Bundesregierung ist angestrebt, die Treibhausgasemissionen dieser Fahrzeuge zu vermindern. Neben einer deutlichen Effizienzsteigerung der Autos bedeutet dies faktisch einen Wechsel hin zu alternativen Antrieben bzw. zumindest eine deutliche Verstärkung der Marktdurchdringung von Fahrzeugen, deren Antrieb sich nicht allein auf einen Verbrennungsmotor stützt. Dies wird zwangsläufig Auswirkungen für Verbraucher haben. Um insbesondere die sich ergebenden finanziellen Auswirkungen abschätzen zu können, ist eine Analyse der zukünftigen finanziellen Belastungen der Verbraucher durch diese neuen Antriebsarten im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsmotoren notwendig. Aus diesem Grund hat der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) M-Five mit einer entsprechenden Analyse beauftragt.

Die Beurteilung der zukünftigen Nutzerkosten baut auf einer Studie von Element Energy (2016) auf, welche in einer zweistufigen Modellierung zukünftige Entwicklungen bis 2030 für verschiedene Antriebsoptionen sowie Fahrzeugsegmente abgeschätzt hat. Diese Studie wurde für den europäischen Markt erstellt und basiert zum Teil auf den Erkenntnissen früherer europäischer Studien von Ricardo-AEA (2015a, 2015b), Element Energy und ICCT(2015) sowie eigenen Berechnungen. Die Studie von Element Energy (2016) verwendet zwei Modellteile: einerseits ein Komponentenmodell zur Abschätzungen von zukünftigen Kraftstoffverbräuchen, Emissionen sowie Komponentenkosten wie Batterie- und Antriebskosten und andererseits ein Vollkostenmodell zur Abschätzung zukünftiger Kraftstoffpreisentwicklungen, Wiederverkaufswerte, Finanzierungs- sowie Wartungskosten in Abhängigkeit von jährlicher Laufleistung und Anschaffungsjahr des Fahrzeugs. Für die vorliegende Studie wurde dabei das Komponentenmodell aus der europäischen Studie unverändert übernommen und das Vollkostenmodell an die spezifischen deutschen Gegebenheiten angepasst.

Die Anpassungen des Vollkostenmodells für diese Studie erfolgten u.a. im Rahmen von Diskussionen eines Expertenkreises mit Vertretern aus Verbänden, Unternehmen, öffentlichen Institutionen sowie Forschungseinrichtungen. Da eine Konsensentscheidung nicht in allen Fällen innerhalb des Kreises möglich war, spiegelt diese Studie die Mehrheitsentscheidung der Teilnehmer wider, wobei die Positionen und Meinungen einzelner Vertreter dieser nicht entsprechen müssen.

Die Berechnungen der zweistufigen Modellierung umfassen insgesamt neun Fahrzeugklassen bzw. Segmente, welche auch größtenteils kongruent mit der Einteilung des Kraftfahrtbundesamtes sind. Zunächst werden in dem PKW-Komponentenmodell für die verschiedenen Antriebssysteme Kosten- und Effizienzentwicklungen fortgeschrieben und plausibilisiert. Dabei werden Abweichungen des Ist-Verbrauchs zum Neuen Europäischen Fahrzyklus in den Verbrauchswerten berücksichtigt. Neben der Verwendung der oben genannten europäischen Studien erfolgte die Plausibilisierung im Rahmen von Expertenworkshops, ebenfalls auf europäischer Ebene. Dieses Komponentenmodell wurde ohne Veränderung von der europäischen Studie übernommen, da nicht davon ausgegangen wird, dass es auf

Ebene der Technologien der Einzelkomponenten größere Abweichungen des deutschen Marktes gibt.

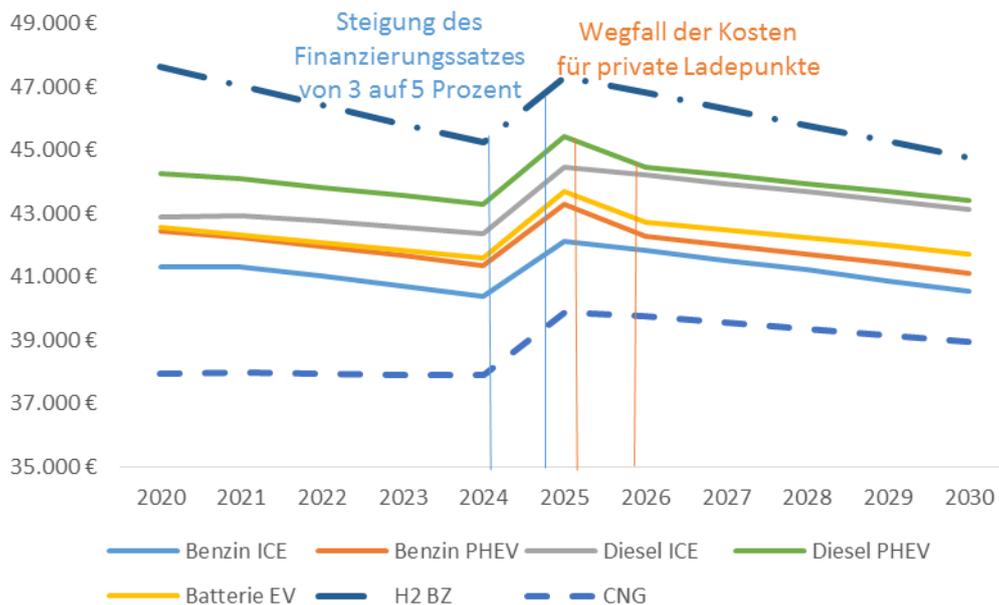
Die Anpassungen des Modells der Vollkostenrechnung für den deutschen Markt umfassen im Wesentlichen die Listenneupreise, Restwertkurven, die Berücksichtigung von Extras und Sonderausstattungsmerkmalen, Energiesteuern sowie weitere spezifische kostenwirksame Veränderungen. Dabei konnte sowohl auf die Expertise der Teilnehmer des Expertenkreises als auch auf umfangreiche Auswertungen des deutschen Marktes seitens der Deutschen Automobil Treuhand (DAT) zurückgegriffen werden.

Mittels der Vollkostenrechnung für verschiedene Anschaffungsjahre, Antriebsarten und Haltergruppen konnten als zentrale Ergebnisse der Studie aufgezeigt werden:

- Alternative Antriebe benachteiligen den Verbraucher nicht und haben somit keine langfristigen negativen Auswirkungen aus Kostensicht. Es wurde unterschieden zwischen Erstkäufern sowie Zweit- und Drittbesitzern mit unterschiedlichen Haltedauern der Fahrzeuge. Dabei konnte gezeigt werden, dass alternative Antriebe über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs hinweg bereits ab 2020 günstiger für den Verbraucher sein können. Hierbei profitieren insbesondere die Zweit- und Drittbesitzer, aber unter bestimmten Konstellationen können auch Erstbesitzer zukünftig von alternativen Antrieben profitieren oder zumindest gleichgestellt werden zu Besitzern von Autos mit konventionellen Antrieben.
- Die kontinuierliche Verbesserung der Kraftstoffeffizienz zwischen 2020 und 2030 führt für die Verbraucher bei allen Antrieben zu geringeren Gesamthaltungskosten. Dies gilt insbesondere auch für reine Verbrennerfahrzeuge. Höhere Fahrzeuggrundpreise aufgrund teurer Effizienztechnologien werden durch geringere variable Kosten, v.a. Kraftstoffkosten, kompensiert. Allerdings sorgt ein höherer Finanzierungszinssatz ab 2025 zumindest teilweise dafür, dass die positive Kostenentwicklung wieder zunichte gemacht wird.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch für einen Mittelklassewagen die Vollkosten für den Erstbesitzer, jeweils bezogen auf den Kaufzeitpunkt der Jahre zwischen 2020 und 2030. Berechnungsbasis sind vier Jahre Haltedauer und eine jährliche Laufleistung von 18.000 km. Der Sprung von 2024 zu 2025 resultiert aus einer Erhöhung der angenommenen Finanzierungssätze beim Fahrzeugkauf, zudem fallen von 2025 auf 2026 die Kosten für die Installation eines privaten Ladepunktes für Plug-in-Fahrzeuge weg. Der Erdgas-Antrieb (Compressed Natural Gas – CNG) bleibt dabei, trotz der antizipierten Steuersatzänderung, der kostengünstigste Antrieb für den Erstbesitzer, das Brennstoffzellenfahrzeug das kostenintensivste. Aufgrund seiner noch hohen Effizienzpotentiale werden Benzinautos auch unter Berücksichtigung des geänderten Finanzierungszinssatzes in 2025 im Jahr 2030 günstiger sein als noch 2020.

Abbildung: Entwicklung der Vollkosten für Neuwagen (Erstbesitz) der **Mittelklasse** mit vier Jahren Haltedauer und 18.000 km Jahreslaufleistung zwischen 2020 und 2030



Quelle: Element Energy/M-Five

Für Zweit- und Drittbesitzer sind aufgrund des besseren Verhältnisses von laufenden Kosten zu Anschaffungskosten sämtliche alternativen Antriebe günstiger als der Benziner. Über den gesamten Lebenszyklus (16 Jahre) des Autos und alle drei Besitzergruppen gerechnet gilt ebenfalls, dass alternative Antriebe bereits ab 2020 günstiger sein können als konventionelle (siehe Abbildung 20).

Mit Hilfe der Vollkostenrechnung kann gezeigt werden, dass der Fokus allein auf die Fahrzeugneupreise aus Verbrauchersicht oftmals zu einer verzerrten Wahrnehmung der Gesamtkosten eines Antriebs führt. So können alternative Antriebe vor allem durch die teilweise deutlich geringeren Kraftstoffkosten im Vergleich zu den konventionellen Antrieben punkten und etwaige Fahrzeugmehrpreise kompensieren. Darüber hinaus werden bei allen Antrieben Effizienzgewinne erwartet.

Insgesamt zeigt die Studie auf, dass sich der langfristige Kostendegressionstrend für alle Antriebe weiter fortsetzen wird. Außerdem können durch die Effizienzgewinne der konventionellen Antriebe künftig deutliche Emissionsreduktionen erzielt werden, wobei anzumerken ist, dass die angestrebte Zielerreichung von 2030, was die Emissionsminderung des Verkehrssektors laut dem Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung betrifft, mit hoher Wahrscheinlichkeit nur unter der verstärkten Diffusion alternativer Antriebe gekoppelt mit einem weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung gelingen kann.

Abkürzungsverzeichnis

BEUC	The European Consumer Organisation
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug
CNG	Compressed Natural Gas (komprimiertes Erdgas)
CP	Cost and Performance (Modell), Komponentenmodell
DAT	Deutsche Automobil Treuhand
H2	Wasserstoff
ICE	Internal Combustion Engine, Verbrennungsmotor
ICCT	International Council on Clean Transportation
KBA	Kraftfahrtbundesamt
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
PHEV	Plug-in-Hybrid-Fahrzeug
SUV	Sports Utility Vehicle, "Geländewagen"
TCO	Total Cost of Ownership (Modell), Vollkostenrechnung
ZDK	Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Kurze Beschreibung der Modellierung	4
2.1	Fahrzeugsegmente und Archetypen	4
2.2	Cost and Performance Modell.....	8
2.3	Total Cost of Ownership Modell	10
3	Anpassungen des Modells an den deutschen Markt	13
3.1	Listenneupreise, Durchschnittsfahrleistungen und Restwertkurven.....	14
3.2	Extras und Sonderausstattungen	17
3.3	Deutsche Energiesteuern	20
3.4	Sonstige Anpassungen	23
4	Ergebnisse der TCO-Rechnung.....	26
4.1	Ergebnisse Basisszenario für das Kleinwagensegment	27
4.2	Ergebnisse Basisszenario für das Kompaktklassensegment.....	32
4.3	Ergebnisse Basisszenario für das Mittelklassensegment	39
4.4	Sensitivitätsanalysen	43
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	49
6	Literaturverzeichnis.....	53

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Aufbau der zweistufigen Berechnung der Gesamtbetriebskosten (TCO)...	3
Abbildung 2:	Darstellung des Bottom-up-Ansatzes im Cost and Performance Modell....	8
Abbildung 3:	Komponenten der Total-Cost-of-Ownership- Berechnung.....	12
Abbildung 4:	Restwertkurve für Basisfahrzeug, Verkaufswerte bezogen auf den Listenneupreis (ohne Sonderausstattung).....	15
Abbildung 5:	Restwertkurve der Sonderausstattung (bezogen auf den Listenneupreis der Ausstattung)	20
Abbildung 6:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung	27
Abbildung 7:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2020 mit 18.000 km Jahreslaufleistung	28
Abbildung 8:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2025 mit 15.000 km Jahreslaufleistung	29
Abbildung 9:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2025 mit 18.000 km Jahreslaufleistung	30
Abbildung 10:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2030 mit 15.000 km Jahreslaufleistung	30
Abbildung 11:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kleinwagen für das Kaufjahr 2030 mit 18.000 km Jahreslaufleistung	31
Abbildung 12:	Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse für das Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung	33
Abbildung 13:	Fünf-Jahres-TCO-Rechnung für Gebrauchtwagen (Zweitbesitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse für das Kaufjahr 2020 (des Erstbesitzers) mit 15.000 km Jahreslaufleistung	34
Abbildung 14:	Sieben-Jahres-TCO-Rechnung für Gebrauchtwagen (Drittbesitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse für das Kaufjahr 2020 (des Erstbesitzers) mit 15.000 km Jahreslaufleistung	34
Abbildung 15:	16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung	35

Abbildung 16:	16-Jahres-TCO–Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2020 mit 18.000 km Jahreslaufleistung.....	36
Abbildung 17:	16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2030 mit 15.000 km Jahreslaufleistung.....	37
Abbildung 18:	16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment Kompaktklasse über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2030 mit 18.000 km Jahreslaufleistung.....	38
Abbildung 19:	Entwicklung der 4-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) in der Mittelklasse bei 18.000 km Laufleistung im Zeitverlauf	40
Abbildung 20:	Entwicklung der 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) in der Mittelklasse bei 21.000 km Laufleistung im Zeitverlauf	41
Abbildung 21:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) beim Kleinwagen mit 15.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE.....	44
Abbildung 22:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) beim Kleinwagen mit 15.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE	45
Abbildung 23:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) bei der Mittelklasse mit 21.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE	45
Abbildung 24:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) bei der Mittelklasse mit 21.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE .	46
Abbildung 25:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) bei der Kompaktklasse mit 15.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE.....	47
Abbildung 26:	Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) bei der Kompaktklasse mit 15.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE	48

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Übersicht über die betrachteten Fahrzeugsegmente im TCO-Modell	5
Tabelle 2:	Definition der Archetypen für Diesel PKW	6
Tabelle 3:	Definition der Archetypen für Benzin PKW	7
Tabelle 4:	Definition der Archetypen für rein batterieelektrische PKW (BEV).....	7
Tabelle 5:	Übersicht zu den zentralen Annahmen im CP-Modell	9
Tabelle 6:	Übersicht zur Parametrisierung der Szenarien im TCO-Modell	11
Tabelle 7:	Verkaufswert in Prozent vom Listenneupreis für das Basisfahrzeug	15
Tabelle 8:	Segment- sowie antriebsspezifische jährliche Laufleistungen	16
Tabelle 9:	Ausstattung von PKW-Neuwagen; Sicherheitsausstattung	18
Tabelle 10:	Ausstattung von PKW-Neuwagen; Komfortausstattung	19
Tabelle 11:	Restwert Ausstattung.....	20
Tabelle 12:	Deutsche Energiesteuer nach Kraftstoffart.....	21
Tabelle 13:	Szenario eins für Energiesteuersensitivität	23
Tabelle 14:	Szenario zwei für Energiesteuersensitivität.....	23
Tabelle 15:	Beispielhafte Parametrisierung des TCO-Modells für nachfolgende Abbildungen - Basisszenario.....	26
Tabelle 16:	Emissionsfaktoren für Segment B (Kleinwagen)	32
Tabelle 17:	Emissionsfaktoren für Segment C (Kompaktklasse).....	39
Tabelle 18:	Emissionsfaktoren für Segment D (Mittelklasse)	43

1 Einleitung

Im Rahmen des Übereinkommens von Paris hat sich Deutschland völkerrechtlich verpflichtet, eine Reduktion der Treibhausgasemissionen anzustreben. Diese Reduktion betrifft alle Sektoren der deutschen Wirtschaft und somit auch den Verkehrsbereich. Mit dem Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung wurden Treibhausgasminderungsziele für 2030 formuliert, die den Handlungsbedarf für den Verkehrssektor und somit den Pkw-Verkehr als einen Hauptemittenten klar aufzeigen. Gegenüber 1990 sollen die Emissionen um 40 bis 42 Prozent gesenkt werden, wobei bis 2015 die Treibhausgasemissionen noch auf dem Niveau von 1990 lagen. Für 2015 lag der Gesamtausstoß von PKWs auf deutschen Straßen bei etwa 99 Mio. t CO₂, für den gesamten Straßenverkehr beliefen sich die Emissionen auf knapp 152 Mio. t. und für Gesamtdeutschland auf 792 Mio. t (UBA, 2017). Damit betragen die CO₂-Emissionen der PKWs etwa 12,5% der deutschen Gesamtemissionen. Wenn keine Veränderung im Verkehrsaufkommen oder eine deutliche Verlagerung auf andere Verkehrsträger stattfindet, dann ist eine Dekarbonisierung des motorisierten Individualverkehrs unumgänglich.

Im PKW-Bestand sowie bei den Neuwagen dominieren heute noch PKW angetrieben mit Benzin- oder Diesel-Verbrennungsmotor. Bis zum Jahr 2030 ist mit einer deutlichen Änderung dieser Strukturen zu rechnen, v. a. durch:

1. Die bereits erfolgte Setzung von CO₂-Emissionsstandards für 2021 (95 gCO₂/km für den Schnitt aller Neuwagen in der EU).
2. Die wahrscheinlich noch erfolgende Setzung weiterer und damit auch niedrigerer CO₂-Emissionsstandards für 2025 und/oder 2030.
3. Die technologische Entwicklung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, insbesondere durch teilweise oder vollständige Elektrifizierung des Antriebsstranges und die Weiterentwicklung der Energiespeicher.

Diese Veränderungen werfen die Frage nach den zukünftigen Kosten der PKW-Nutzung in Deutschland auf. Dabei sind nicht nur die Auswirkungen auf den Kauf von Neuwagen relevant, sondern auch für den Gebrauchtwagenmarkt, da insbesondere private Nutzer ihre PKW auf dem Gebrauchtwagenmarkt erwerben: so standen im Jahre 2015 3,2 Mio. Neuzulassungen 7,3 Mio. Besitzumschreibungen gegenüber (DAT, 2016a).

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Studie in einem Expertenkreis die zukünftigen PKW-Nutzerkosten aus Verbrauchersicht diskutiert und geklärt. Dabei wurden plausible Annahmen für mögliche zukünftige Entwicklungen diskutiert und Zwischenergebnisse der Studie geprüft.

Die Beurteilung der zukünftigen Nutzerkosten baut auf einer Studie von Element Energy (2016) auf, welche in einer zweistufigen Modellierung zukünftige Entwicklungen bis 2030 für verschiedene Antriebsoptionen sowie Fahrzeugsegmente abgeschätzt hat. Die Studie wurde für den europäischen Markt erstellt und basiert zum Teil auf den Erkenntnissen früherer europäischer Studien von Ricardo-AEA (2015a, 2015b), Element Energy und ICCT

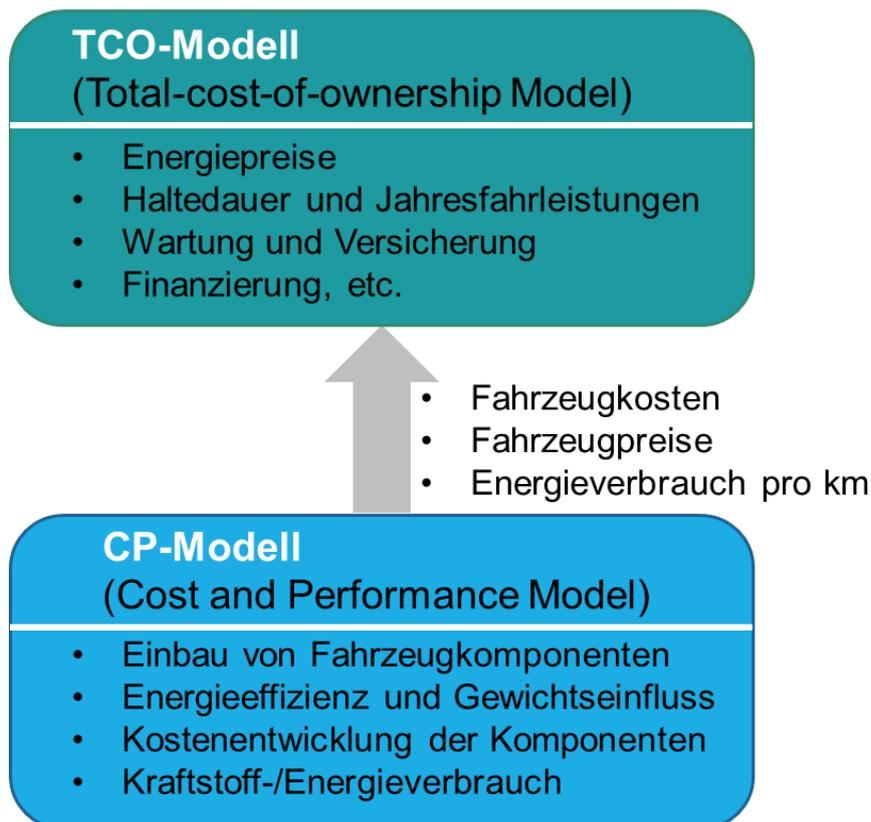
(2015) sowie eigener Berechnungen. Auch die Element Energy-Studie wurde von einem (europäischen) Expertenkreis begleitet, welcher die Annahmen und Ergebnisse validiert hat.

So weit möglich ist die Berechnung/Herleitung der Nutzerkosten faktenbasiert, d.h. gestützt auf öffentliche und allgemein akzeptierte Technologiekostenstudien. Zusätzlich wurde auf die Expertise des (deutschen) Expertenkreises zurückgegriffen, so dass diese Studie speziell für den deutschen Markt Relevanz hat. Es war aber ebenfalls notwendig, verschiedene Annahmen zu treffen. Für diese Annahmen wurde während der Treffen des Expertenkreises versucht, soweit als möglich einen Konsens zu finden. Dies war nicht in allen Fällen möglich. In den Fällen, in welchen kein Konsens zustande kam, wurde der Mehrheitsmeinung gefolgt.

Um eine konsistente Abschätzung der PKW-Nutzerkosten unter Berücksichtigung der verfügbaren Fakten und Annahmen des Expertenkreises zu gewährleisten wurde auf eine Berechnung der Total Cost of Ownership (TCO), d.h. der Gesamtbetriebskosten, zurückgegriffen. Diese erfolgt mit einem zweistufigen Modell der Gesamtbetriebskosten, welches in der bereits erwähnten, europäischen Studie von Element Energy entwickelt wurde, aber für jedes Land auch eine länderspezifische Modellierung enthält. Das Modell, dessen Aufbau in Abbildung 1 skizziert ist, besteht aus:

- TCO-Modell (Total Cost of Ownership Model), mit dem Ziel der Vollkostenrechnung und dem Input der Fahrzeugpreise sowie der relevanten sozio-ökonomischen Parameter der Fahrzeugnutzung, und
- CP-Modell (Cost and Performance Model), mit der Beschreibung der technologischen und kostenmäßigen Entwicklung der Fahrzeuge auf Komponentenebene sowie der Berechnung der sich ergebenden Energieeffizienz.

Abbildung 1: Aufbau der zweistufigen Berechnung der Gesamtbetriebskosten (TCO)



Quelle: Element Energy/M-Five

Im folgenden Kapitel soll eine detailliertere Übersicht des Modells dargestellt werden. Das Cost and Performance (CP) Modell ist von der Studie von Element Energy (2016) unverändert übernommen. Das Total-Cost-of-Ownership (TCO) Modell wurde im Rahmen der Diskussionen und anhand von Inputs der Teilnehmer des Expertenkreises an die deutschen Besonderheiten angepasst. Diese Anpassungen werden in Kapitel 3 beschrieben. Kapitel 4 stellt im Anschluss die Ergebnisse dar sowie einige Sensitivitätsrechnungen und Kapitel 5 fasst schließlich die Ergebnisse zusammen.

2 Kurze Beschreibung der Modellierung

In diesem Kapitel soll grob die Struktur und Funktionsweise des Modellverbunds zwischen Total Cost of Ownership-Modell und Cost and Performance-Modell erläutert werden. Die Total Cost of Ownership (TCO), oder auch die Gesamtbetriebskosten, bezeichnet ein Berechnungsverfahren, welches in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung auch in der Politikberatung erlangt hat, während es im gewerblichen Bereich schon lange angewendet wird. TCO-Rechnungen berücksichtigen ganzheitlich alle verursachten Kosten über den Lebenszyklus hinweg (in diesem Falle eines Fahrzeuges) und sorgen so für eine größere Transparenz bzw. Vergleichbarkeit der Varianten. Es können mit diesem Verfahren auch Kostenpositionen erfasst werden, die in traditionelleren Verfahren schwierig zu berücksichtigen sind, wie beispielsweise die unterschiedliche Preisentwicklung von verschiedenen Energieträgern oder die Entwicklung der Motoreffizienz im Zeitverlauf. Mit der TCO-Rechnung kann der unmittelbare Vergleich der Vollkosten verschiedener Antriebsstränge gelingen.

Da eine Modellierung immer eine Vereinfachung der Realität darstellt, können auch in diesem Vorgehen nicht sämtliche mögliche Fahrzeugvarianten betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden Fahrzeugsegmente und Archetypen festgelegt, die sich stark anlehnen an die offiziellen Klassifikationen der PKWs, wie sie vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) gemacht werden. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Aufteilung dieser Segmente wird im folgenden Abschnitt näher dargelegt.

2.1 Fahrzeugsegmente und Archetypen

Die Datenbasis des Modells ist unterteilt in 9 PKW-Segmente, die abgesehen von wenigen Ausnahmen mit den Segmenten des KBA konsistent sind. Zu den Ausnahmen gehört die Zuordnung der Mercedes C-Klasse zur oberen Mittelklasse, die im deutschen Kontext eigentlich der Mittelklasse zugeordnet wird. Auch die Aufteilung der Geländewagen und Vans erfolgt in der KBA-Logik etwas anders. Anhand der Zuordnung zu den Segmenten sind sogenannte Archetypen für jedes Segment definiert worden, die dann im TCO- und im CP-Modell genutzt werden. Tabelle 1 listet zunächst die Segmente und Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 listen die technologischen und Kosten-Parameter für die Archetypen für Diesel, Benzin und Batteriefahrzeuge.

Tabelle 1: Übersicht über die betrachteten Fahrzeugsegmente im TCO-Modell

Fahrzeugklasse	Kategorie	Beispiele
Mini	A	Hyundai i10, VW up!
Kleinwagen	B	Ford Fiesta, VW Polo
Kompaktklasse	C	Ford Focus, VW Golf
Mittelklasse	D	BMW 3er, Audi A4
Obere Mittelklasse	E	BMW 5er, Mercedes C/E
Oberklasse	F	BMW 7er, Mercedes S
Sportwagen	G	Mercedes SLK, Audi TT
SUV und Geländewagen	H	Ford Kuga, Kia Sportage
Mini- und Großraum-Vans	I	Citroen C4, Ford C-Max

Quelle: Element Energy (2016)

Zur vereinfachten Darstellung der Ergebnisse könnten die Segmente weiter aggregiert werden (z.B. in Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse).

Die Darstellung in Tabelle 1 ist angelehnt an die Bezeichnung des Kraftfahrtbundesamtes (KBA). Allerdings gibt es auch Unterschiede in den Klassifikationen. So unterscheidet das KBA in seiner Neuwagenstatistik zwischen SUVs und Geländewagen, Mini-Vans, Großraum-Vans sowie noch Nutzfahrzeuge und Wohnmobile. Dies ist insbesondere dem Trend der letzten Jahre geschuldet, von Seiten der Hersteller den Markt der geländetauglichen Fahrzeuge immer weiter zu diversifizieren und entsprechende Modelle in nahezu allen klassischen Segmenten anzubieten. Aus diesem Grund ist eine sinnvolle Kategorisierung in dieser Fahrzeugklasse besonders schwierig.

Die in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellten Werte bildeten Anhaltspunkte für das Aufsetzen des Cost-and-Performance-Modells. Allerdings wurden nicht alle Werte so übernommen; insbesondere die Emissionsfaktoren für die direkten CO₂-Emissionen¹ wurden an die realen Verbräuche angepasst (Element Energy und ICCT, 2015). Die Leistungs- und Leergewichtszahlen wiederum dienten der Kalibrierung des Komponentenmodells.

¹ Das heißt ohne Berücksichtigung der mit der Herstellung der Kraftstoffe verbundener Emissionen.

Tabelle 2: Definition der Archetypen für Diesel PKW

Diesel ICE	Einheit	Mini	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Obere Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	SUVs und Geländewagen	Mini- und Grossraum Vans
Kaufpreis	€2014 ²	9.981	15.174	21.932	28.241	37.815	52.941	47.268	33.208	21.997
Leistung	kW	52	63	99	128	154	154	154	134	90
Leergewicht	kg	983	1.022	1.355	1.524	1.741	1.741	1.741	1.744	1.484
Leistungs-Gewicht-Verhältnis	kW/kg	0,053	0,062	0,073	0,084	0,088	0,088	0,088	0,077	0,061
Beschleunigung 0-96,6 km/h ³	sec.	13,6	12,6	10,4	8,9	7,8	n. a.	n. a.	9,8	11,8
Höchstgeschwindigkeit ⁴	km/h	163	175	200	221	233	n. a.	n. a.	194	187
CO2 Emissionsfaktor	gCO2/km	80,0	88,9	104,9	111,4	119,0	156,7	135,8	155,3	130,3

Quelle: Element Energy/M-Five

Tabelle 3 stellt die Archetypen für Benziner mit Verbrennungsmotor dar und Tabelle 4 für batterieelektrische Fahrzeuge.

² Abdiskontierter (kaufkraftbereinigter) Wert für 2014.

³ Werte für Oberklasse und Sportwagen nicht separat berechnet (gilt auch für die Archetypen Benzin).

⁴ Werte für Oberklasse und Sportwagen nicht separat berechnet (gilt auch die Archetypen Benzin).

Tabelle 3: Definition der Archetypen für Benzin PKW

Benzin ICE	Einheit	Mini	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Obere Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	SUVs und Geländewagen	Mini- und Grossraum Vans
Kaufpreis	€2014	9.554	13.796	20.835	25.905	41.111	47.802	28.778	39.038	20.603
Leistung	kW	52	84	119	127	194	194	194	174	99
Leergewicht	kg	983	1.040	1.317	1.521	1.741	1.741	1.741	1.699	1.448
Leistungs-Gewicht-Verhältnis	kW/kg	0,053	0,080	0,090	0,083	0,112	0,112	0,112	0,102	0,069
Beschleunigung 0-96,6 km/h	sec.	13,6	11,8	10,1	9,4	6,9	-	-	8,5	10,9
Höchstgeschwindigkeit	km/h	163	187	204	218	240			207	194
CO2 Emissionsfaktor	gCO2/km	103,5	121,6	134,7	133,6	145,9	246,5	189,7	173,3	143,1

Quelle: Element Energy/M-Five

Tabelle 4: Definition der Archetypen für rein batterieelektrische PKW (BEV)

BEV	Einheit	Mini	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Obere Mittelklasse	Oberklasse	Sportwagen	SUVs und Geländewagen	Mini- und Grossraum Vans
Kaufpreis	€2014	20.857	25.882	31.177	34.578	55.227	70.167	54.610	45.138	33.109
Leistung	kW	52	59	87	102	139	139	139	123	76
Leergewicht	kg	1.127	1.270	1.597	1.754	2.107	2.310	2.209	2.114	1.803
Leistungs-Gewicht-Verhältnis	kW/kg	0,047	0,046	0,055	0,058	0,066	0,060	0,063	0,058	0,042

Quelle: Element Energy/M-Five

Für jedes Segment kann die TCO für 9 verschiedene Antriebsoptionen berechnet werden. Es wird hier keine Unterscheidung getroffen, ob die Kombination aus Segment und Antriebsoptionen in jedem Fall am Markt angeboten wird oder nicht, sondern die Berechnung des Kaufpreises eines PKWs erfolgt systematisch basierend auf der Kostenberechnung auf Komponentenebene und die Gesamtkosten eines Fahrzeugs werden schließlich durch Aggregation der Komponentenkosten ermittelt. TCO können (1) als absolute Werte oder (2)

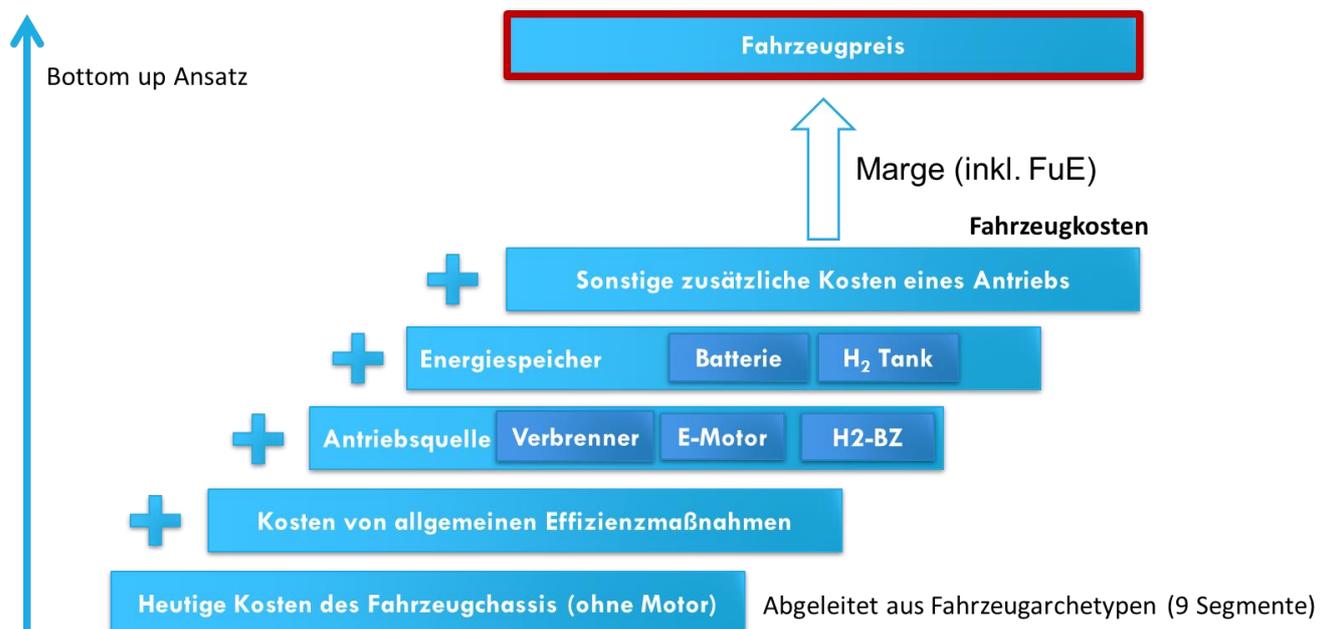
als Veränderung der verschiedenen Antriebsoptionen gegenüber dem Referenzfahrzeug mit Benzinantrieb ausgewiesen werden. Die folgenden Antriebsmöglichkeiten werden unterschieden:

- Benziner (auch Referenzfahrzeug)
- Benziner als Vollhybrid (nicht extern aufladbares Hybridelektrofahrzeug)
- Benziner als Plug-in Hybrid (extern aufladbar)
- Diesel
- Diesel als Vollhybrid (nicht extern aufladbares Hybridelektrofahrzeug)
- Diesel als Plug-in Hybrid (extern aufladbar)
- Batterie-Elektrisch
- Brennstoffzelle
- Erdgas (CNG).

2.2 Cost and Performance Modell

Der Aufbau des Cost and Performance (CP) Modell ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Ausgangsbasis des CP Modells ist ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor mit Benzinantrieb, wobei nach den einzelnen Kostenkomponenten differenziert wird.

Abbildung 2: Darstellung des Bottom-up-Ansatzes im Cost and Performance Modell



Quelle: Element Energy/M-Five

Die Kostenkomponenten werden dabei in die Zukunft fortgeschrieben unter Verwendung von Kostendegressionseffekten. Die zentralen Annahmen des CP-Modells sind in Tabelle 5 aufgelistet. Eine detaillierte Beschreibung des CP-Modells findet sich in Element Energy (2016).

Tabelle 5: Übersicht zu den zentralen Annahmen im CP-Modell

Komponente	Annahmen
Fahrzeugchassis	Kosten konstant bis 2030
Antrieb	Kostenreduktion des Verbrenners pro kW nach Ricardo-AEA (2015a) sowie Ricardo-AEA (2012)
Zusatzausstattung Antrieb	Kostenreduktion bei Batteriekomponenten, übrige Komponenten bleiben konstant
Energiespeicher	Batteriekostenreduktion nach Element Energy (2012) mit Aktualisierung
Effizienzmaßnahmen	46 Effizienztechnologien über alle Antriebsarten und Segmente mit Kostenkurven von Ricardo-AEA (2015b)
Marge	Marge angelehnt an Marktstudien für Verbrenner; für andere Antriebe absolut in derselben Höhe wie Verbrenner
CO ₂ -Emissionen	Anpassung an reale Verbräuche nach Element Energy und ICCT (2015)

Quelle: Element Energy/M-Five

Die Fahrzeugkosten, der Fahrzeugpreis sowie der Energieverbrauch pro Kilometer werden dann, wie dies Abbildung 1 zeigt, vom CP-Modell an das TCO-Modell übergeben und bildet somit die Berechnungsgrundlage für den Vergleich der Gesamtkosten der verschiedenen Antriebsarten.

Schließlich soll noch kurz umrissen werden, wie im Modell zukünftige Energieverbräuche abgeschätzt werden. Es wird ein Basisenergiebedarf ermittelt, dieser mit der Effizienz multipliziert und das Produkt mit weiteren, zukünftigen Effizienzmaßnahmen multipliziert, abhängig von deren Diffusionsraten. Ausgehend von dem spezifischen Energieverbrauch kann auch eine Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgen mit einer Ausweitung des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ). Dieser Testzyklus ist in der Vergangenheit dafür kritisiert worden, dass er reale Verbräuche und damit auch Emissionen unterschätzt. Aus diesem Grund sind der spezifische Verbrauch sowie die Emissionen im CP-Modell an reale Werte angepasst worden, welche sich auf die Untersuchungen des ICCT stützen (Element

Energy and ICCT, 2015). Die Aufschlagsfaktoren auf diesen NEFZ unterscheiden sich je nach Segment und Antrieb. Zukünftige Effizienzentwicklungen in den Emissionen sind im Modell bereits integriert (eine detailliertere Übersicht der Technologien findet sich in Element Energy, 2016). Während die Berechnung der spezifischen (direkten) CO₂-Emissionen nach der Verbrennungsmotoren noch nach dieser Logik erfolgen kann, ist für die Energiebereitstellung von Fahrstrom sowie Wasserstoff eigentlich eine Betrachtung der Stromerzeugungsseite nötig. Die direkten Emissionen dieser Antriebe (sowie natürlich die Mischkalkulation der extern aufladbaren Hybride) sind damit von den Emissionsfaktoren des Stromsektors abhängig. Da die gängige Konvention bei beiden alternativen Kraftstoffen keine direkten Emissionen ansetzt, wird dies auch so in den Ergebnissen dieser Studie gehandhabt.

2.3 Total Cost of Ownership Modell

Die Total Cost of Ownership-Berechnung kann im vorliegenden TCO-Modell die folgenden Kostenpositionen für einen Verbraucher berücksichtigen:

- Anschaffungspreis (Neu- und Gebrauchtwagen)
- Direkte Erwerbssteuer (in Deutschland MwSt.)
- Wiederverkaufswert zum Ende der Haltedauer
- Finanzierungskosten
- Kraftstoff - bzw. Stromkosten
- Versicherung
- Instandhaltungskosten
- Kosten von Infrastrukturkomponenten (insbesondere private Ladepunkte)
- Kfz-Steuer (allerdings neu übernommen, siehe dazu auch Abschnitt 3.4).

Diese Kostenpositionen werden in Abhängigkeit der gewählten Parametrisierung (siehe Tabelle 6) berechnet und summiert und ergeben so die TCO. Zur Bestimmung des TCO-Wertes müssen Annahmen bezüglich der Rahmendaten eines Nutzungs-Szenarios getroffen werden. Die Parameter, welche dabei bestimmt werden können, sind in Tabelle 6 wiedergegeben. Diese Parameter sind verändert und ergänzt worden, um die Besonderheiten des deutschen PKW-Marktes zu berücksichtigen. Unverändert übernommen sind die Ölpreisentwicklung, der Anteil der elektrischen Nutzung sowie die Gesamtlebensdauer der Fahrzeuge, welche aufgeteilt wurde auf den Erstbesitzer mit 4 Jahren Haltedauer sowie Zweitbesitzer mit 5 Jahren und Drittbesitzer mit 7 Jahren.

Das nächste Kapitel (3) geht detailliert auf diese Modellanpassungen gegenüber der europäischen Studie (Element Energy, 2016) ein.

Tabelle 6: Übersicht zur Parametrisierung der Szenarien im TCO-Modell

Komponente/Parameter	Studie
Eigentumsdauer	in Jahren
Gesamtlebensdauer Fahrzeug	bis zu 16 Jahre
Jährliche Fahrleistung	in Kilometern
Ölpreisentwicklung	zwei Szenarien
Restwert	drei Szenarien
Anteil elektrische Nutzung	zwei Szenarien
Anschaffungsjahr	bis max. 2030
Neu- oder Gebrauchtwagen	drei Möglichkeiten
Verkaufsmargen	ja/nein

Quelle: Element Energy/M-Five

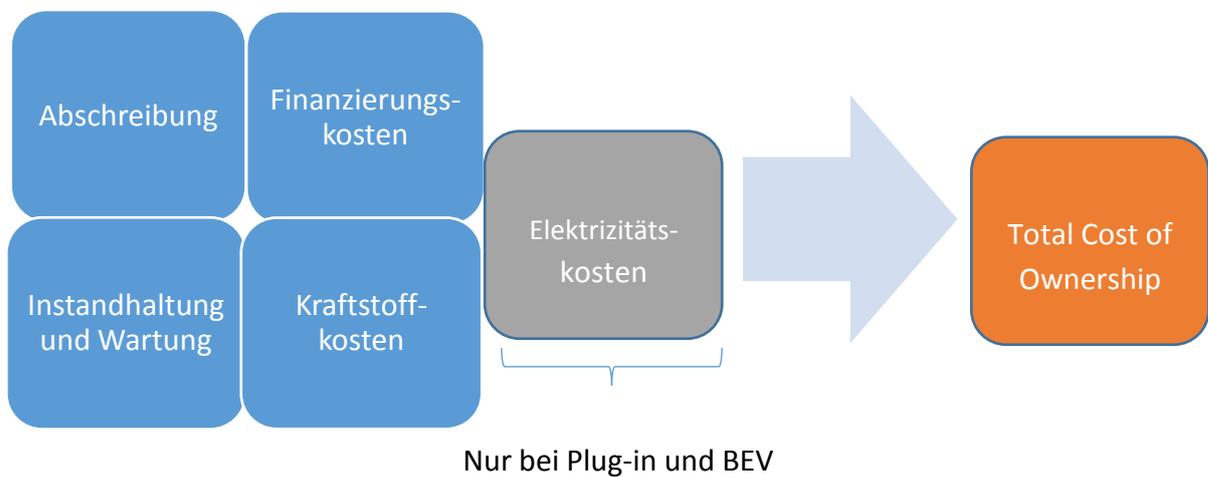
Die Berechnung einzelner o.g. Kostenpositionen, welche in das TCO-Modell einfließen, schlüsselt sich wie folgt auf:

- (1) **Anschaffungspreis:** der Anschaffungspreis pro Modellsegment im TCO-Modell wird in den Basisdaten in 5-Jahresscheiben detailliert ermittelt; zwischen den Jahren wird dieser linear interpoliert. Die Daten hierfür sind im CP-Modell berechnet.
- (2) **Wiederverkaufswert:** bei diesem ist für jede Antriebsoption eine jährliche Restwertkurve hinterlegt.
- (3) **Finanzierungskosten:** hierfür wird der Mittelwert zwischen Anschaffungspreis und Wiederverkaufswert gebildet und mit dem gewählten Zinssatz multipliziert.
- (4) **Kraftstoffkosten:** der berechnete spezifische Kraftstoffverbrauch, multipliziert mit der jährlichen Jahreslaufleistung und den spezifischen Kraftstoffpreisen bestimmt die Kraftstoffkosten. In den Kraftstoffpreisen sind Abgaben wie Energie- sowie Mehrwertsteuer enthalten, die spezifischen Verbrauchswerte sind ebenfalls in 5-Jahresscheiben durch das CP-Modell anhand der Fahrzeugkonfiguration der Archetypen vorgegeben worden. Der Anteil am elektrischen Fahrbetrieb kann variiert werden, wurde aber an Element Energy (2016) angelehnt. Die an den Verbrauchsangaben der Hersteller nach NEFZ orientierten Ergebnisse des CP-Modells sind mit einem Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des „realen Verbrauchs“ hinterlegt. Der Korrekturfaktor unterscheidet sich je nach Archetyp und ist in Element Energy (2016) zusammen mit den Konvergenzkurven detailliert aufgeführt.

- (5) **Versicherungs- sowie Instandhaltungskosten:** die Instandhaltung ist pro Segment konstant; bei den Versicherungskosten ist eine jährliche Kostensteigerung von 0,2 % hinterlegt.

Abbildung 3 fasst übersichtlich die wesentlichen Elemente der TCO-Berechnung zusammen. Im folgenden Kapitel soll, wie bereits oben angedeutet, auf die Modellanpassungen an den deutschen Markt im Rahmen der Diskussionen des Verbraucherpanels eingegangen werden.

Abbildung 3: Komponenten der Total-Cost-of-Ownership- Berechnung



Quelle: Element Energy/M-Five

3 Anpassungen des Modells an den deutschen Markt

Wie bereits im vorherigen Kapitel angedeutet, werden in diesem Kapitel die Anpassungen des Total-Cost-of-Ownership (TCO) Modells an den deutschen Markt vorgenommen. Die Eingangsdaten wie Fahrzeugpreise und Energieverbräuche aus dem Cost-and-Performance (CP) Modell wurden für diese Studie nicht verändert, da nicht davon ausgegangen wird, dass sich die angebotenen Technologien innerhalb des europäischen Marktes für die verschiedenen Länder unterscheiden werden.

Die Anpassungen an den deutschen Markt betreffen die folgenden Elemente:

- (a) **Listenneupreise, durchschnittliche Fahrleistung und Restwertkurve:** in der europäischen Studie wurden die Margen anhand europäischer Durchschnittswerte bestimmt. Diese wurden für den deutschen Markt angepasst, was insbesondere die Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse betrifft. Außerdem wurden veränderte Restwertkurven angenommen, welche sich aus den Vergangenheitswerten des deutschen Gebrauchtwagenmarktes ableiten lassen. Schließlich wurden für die einzelnen Segmente (siehe Tabelle 1) durchschnittliche jährliche Laufleistungen ermittelt, um zu einer empirischen Datenbasis für die TCO-Rechnung zu gelangen.
- (b) **Extras und Sonderausstattungen:** die Fahrzeugneupreise beziehen sich auf Basisfahrzeuge ohne Sonderausstattungen für den Komfort. Dies ist vor allem bei Fahrzeugen der höheren Kategorien nicht realistisch. Auch hier wurden aus Vergangenheitswerten des deutschen Marktes Durchschnittswerte gebildet und die Aufschläge für Sonderausstattungen auf den Fahrzeugneupreis zudem mit unterschiedlichen Restwertkurven hinterlegt, da sich eine Differenz zu den Restwertkurven des Basisfahrzeugs in den Daten des Gebrauchtwagenmarktes zeigt.
- (c) **Deutsche Energiesteuern:** in der europäischen Studie wurde mit einer durchschnittlichen Kraftstoffabgabe gerechnet. Dieser Durchschnittswert wurde auf Deutschland angepasst. Darüber hinaus hat sich in den Diskussionen des Verbraucherpanels gezeigt, dass es zudem noch wichtig ist, Annahmen bezüglich zukünftiger Entwicklungstendenzen zu treffen und damit eine Basis für Sensitivitätsrechnungen zu legen. Bei CNG ist die im Frühjahr 2017 absehbare Entwicklung berücksichtigt.
- (d) **Sonstige Anpassungen:** schließlich wurden noch weitere Anpassungen an den deutschen Markt vorgenommen. So wurden insbesondere die Wartungskosten von Vergangenheitswerten übernommen, die Zubetankung von AdBlue integriert und Annahmen über den Verlauf zukünftiger Finanzierungsraten getroffen.

3.1 Listenneupreise, Durchschnittsfahrleistungen und Restwertkurven

In der Differenz zwischen Fahrzeugkosten und Fahrzeugpreis ist die Handelsspanne mit enthalten, welche zum Werksabgabepreis für den Händler noch Frachtkosten, Warennebenkosten sowie Händlermarge abdeckt (Diez et al., 2015). Da sich mit dieser Handelsspanne auch Vertriebsziele des Herstellers steuern lassen, existiert ein sehr differenziertes und je nach Hersteller unterschiedliches Verfahren (Breyer, 2006). Es existieren zwar für den Neuwagenkäufer Spielräume, den Listenneupreis zu verhandeln; allerdings sind durch das Rabattgesetz diesen Spielräumen Grenzen gesetzt (Terporten, 1999), die Abhängigkeit etwaiger Kundenrabatte von den konkreten Vertriebszielen des Händlers ist sehr groß (Diez et al., 2015), die mittelfristige Anhebung der Gewinnspanne für die Händler erscheint wahrscheinlich (Schmidt-Carré, 2013), die Umstellung auf Build-to-Order verringert die Notwendigkeit, höhere Rabatte einzuräumen (Holweg, 2008) und bei alternativen Antrieben scheinen weitaus weniger Möglichkeiten für Rabatte zu bestehen (Diez et al., 2015). Aus diesen Gründen und zur besseren Vergleichbarkeit wird im TCO-Modell vom Listenneupreis als Fahrzeugpreis ausgegangen. Die Preise, welche im CP-Modell entwickelt werden, wurden zur Kalibrierung an den deutschen Markt mit den Listenneupreisen verglichen. Im TCO-Modell ist, anders als bei Element Energy (2016) Mehrwertsteuer sowie Gewinnmargen der Händler mit berücksichtigt. Es wird sich folglich innerhalb dieser Studie am Endkundenpreis orientiert.

Zunächst wurde ein Vergleich für das Jahr 2015 angestellt zwischen den Ergebnissen des Cost-and-Performance-Modells (CP) und den Listenneupreisen (LNP) je Marktsegment. Dabei wurde als Referenz jeweils der Benzinmotor als Antrieb gewählt. Die Verhältnisse der Kostenstrukturen der Antriebe untereinander wurden konstant gehalten, d.h. eine Abweichung des LNP von den Fahrzeugkosten berechnet im CP-Modell wurde auf alle Antriebe gleichermaßen angewendet. Die Fortschreibung der Fahrzeugkosten erfolgte anhand der vorliegenden Abschätzungen des CP-Modells.

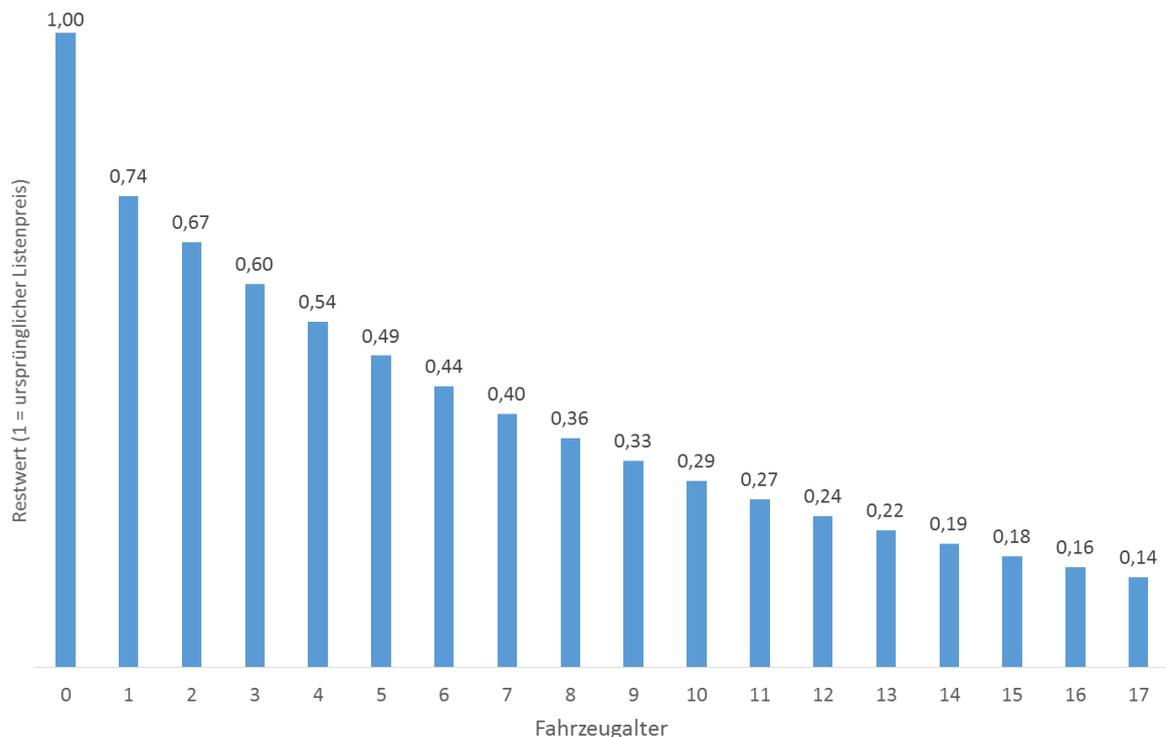
Der Vergleich der durchschnittlichen Listenneupreise je Segment auf Basis der Daten der DAT (2016b) mit dem CP-Modell hat für die unteren drei Kategorien (A, B, C; siehe dazu auch Tabelle 1) keine Abweichung der Werte, welche bereits in der europäischen Version des CP-Modells von Element Energy (2016) implementiert waren, ergeben. Für die Kategorien D, E, G und I wurde ein Aufschlag von 20 % ermittelt; für die Kategorie H ein Aufschlag von 35 % und für die Kategorie F (Luxussegment) von 70 %.

Diese Aufschlagsgestaltung ist annähernd konform mit den Diskussionsergebnissen aus dem zweiten Stakeholder-Workshop, bei welchem festgestellt wurde, dass sich die Margen zwischen den Segmenten deutlich unterscheiden und vor allem in den höherpreisigen Segmenten noch Händlergewinne erzielt werden, welche mit verminderten Kundenrabatten auf den Listenneupreis einhergehen.

Für das europäische TCO-Modell wurden Restwertkurven anhand der durchschnittlichen Fahrzeuglebensdauern und anderen Vergangenheitswerten ermittelt. Ein Vergleich dieser Restwertkurven (siehe dazu auch Element Energy, 2016), mit den Daten des deutschen Marktes zeigt kleinere, aber dennoch vorhandene Abweichungen. Aus diesem Grund wurde die Restwertkurve der DAT (2016b) für den wie oben beschrieben angepassten Listenneupreis der Fahrzeuge hinzugefügt. Dabei ist zu beachten, dass diese, zumindest für die ersten Jahre (das erste Jahr ausgenommen), über der Restwertkurve der bisherigen TCO-Modellversion liegt. Es wurde keine weitere Unterscheidung nach Antriebsart getroffen.

Abbildung 4 zeigt den Restwertverlauf des Basisfahrzeugs in graphischer Form; die genauen prozentualen Werte sind dazu noch in Tabelle 7 wiedergegeben. Da die verlässliche Ermittlung von Vergangenheitswerten nur bis zum Fahrzeugalter von 7 Jahren gegeben war, wurde für die folgenden Jahre eine Trendextrapolation angenommen.

Abbildung 4: Restwertkurve für Basisfahrzeug, Verkaufswerte bezogen auf den Listenneupreis (ohne Sonderausstattung)



Quelle: DAT 2016b und eigene Extrapolation

Tabelle 7: Verkaufswert in Prozent vom Listenneupreis für das Basisfahrzeug

VK in %	74.3	67.0	60.4	54.5	49.2	44.3	40.0
Alter in Jahren	1	2	3	4	5	6	7

Quelle: DAT 2016b

Die durchschnittliche Fahrleistung pro Segment bildet das Fundament für die realistische Betrachtung der verschiedenen Antriebsoptionen innerhalb der TCO-Rechnung. So ist z.B.

bekannt, dass sich die Mehrkosten für einen Dieselantrieb erst bei einer bestimmten Jahresfahrleistung rentieren. Eine historische Aufschlüsselung der Fahrleistungen pro Segment liefert zumindest Anhaltspunkte, um einen realitätsnäheren Vergleich der Antriebsoptionen zu treffen.

Allerdings ergibt sich bei den Werten eine deutliche Abweichung, je nachdem, ob es sich um einen Benzin- oder einen Dieselmotor handelt.

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über die segment- sowie antriebspezifischen jährlichen Laufleistungen, wie sie von der DAT (2016b) zur Verfügung gestellt wurden. Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass diese für Benzin- und Dieselmotoren z.T. deutlich voneinander abweichen. Es ergibt sich für die TCO-Rechnung damit das bekannte Verhalten, dass Dieselfahrzeuge mit zunehmender Laufleistung attraktiver werden (was sich ja auch so in den Daten zeigt), aber eine Vergleichbarkeit nur auf Basis einer einheitlichen Annahme zur Laufleistung Sinn ergibt. Aus diesem Grund werden im folgenden Kapitel einheitliche Annahmen der Laufleistungen für alle Antriebsarten getroffen.⁵

Tabelle 8: Segment- sowie antriebspezifische jährliche Laufleistungen

Laufleistungen je Segment		
Marktsegment	Benzin	Diesel
Mini	12.000	12.000
Kleinwagen	15.000	18.000
Kompaktwagen	15.000	18.000
Mittelklasse	18.000	21.000
Obere Mittelklasse	21.000	24.000
Oberklasse	21.000	24.000
Van	15.000	18.000
SUV (klein)	15.000	18.000
SUV (mittel)	18.000	21.000
SUV (groß)	21.000	24.000
Cabrio / Coupé	18.000	

Quelle: DAT 2016b

⁵ In den Diskussionen des Expertenkreises wurde beschlossen, mit einer gleichbleibenden Jahreslaufleistung für die verschiedenen Besitzergruppen zu rechnen. In der europäischen Studie (Element Energy, 2016) wurde dagegen mit abnehmenden Jahreslaufleistungen für die Besitzergruppen gerechnet.

3.2 Extras und Sonderausstattungen

Wie im Abschnitt 3.1 dargelegt, ist als Basis in der TCO-Rechnung der Listenneupreis verwendet worden. In der europäischen Studie wurden Extras und Sonderausstattungen nicht gesondert berücksichtigt. Auch wenn dies für die kleineren Segmente zutreffend sein mag, so gilt dies nur bedingt für die höheren Kategorien. Der Anteil an Sonderausstattungen der Fahrzeuge hat, zumindest in den letzten 3 Jahren, zugenommen. So verweist der Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe (ZDK) für Gebrauchtwagen in 2013 11,95 Ausstattungsmerkmale aus; für den Bestand (Kombination von Neu- und Gebrauchtwagen) 15,05 und für die Neuwagen 16,88 (ZDK, 2014). Für 2014 weist der ZDK für Gebrauchtwagen 12,48 und für 2015 13,97 Ausstattungsmerkmale aus; für den Bestand 15,36 in 2014 und 15,88 in 2015 (ZDK, 2016). Die Zahlen für die Neuwagen liegen entsprechend höher: so besitzen in 2014 Neuwagen durchschnittlich 17,15 Sonderausstattungen, in 2015 sogar 19,44.

Tabelle 9 stellt die Verteilung der Sonderausstattung für die Sicherheitsausstattung dar und Tabelle 10 diese für die Komfortausstattung. Allerdings werden manche dieser Ausstattungen auch im Paket angeboten bzw. müssen explizit ausgewählt werden und so können sich durchaus auch die Werte von 100 % aus Tabelle 9 ergeben.⁶ Insgesamt ergibt sich die Tendenz, dass immer mehr Komponenten, die früher noch zur Sonderausstattung zählten und nur bei höherpreisigen Segmenten nachgefragt wurden, mittlerweile fast zur Grundausstattung zählen, bzw. dass kaum mehr Neuwagen ohne diese Ausstattungsbestandteile nachgefragt werden.

Zwar können Sonderausstattungen genutzt werden, einen quasi-monetären Anreiz zum Verkauf von Neuwagen zu schaffen und die Zusatzkosten für die Ausstattungspakete mit gewährten Rabatten gegenzurechnen. Nichtsdestotrotz machen diese Sonderausstattungen einen nicht unerheblichen Anteil an den Gesamtkosten des Neufahrzeugs aus; Holweg und Pil (2004) beispielsweise beziffern diese für den Ford Focus von der Basisversion zum Top-Modell auf einen Aufschlag für 32 %, für den BMW X5 weisen sie einen mehr als doppelten Preis aus.⁷ Hierbei vermengt sich allerdings die Sonderausstattung mit den Aufpreisen für stärkere Motorleistungen; diese bringen zumindest dem Hersteller eine erheblich höhere Marge, da die zusätzlichen Produktionskosten in der Regel unter den angebotenen Aufpreisen für stärkere Motoren liegen (Holweg und Pil, 2004).

⁶ Manche Extras sind seit einigen Jahren Pflicht bei Neuwagen, für andere wie beispielsweise ESP gibt es eine freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie, Neuwagen nur noch mit dieser Ausstattung anzubieten.

⁷ Dies sind allerdings ältere Werte; ein aktueller Vergleich der Konfiguration zwischen einem S Drive 25d in der Grundausstattung ergibt einen Bruttolistenpreis von 55.500 EUR; ein vollausgestatteter M 50d mit sämtlichen Extras liegt bei 130.500 EUR, was etwa den 2,4-fachen Satz innerhalb der Dieselantriebsreihe ausmacht.

Neben der Anpassung an die deutschen Listenneupreise wurde ebenfalls ein segmentspezifischer Aufschlag für Sonderausstattungen und Extras ermittelt. Dieser Anteil beträgt prozentual 12 % vom Listenneupreis für die Segmente A bis D sowie H und I (siehe dazu auch Tabelle 1) sowie 20 % für die Premiumfahrzeuge der Oberklasse (Segmente E, F und G). Da diese prozentualen Aufschläge auf den Listenneupreis die alternativen Antriebe aufgrund ihres höheren Basispreises benachteiligen würden sowie einige der Sonderausstattungen im direkten Zusammenhang mit dem Verbrennungsmotor stehen, wurden die durchschnittlichen Mehrkosten der alternativen Antriebe von diesen Sonderausstattungsauflägen wieder abgezogen. So ist zum Beispiel, wenn der durchschnittliche Aufschlag für ein rein batterieelektrisches Fahrzeug (BEV) zu einem Verbrenner in einem Segment etwa 60 % beträgt und der Sonderausstattungsauflage für den Verbrenner in diesem Segment bei 12 % liegt, für den BEV ein Aufschlag von $(1/1,6) \cdot 12 \% = 7,5 \%$ angerechnet. Analog gilt dies auch für die anderen alternativen Antriebe.

Tabelle 9: Ausstattung von PKW-Neuwagen; Sicherheitsausstattung

Ausstattung	2016	2015	2014	2013
Abstandsregeltempomat	17 %	11 %	6 %	5 %
adaptives Kurvenlicht	34 %	27 %	22 %	16 %
Alarmanlage	16 %	24 %	21 %	23 %
Antiblockiersystem	100 %	100 %	100 %	100 %
ESP	100 %	100 %	88 %	87 %
Fernlichtassistent	18 %	18 %	14 %	k. A.
Lichtsensoren	56 %	47 %	41 %	32 %
Nachtsichtassistent	5 %	2 %	1 %	k. A.
Notbremsassistent	27 %	8 %	8 %	k. A.
Regensensor	65 %	56 %	48 %	40 %
Reifendrucksensor	100 %	100 %	21 %	20 %
Seitenairbag	79 %	89 %	85 %	86 %
Spurhalteassistent	19 %	8 %	10 %	5 %
Spurwechselassistent	12 %	9 %	6 %	4 %
Verkehrszeichenbeobachter	9 %	4 %	4 %	k. A.
Xenonlicht	29 %	38 %	36 %	28 %

Quelle: eigene Darstellung nach DAT 2017, ZDK 2015; ZDK, 2016

Tabelle 10: Ausstattung von PKW-Neuwagen; Komfortausstattung

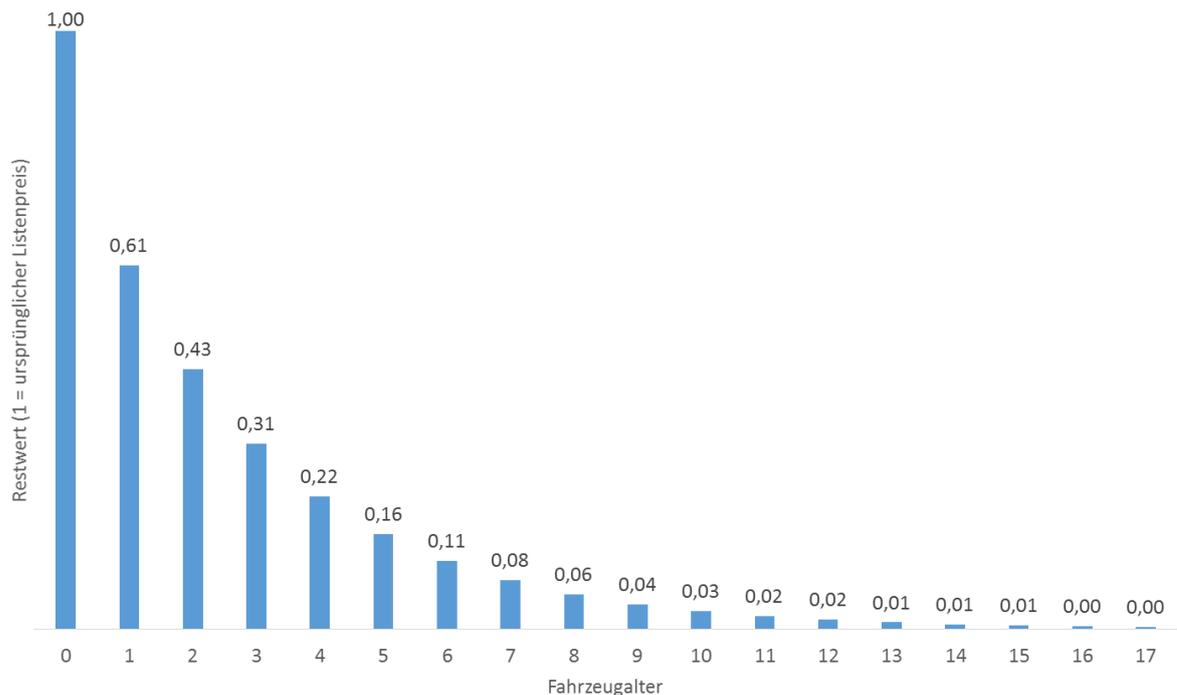
Ausstattung	2016	2015	2014	2013
Bordcomputer	81 %	80 %	74 %	67 %
Einparkassistent	23 %	16 %	12 %	6 %
Einparkhilfe	62 %	64 %	58 %	49 %
elektr. Fensterheber	k. A.	94 %	90 %	93 %
elektr. Sitzverstellung	26 %	26 %	28 %	24 %
Freisprecheinrichtung	52 %	46 %	36 %	20 %
Head-up Display	7 %	3 %	2 %	k. A.
Klimaanlage	93 %	93 %	94 %	93 %
Navigationssystem	59 %	54 %	49 %	38 %
Radio	97 %	84 %	97 %	98 %
Schiebedach	20 %	25 %	18 %	17 %
Servolenkung	k. A.	96 %	95 %	97 %
Sitzheizung	64 %	56 %	51 %	45 %
Sport-/Ledersitze	38 %	30 %	26 %	22 %
Multifunktionslenkrad	71 %	59 %	53 %	47 %
Standheizung	10 %	9 %	8 %	9 %
Tempomat	69 %	59 %	54 %	44 %
wärmedämmendes Glas	k. A.	44 %	43 %	37 %
Zentralverriegelung	95 %	91 %	87 %	86 %

Quelle: eigene Darstellung nach DAT 2017, ZDK 2015; ZDK, 2016

Die Sonderausstattungen haben allerdings einen Einfluss auf den Restwertverlauf des Fahrzeugs. So kann gezeigt werden, dass sich diese weitaus schneller abschreiben als das Basisfahrzeug. Deshalb wurde im Vergleich zum Basiswert ein unterschiedlicher Restwertverlauf angenommen, welcher sich ebenfalls wie dieser in Abschnitt 3.1 aus Vergangenheitswerten aus dem deutschen Gebrauchtwagenmarkt ergibt. Abbildung 5 zeigt die Restwertkurve für die Sonderausstattung graphisch sowie Tabelle 11 dieselbe in Zahlenwerten. Es

wird keine Unterscheidung der Restwertkurven für die Sonderausstattung der verschiedenen Antriebe getroffen, da der Verbraucher hierbei vermutlich auch nicht differenziert. Ebenfalls analog zu Abbildung 4 wurde für die Jahre 8 bis 17 aus den verfügbaren Daten extrapoliert, Tabelle 11 zeigt die verlässliche Datenbasis an.

Abbildung 5: Restwertkurve der Sonderausstattung (bezogen auf den Listenpreis der Ausstattung)



Quelle: DAT 2016b und eigene Extrapolation

Tabelle 11: Restwert Ausstattung

VK in %	60.7	43.4	31.0	22.2	15.8	11.3	8.1
Alter in Jahren	1	2	3	4	5	6	7

Quelle: DAT 2016b

3.3 Deutsche Energiesteuern

Die deutschen Sätze bezüglich der Besteuerung unterscheiden sich deutlich von EU-Durchschnittswerten. Steuern und Abgaben machen etwa 65-70 % des Endverbraucherpreises von konventionellen Kraftstoffen aus, wobei nach der Energiesteuer (früher als Mineralölsteuer bezeichnet) die 19 %ige Umsatzsteuer und die Ökosteuer mit 9,9 % die größten Blöcke in der Steuerbelastung sind. Da die Energiesteuer beim Diesel deutlich geringer als beim Benziner ausfällt, liegt der Steueranteil eher am unteren Rand der Spannweite, beim

Benziner eher am oberen Rand. Der Einkaufspreis (für Rohöl und Wechselkursdifferenzen) macht etwa 28 % des Endverbraucherpreises aus und die restlichen 5 % fallen für Kosten und Gewinn der Betreiber bzw. Ölkonzerne an.

Die Höhe der Energiesteuer richtet sich nach Art des Kraftstoffs. Tabelle 12 gibt die aktuellen Werte für die deutschen Energiesteuern wieder. Auf die Gesamtmenge von Warenpreis und Energiesteuer wird schließlich noch die Umsatzsteuer von 19 % hinzugerechnet. Zwar ist seit 2007 eine Beimischungsquote von Biokraftstoffen (Treibhausgasquote) gesetzlich vorgeschrieben, die steuerliche Begünstigungsmöglichkeit für Biokraftstoffe existiert allerdings nicht mehr (BMF, 2016).

Tabelle 12: Deutsche Energiesteuer nach Kraftstoffart

Kraftstoff	Energiesteuer
Autogas (LPG)	18,03 Cent/kg
Erdgas	13,90 Euro/MWh
Diesel	47,04 Cent/Liter
Benzin	65,45 Cent/Liter

Quelle: BMF, 2016

Die Werte für Diesel und Benzin aus Tabelle 12 sind in der deutschen Modellversion des TCO-Rechners bereits berücksichtigt.

Eine Gesetzesentwurf für das Energiesteuergesetz (BMF, 2017a) für Erdgas sieht eine schrittweise Anpassung der Besteuerung von aktuell und bis 2023 13,90 Euro/MWh auf 18,38 Euro/MWh in 2024, 22,85 Euro/MWh in 2025, 27,33 Euro/MWh in 2026 bis schließlich 31,80 Euro/MWh ab 2027 (§2 Abs. 1, Nr. 7 EnergieStG)⁸ vor. Da im Modell mit Cent/kg gerechnet wird, wird die Umrechnung des Steuersatzes des BMF von etwa 18 Cent/kg verwendet (BMF, 2011)⁹. Für Wasserstoff und Strom wurde die Annahme der Energiesteuerbefreiung getroffen. Diese Annahme wurde allerdings auch mittels Sensitivitätsanalysen überprüft. Die genaue Ausgestaltung dieser Szenarien findet sich weiter unten.

Das Steueraufkommen aus den verkehrsbezogenen Energiesteuern macht mit etwa 36 Mrd. Euro für 2015 einen nicht unerheblichen Anteil bundesdeutscher Steuern (etwa 6 % des

⁸ Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 3. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist.

⁹ Die Umrechnung kann nur einen Annäherungswert darstellen, da der genaue Wert von der spezifischen Dichte des jeweiligen Gases (i.d.R. H-Gas) und dem jeweiligen Brennwert des Gases abhängig ist.

gesamten Steueraufkommens des Staates) aus. Es entfallen dabei laut Statistischem Bundesamt in 2015 für Benzin 16,074 Mrd. Euro, für Diesel 20,36 Mrd. Euro (Destatis, 2016), wobei der Güterverkehrsanteil etwa 1/3 davon beträgt. Auch wenn Steuern zum größeren Teil nicht zweckgebunden sind und damit keine direkte Übertragung dieser Werte auf die Finanzierung von Infrastrukturmaßnahmen zulassen, lässt sich dennoch feststellen, dass sich die Gesamtsumme der Infrastrukturinvestitionen auf etwa 20 Mrd. Euro pro Jahr (Kunert und Link, 2013) beläuft und bei einem Wegfall oder zumindest einer deutlichen Verminderung der verkehrsbezogenen Energiesteuern bedingt durch einem Wechsel auf alternative Antriebsoptionen sich die Finanzierungsfrage zukünftig eher dringlicher stellt als momentan.

Für den Ausgleich des Wegfalls verkehrsbezogener Energiesteuern sind für diese Studie folgende Überlegungen angestellt worden: 1 Liter Benzin entspricht etwa 9 kWh. Der Steuersatz auf 1 Liter Benzin beträgt 65 Cent, d.h. 1 kWh müsste demnach mit etwa 7,2 Cent besteuert werden. Nun lässt sich einwenden, dass Elektrofahrzeuge eine größere Effizienz haben als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, so dass die Steuereinnahmen bei Elektrifizierung der Flotte kontinuierlich sinken würden. Allerdings verbessert sich auch die Energieeffizienz der Verbrenner im Zeitverlauf, so dass sinkende Steuereinnahmen im Basisfall bereits auftreten und diese auch dort nicht durch steigende Steuersätze ausgeglichen werden.

Es sind nun mehrere Szenarien denkbar: zum einen ist ein verlässlich ansteigender Kraftstoffpreispfad bis 2030 ein wirksames Politikinstrument, um Anreize zum Wechsel der Antriebsoptionen zu schaffen (Schade und Krail, 2015). Schließlich ist bei einem Anstieg der Elektromobilität von einer zumindest teilweisen Kompensation der verringerten Mineralölsteuereinnahmen durch steigende Steuersätze auf flüssige Kraftstoffe und/oder Strom zu rechnen.

Im Rahmen der Diskussionen im Verbraucherpanel wurde nun neben dem Basisszenario, welches ein Einfrieren des Status Quo bezüglich der verkehrsbezogenen Energiesteuern (bis auf die voraussichtliche Anhebung der Besteuerung des Erdgases¹⁰) bedeutet, zwei weitere Energieszenarien beschlossen, welche als Sensitivitäten die Auswirkungen von verschiedenen Steueroptionen auf die TCO-Rechnung aufzeigen sollen.

Der Unterschied zwischen den Szenarien soll kurz erläutert werden:

Szenario eins in Tabelle 13 geht von der Annahme aus, dass ein Kraftstoffpreispfad für Benzin sowie Diesel den Wechsel zu alternativen Antrieben begünstigt. Aus diesem Grund ist für beide Kraftstoffarten ein jährlicher Anstieg von 4 % ab 2017 bis 2030 hinterlegt. Die relative steuerliche Begünstigung für Diesel bleibt somit bestehen. Die Werte zwischen 2017 und 2030 sind linear ansteigend.

¹⁰ Die voraussichtliche Anhebung bezieht sich auf den Gesetzesentwurf der Bundesregierung zum Zweiten Gesetz zur Änderung der Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes (Stand: Februar 2017).

Tabelle 13: Szenario eins für Energiesteuersensitivität

Kraftstoff	Einheit	Wert in 2016	Wert in 2030
Benzin	Cent / Liter	65	113
Diesel	Cent / Liter	47	81
CNG	Cent / kg	18	41
Wasserstoff	Cent / kg	0	0
Strom	Cent / kWh	0	0

Quelle: M-Five

Szenario zwei in Tabelle 14 versucht, die steuerliche Begünstigung der alternativen Antriebsarten abzubauen. Der Zielwert für CNG, Wasserstoff sowie Strom liegt in Szenario drei bei äquivalenten Werten zu den bisherigen vergünstigten Steuersätzen für Diesel.

Tabelle 14: Szenario zwei für Energiesteuersensitivität

Kraftstoff	Einheit	Wert in 2016	Wert in 2030
Benzin	Cent / Liter	65	65
Diesel	Cent / Liter	47	47
CNG	Cent / kg	18	41
Wasserstoff	Cent / kg	0	16
Strom	Cent / kWh	0	5,2

Quelle: M-Five

3.4 Sonstige Anpassungen

Schließlich wurden in Ergänzung zur europäischen Modellversion des TCO-Rechners noch die folgenden Veränderungen vorgenommen: die Wartungskosten wurden an deutsche Vergangenheitswerte angepasst, die Betankung des Zusatzstoffes AdBlue wurde berücksichtigt und eine dezidiere Annahme bezüglich der Entwicklung der Finanzierungsraten bis 2030 wurde im Rahmen der Diskussion des Verbraucherpanels beschlossen.

Die DAT (2016b) hat, analog zu den Listenneupreisen sowie Restwertkurven in den Abschnitten 3.1 sowie 3.2 die Wartungskosten der beiden konventionellen Antriebe der letzten Jahre ausgewertet. Die Daten der DAT (2016b) zeigen einen über die Jahre zunehmenden Verlauf der durchschnittlichen Wartungskosten pro Segment. Es zeigt sich ein Peak im fünften Jahr, welcher auch auf die vorgegebenen kürzeren Serviceintervalle und das Anfallen der großen Inspektion zurückzuführen ist. Bei den Plug-in-Hybriden wurden die bisherigen niedrigeren Modellwerte an die Kurven der DAT (2016b) angepasst; für die Antriebe, bei welchen es keine direkten Vergleichsdaten gibt, wie Brennstoffzelle oder reines batterieelektrisches Fahrzeug, wurden die ursprünglichen Werte des TCO-Modells, welche über die Zeit konstant sind, beibehalten.

Zur Reduktion des Ausstoßes von Stickoxiden wird in den Dieselmotoren der neueren Generation zum Erreichen der Euro-6-Norm der Betriebsstoff AdBlue eingesetzt, welcher zu 32,5 % aus Harnstoff und zu 67,5 % aus demineralisiertem Wasser besteht. Es wird dabei von einem Verbrauch von etwa 5 % des Kraftstoffverbrauchs ausgegangen und der Preis wurde bei 0,55 €/l festgesetzt. Dies betrifft der Einfachheit halber alle Fahrzeuge mit einer Dieselmotorkomponente ab 2017, auch wenn dies momentan eventuell nicht für alle kleineren Fahrzeuge gilt. Nicht weiter betrachtet hingegen wurden etwaige erhöhte Servicekosten; es wurde davon ausgegangen, dass AdBlue von den Besitzern einfach nachzufüllen ist und sich die historischen Servicekosten der DAT dadurch nicht erhöhen.

Im Rahmen des Verbraucherpanels wurde ebenfalls über die Verwendung eines angemessenen Finanzierungssatzes diskutiert. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die 5 % Finanzierungskosten der europäischen Studie angesichts der momentanen Zinslage vermutlich etwas zu hoch angesetzt sind. Aus diesem Grund wurde vereinbart, den Zinssatz bis 2025 auf 3 % zu senken und ab 2025 den Wert der europäischen Studie von 5 % zu verwenden. Diese Vereinbarung bedeutet für das Modell, dass die TCO-Rechnung zwischen 2024 und 2025 einen Sprung erfährt.¹¹ Der Finanzierungszinssatz gilt übrigens in der TCO-Rechnung für alle Formen der Finanzierung: auch für denjenigen, welcher sein Fahrzeug unmittelbar aus Erspartem erwirbt. Da der Finanzierungszinssatz analog zum Marktzinssatz gelten soll, entstünden auch dem Verbraucher, welcher sein Fahrzeug nicht über Darlehen finanziert, Opportunitätskosten der alternativen Geldanlage. Laut DAT-Report (2016) finanzieren 33 % der Gebrauchtwagenkäufer ihr Fahrzeug mittels Kredit und 42% aus Ersparnissen (der Rest überwiegend durch Vorwagenverkauf und eine Minderheit erhält das Fahrzeug als Geschenk), beim Neuwagenkäufer liegt das Verhältnis bei 42 % Kreditfinanzierung und 36 %

¹¹ Das bedeutet zwar, dass Zweit- oder Drittbesitzer, welche z.B. ein Fahrzeug von 2020 zu einem späteren Zeitpunkt erwerben noch in den Genuss des geringeren Zinssatzes kommen; allerdings wird so die Betrachtung über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs hinweg konsistent und die Interpretation nicht erschwert durch unterschiedliche Finanzierungskostensätze der einzelnen Nutzer. Ein weiterer Punkt betrifft die Antizipation zukünftig höherer Zinssätze: zwar wird durch die Zinspolitik zumindest für kürzere Perioden ein Wechsel der Zinssätze absehbar; der Effekt ist aber zeitlich nicht so einfach einzuordnen, weil damit die Erwartungshaltung der Marktteilnehmer mit berücksichtigt werden müsste. Aus diesem Grund wurde entschieden, dass die Zinserhöhung äquivalent zu einem plötzlichen Zinssprung ist, welcher nicht vorhergesehen wurde.

Ersparnissen. Da eine TCO-Rechnung nicht sämtlichen Fällen gerecht werden kann, stellt die einheitliche Betrachtung mittels eines Finanzierungssatzes ein Kompromiss dar.

Fernerhin wurden noch die deutschen Kfz-Steuern in die TCO-Rechnung mit einbezogen. Dazu wurde für jedes Segment die Steuer für die beiden anteilmäßig stärksten Fahrzeuge ermittelt und die Werte gemittelt. Für alternative Antriebe wurden dieselben Steuersätze hinterlegt, außer für die reinen BEVs, bei welchen eine Steuerbefreiung angenommen wurde.

4 Ergebnisse der TCO-Rechnung

In diesem Kapitel sollen die Rechnungen des Total-Cost-of-Ownership (TCO) Modells vorgestellt und analysiert werden. Die Parametrisierung orientiert sich dabei an den Werten der Studie von Element Energy (2016) sowie den Ergebnissen aus den Diskussionen des Verbraucherpanels.

Tabelle 15 zeigt in der Übersicht die verwendete Parametrisierung für die Basisrechnung mit dem an den deutschen Markt angepassten TCO-Modell.

Tabelle 15: Beispielhafte Parametrisierung des TCO-Modells für nachfolgende Abbildungen - Basisszenario

Komponente/Parameter	Wert
Haltedauer	Erstkäufer, 4 Jahre
Jahresfahrleistung	variiert je nach Segment
Elektrischer Fahranteil PHEV	Optimistisch (Anteil elektrisch: 62 %)
Ölpreis 2020	69 US\$/bbl
Benzinpreis 2020	1,622 € ₂₀₁₄ /l ¹²
Dieselpreis 2020	1,305 € ₂₀₁₄ /l
Strompreis 2020	30,20 € ₂₀₁₄ /kWh
Batteriekosten 2020 für OEM im Einkauf (35-60 kWh Batterie für BEV)	200 € ₂₀₁₄ /kWh ¹³
Restwerte und Sonderausstattungen	berücksichtigt
MwSt.	berücksichtigt
Zinssatz für Finanzierungen	3 % (bis 2025), 5 % (ab 2025)
AdBlue	berücksichtigt
Kosten für Ladepunkte	750 € ₂₀₁₄ bis 2025, danach keine weiteren Kosten

Quelle: Element Energy/M-Five

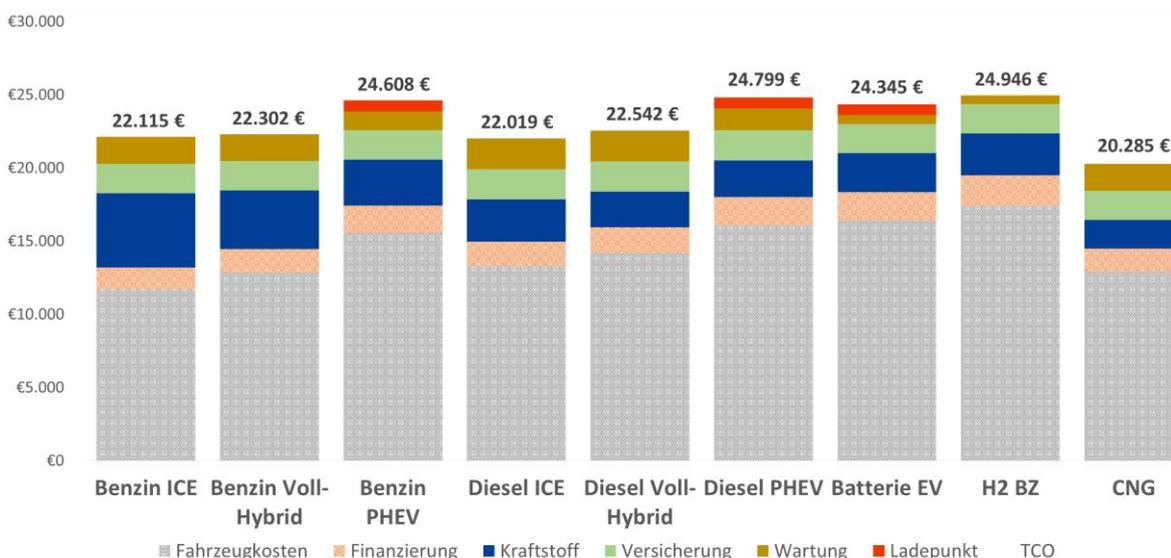
¹² Sämtliche Preise sind mit der Basis 2014 angegeben und damit reale Preise.

¹³ Dieser Wert ist bewusst konservativ gehalten.

4.1 Ergebnisse Basisszenario für das Kleinwagensegment

Im Basisszenario werden zunächst die Werte für die Parametrisierung aus Tabelle 15 für den Erstkäufer der Fahrzeuge im Vergleich der verschiedenen Antrieboptionen dargestellt. Es finden dabei bereits die in Kapitel 3 genannten Anpassungen Berücksichtigung. In der Ergebnispräsentation wird sich auf die Segmente B (Kleinwagen), C (Kompaktklasse) sowie D (Mittelklasse) beschränkt (siehe dazu auch Tabelle 1), da diese drei Segmente zusammen laut KBA etwa 58,3 % der gesamten Neuzulassungen ausmachen. Die Rechnungen erfolgen jeweils separat nach den Jahreslaufleistungen für Benzin- und Diesel (siehe dazu auch Tabelle 8). Die Restwerte sind den jeweiligen Fahrzeugkosten bereits abgezogen.

Abbildung 6: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE

Benzin Voll-Hybrid	0,8%
Benzin PHEV	11,3%
Diesel ICE	-0,4%
Diesel Voll-Hybrid	1,9%
Diesel PHEV	12,1%
Batterie EV	10,1%
H2 BZ	12,8%
CNG	-8,3%

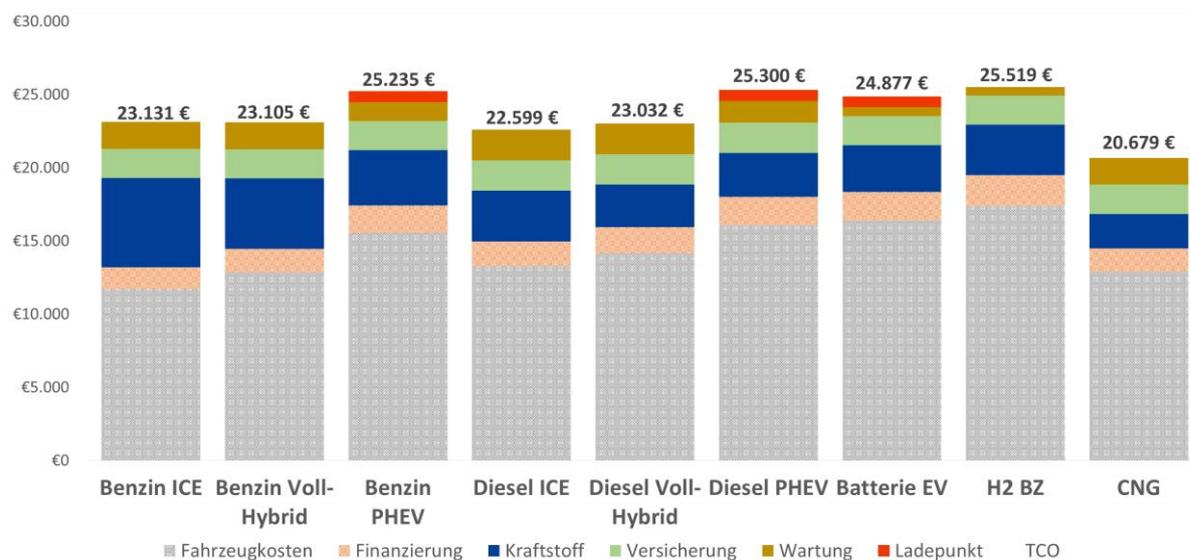
Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 6 sowie Abbildung 7 stellen den TCO-Vergleich für das Kleinwagensegment bei 15.000 km Jahreslaufleistung (Abbildung 6) sowie 18.000 km (Abbildung 7) dar, wobei erstere der durchschnittlichen Laufleistung des Benzinmotors und letztere des Dieselmotors in diesem Segment entspricht.

Wie zu erwarten stellt sich der Erdgasantrieb in beiden Fällen als besonders günstig heraus; dies gilt auch noch mit der Anhebung der Steuersätze für CNG, wie sie in Kapitel 3.3 beschrieben ist. Zwar ist auch der Diesel im Vergleich zum Benzin- in diesem Segment in

2020 bereits bei 15.000 km Jahreslaufleistung leicht günstiger, aber vermutlich sind diese Unterschiede für den Verbraucher kaum wahrzunehmen. Dafür spricht jedenfalls, dass in den vergangenen Jahren der Dieseleanteil bei diesem Segment bei den Neuwagenverkäufen bei etwa 10 % lag.

Abbildung 7: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2020 mit 18.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE

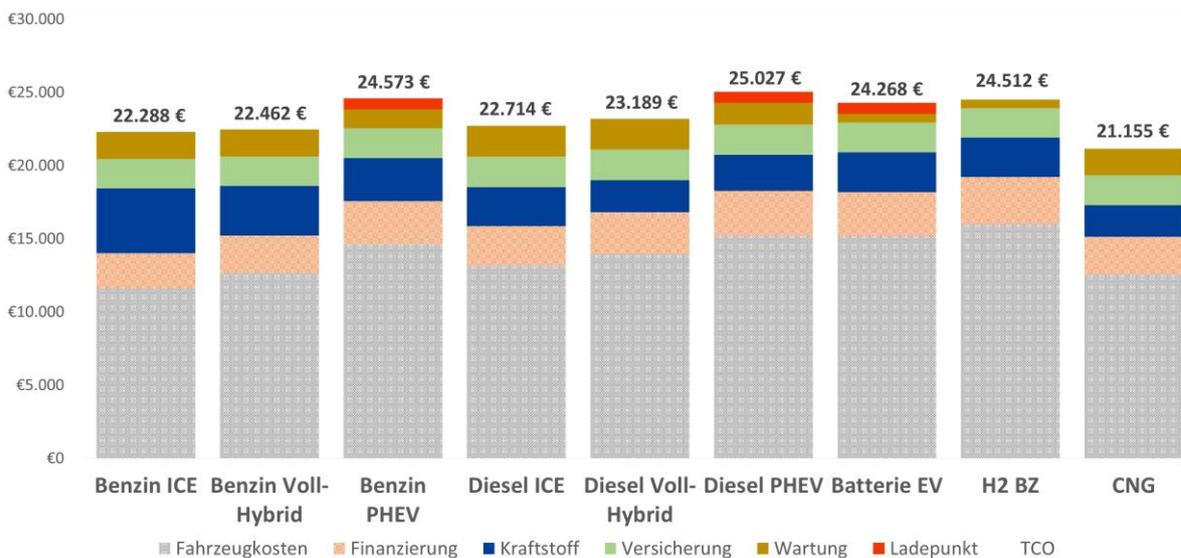
-0,1% 9,1% -2,3% -0,4% 9,4% 7,5% 10,3% -10,6%

Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 8 sowie Abbildung 9 vergleichen nun die TCO-Kosten in dem Segment Kleinwagen für das Jahr 2025. Dies bedeutet, dass sich im Vergleich zu den beiden vorherigen Abbildungen der Finanzierungssatz von 3 % auf 5 % ändert (siehe dazu auch die Beschreibung in Kapitel 3.4). Wie sich bei dem Vergleich mit den vorherigen beiden Abbildungen zeigt, ist der Dieselantrieb nur noch bei den höheren Jahreslaufleistungen rentabler als der reine Benzinantrieb, wobei sich das im Zeitverlauf verändert, wie Abbildung 9 sowie Abbildung 11 zeigen.

Abbildung 10 sowie Abbildung 11 schließlich stellen die verschiedenen Antriebskosten für das Jahr 2030 gegenüber. Als Änderung zu 2025 fallen hierbei die Kosten für die Ladepunkte weg, da angenommen ist, dass ab diesem Zeitpunkt die Verbraucher ihren Haushalt bereits entsprechend umgerüstet haben. Für die höheren Jahreslaufleistungen hat sich auch das reine batterieelektrische Fahrzeug an den Benzinantrieb in 2030 deutlicher ange nähert. Eine gewisse Lücke von knapp 4 % bleibt dennoch bestehen.

Abbildung 8: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2025 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



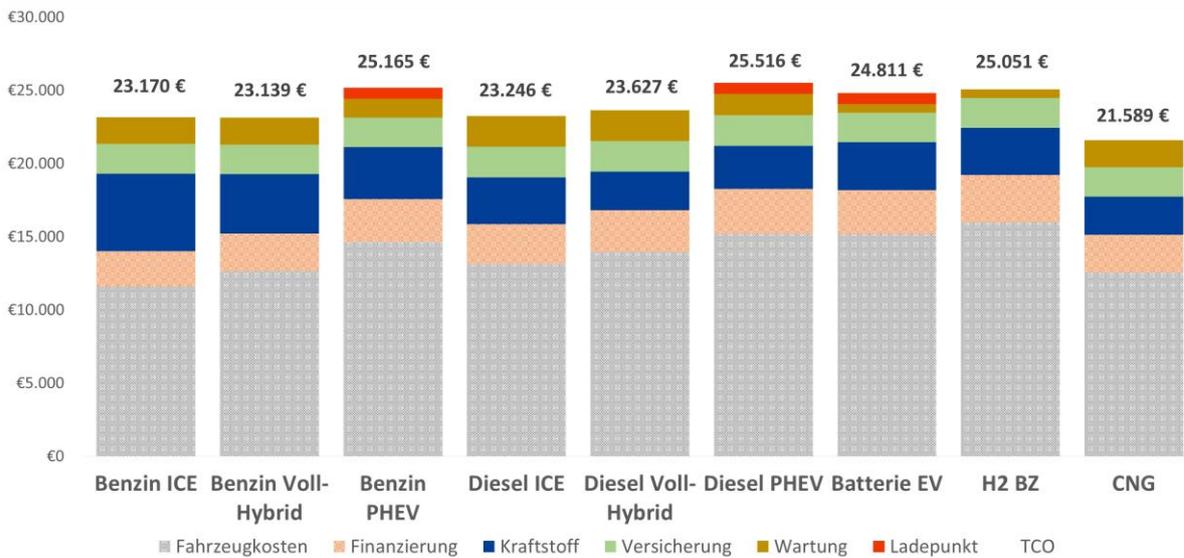
Unterschied zu Benzin ICE	0,8%	10,3%	1,9%	4,0%	12,3%	8,9%	10,0%	-5,1%
---------------------------	------	-------	------	------	-------	------	-------	-------

Quelle: Element Energy/M-Five

In Tabelle 16 sind die spezifischen Emissionsfaktoren für das Kleinwagensegment für die Jahre 2020, 2025 sowie 2030 aufgeführt. Die Emissionsfaktoren beziehen sich dabei auf die realen Verbräuche, so wie sie von Element Energy und ICCT (2015) ermittelt wurden. In der Fortschreibung der Werte wurde eine Konvergenz im Zeitverlauf angenommen, die allerdings je nach Antriebsoption unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

Aus den obigen Abbildungen der zeitlichen Entwicklung der TCO-Rechnung lässt sich für das Kleinwagensegment festhalten, dass die Kostendegressionseffekte insgesamt eher moderat ausfallen: so nehmen etwa für die Laufleistung von 15.000 km die gesamten Betriebskosten für die Brennstoffzelle (H2 BZ) um 7,4 % ab und für das batterieelektrische Fahrzeug um 8,2 %. Für den Dieselantrieb findet eine Kostensteigerung um 0,3 % statt, was vornehmlich mit dem stärkeren Rückgang des Restwertes und in Verbindung damit auch dem Anstieg der Finanzierungskosten zusammenhängt.

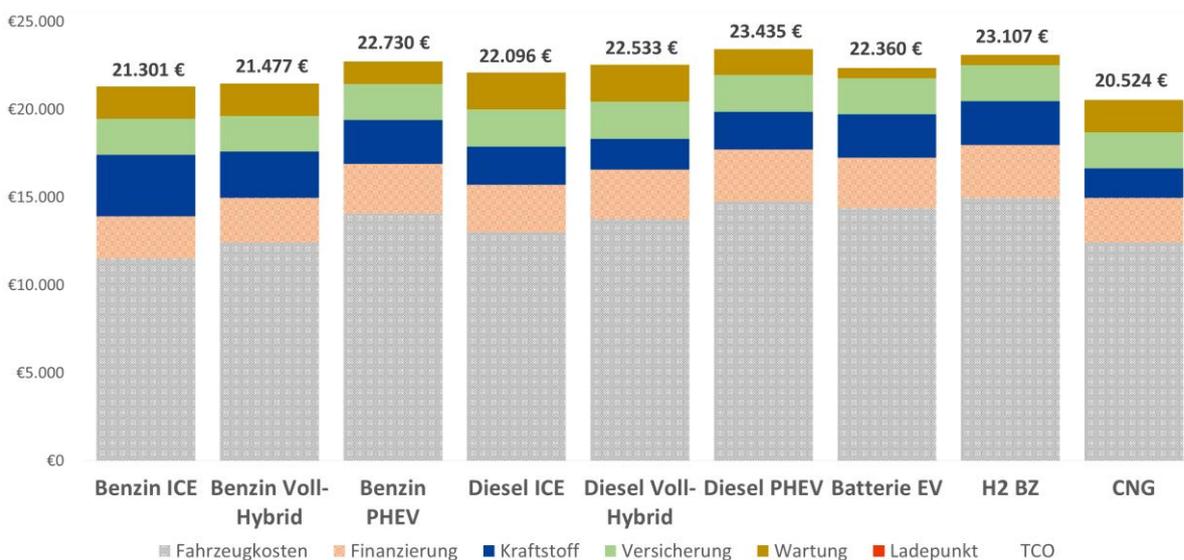
Abbildung 9: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2025 mit 18.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE -0,1% 8,6% 0,3% 2,0% 10,1% 7,1% 8,1% -6,8%

Quelle: Element Energy/M-Five

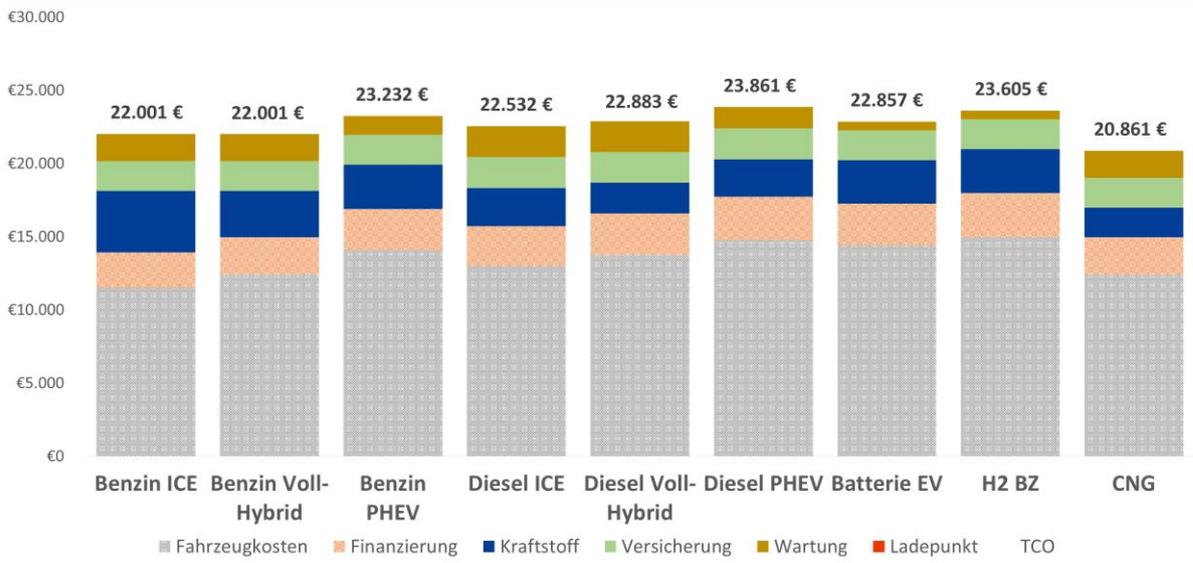
Abbildung 10: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2030 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE 0,8% 6,7% 3,7% 5,8% 10,0% 5,0% 8,5% -3,6%

Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 11: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kleinwagen** für das Kaufjahr 2030 mit 18.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE	0,0%	5,6%	2,4%	4,0%	8,5%	3,9%	7,3%	-5,2%
---------------------------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Quelle: Element Energy/M-Five

Tabelle 16: Emissionsfaktoren für Segment B (Kleinwagen)¹⁴

Antrieb	Emissionsfaktor in gCO ₂ /km (direkte Emissionen)			
	Einheit	2020	2025	2030
Benzin ICE		114,9	97,9	83,8
Benzin Voll-Hybrid		106,3	89,9	76,3
Benzin PHEV		35,5	30,8	25,8
Diesel ICE		85,1	73,6	63,1
Diesel Voll-Hybrid		79,7	68,3	58,1
Diesel PHEV		26,1	22,0	18,9
CNG		87,0	74,1	63,4

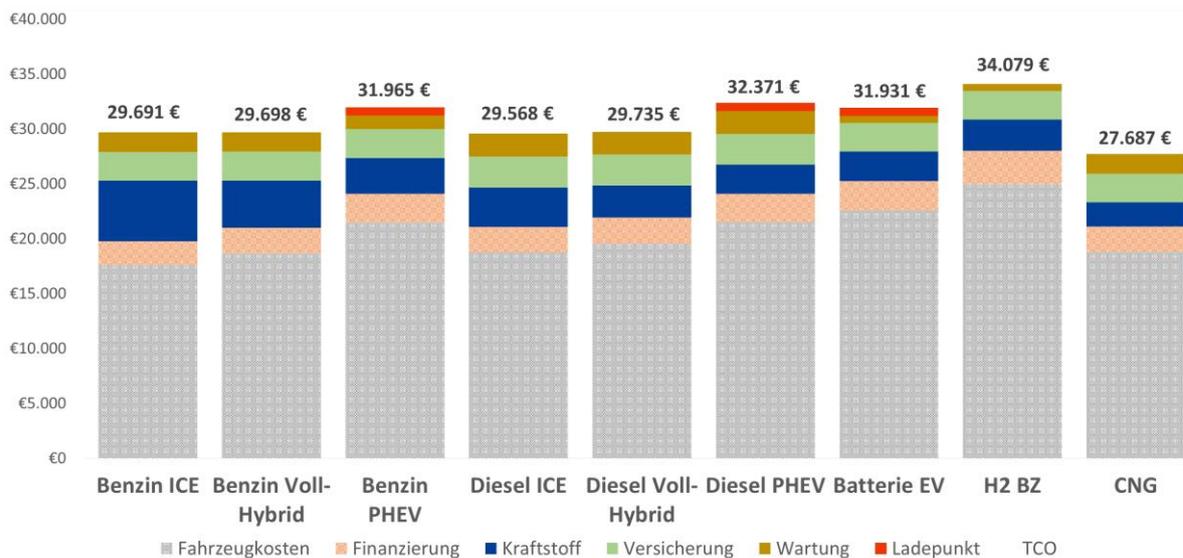
Quelle: Element Energy/M-Five

4.2 Ergebnisse Basisszenario für das Kompaktklassensegment

Auch im Kompaktklassensegment (Segment C in der Übersicht in Tabelle 1) haben die Besitzer eines Fahrzeugs mit Benzinantrieb etwa eine jährliche Laufleistung von 15.000 km und bei Dieselantrieb von etwa 18.000 km. Das bedeutet, dass, außer dem Wechsel des Segmentes, die weiteren Parameter in den folgenden Abbildungen dieselben wie auch schon im vorherigen Abschnitt sind. Auch in diesen Rechnungen werden Ladepunkte für 750 € bis 2025 in der TCO-Rechnung berücksichtigt, in der Berechnung von 2030 sind diese ausgenommen.

¹⁴ Die Werte in dieser sowie in Tabelle 17 und Tabelle 18 beziehen sich auf die realen Kraftstoffverbräuche, so wie sie durch die Aufschlagsfaktoren von Element Energy und ICCT (2015) auf den NEFZ ermittelt wurden. Für das BEV und das H₂-Fahrzeug sind keine Emissionen veranschlagt, siehe Erläuterungen in Kapitel 2.2.

Abbildung 12: Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** für das Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE

0,0% 7,7% -0,4% 0,1% 9,0% 7,5% 14,8% -6,7%

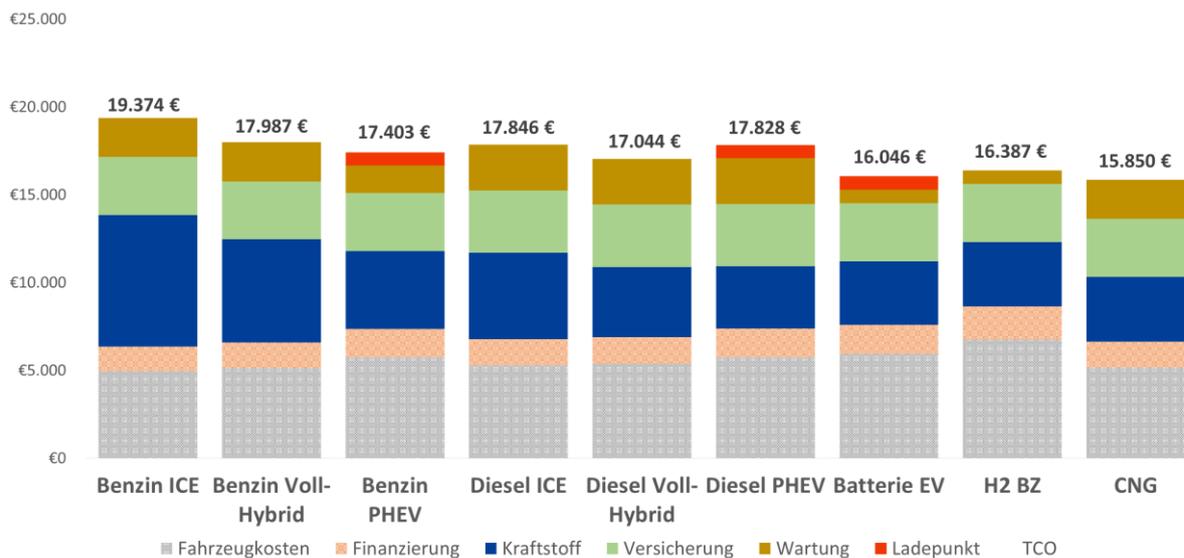
Quelle: Element Energy/M-Five

Bislang hat sich der Fokus auf den Erstkäufer bezogen, da dieser die wesentliche Entscheidung trifft, welche Antriebe in welchen Segmenten in die Flotte kommen. Für die Gesamtbetrachtung ist es jedoch genauso wichtig, die Kosten über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs zu betrachten. So ist der Gebrauchtwagenmarkt eine wichtige Stellgröße, da die erzielten Wiederverkaufswerte auch die Abschreibungen des Erstbesitzers beeinflussen. Es wurden im Rahmen der europäischen Studie (Element Energy, 2016) verschiedene durchschnittliche Haltedauern für die Besitzer ermittelt. Die Haltedauer des Erstkäufer beträgt dabei, wie oben angegeben, durchschnittlich 4 Jahre, der Zweitbesitzer hält sein Fahrzeug im Durchschnitt 5 Jahre und für den Drittbesitzer sind 7 Jahre ermittelt worden.

Abbildung 13 stellt die TCO-Rechnung für den Zweitbesitzer bei ansonsten denselben Parametern wie in Abbildung 12 dar und Abbildung 14 überträgt diese Rechnung auf den Drittbesitzer. Wie aus den beiden Abbildungen zu entnehmen, stellen die alternativen Antriebe bereits ab 2020 für den Zweit- und Drittbesitzer signifikante Ersparnisse in der Vollkostenbetrachtung dar.

Abbildung 15 schließlich führt die TCO-Rechnungen aller drei Besitzer aus den letzten drei Abbildungen in einer Übersicht zusammen. Die TCO-Rechnung erfolgt in Abbildung 15 somit über 16 Jahre mit drei Benutzergruppen. Einschränkend anzumerken ist, dass die jährliche Laufleistung beim Zweit- und Drittbesitzer tendenziell eher abnehmen. Dennoch ist zur Vereinheitlichung nicht von einer weiteren Differenzierung der Laufleistung ausgegangen worden.

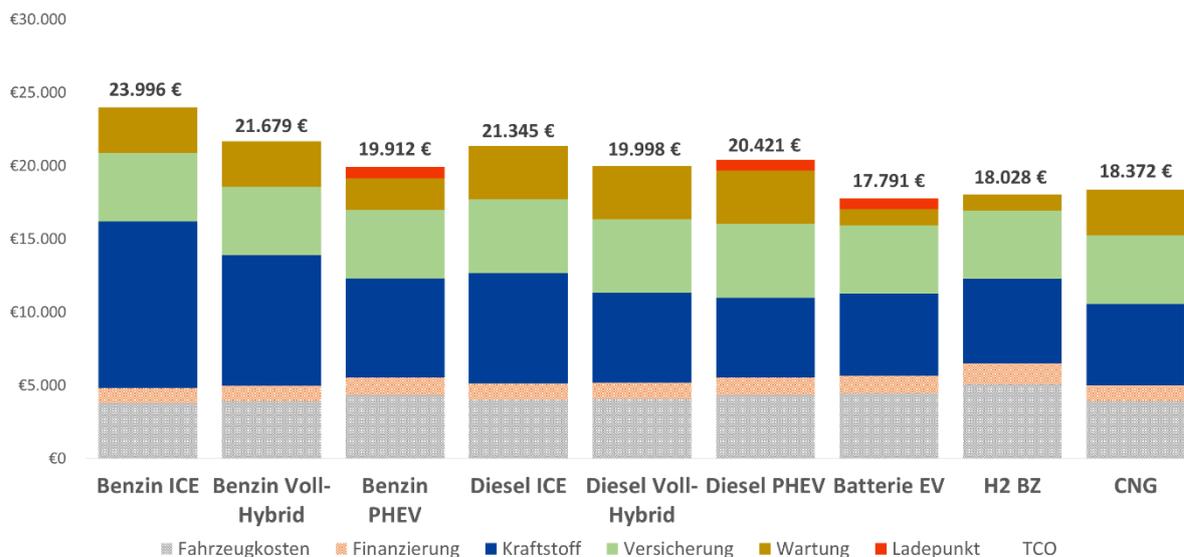
Abbildung 13: Fünf-Jahres-TCO-Rechnung für Gebrauchtwagen (Zweitbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** für das Kaufjahr 2020 (des Erstbesitzers) mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE **-7,2%** **-10,2%** **-7,9%** **-12,0%** **-8,0%** **-17,2%** **-15,4%** **-18,2%**

Quelle: Element Energy/M-Five

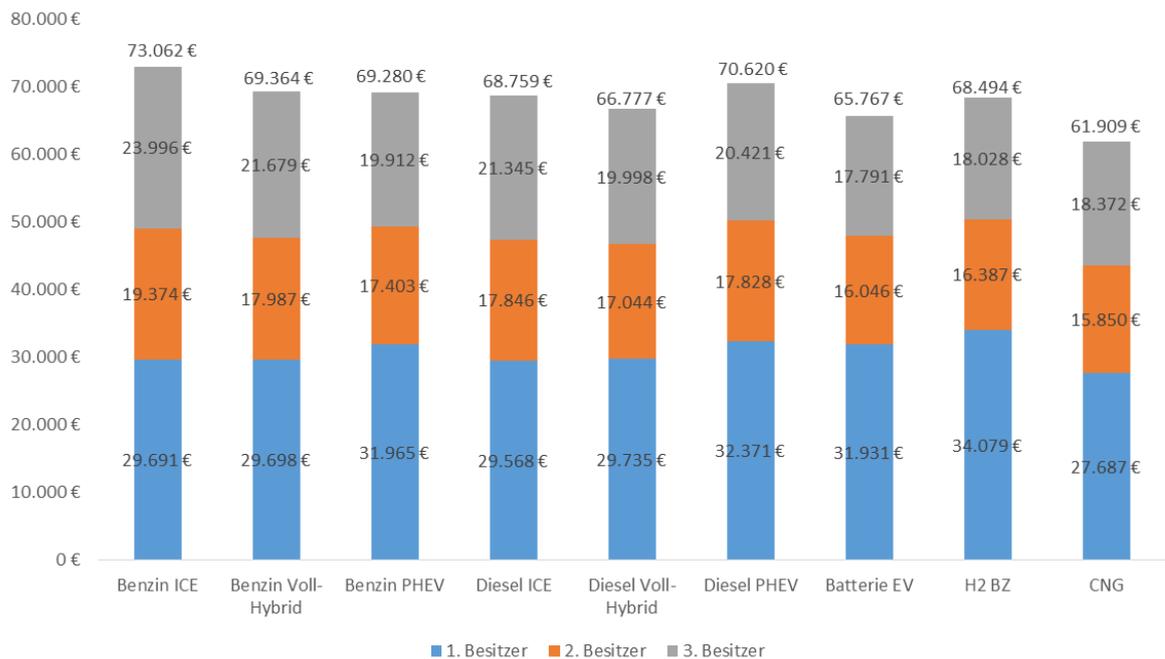
Abbildung 14: Sieben-Jahres-TCO-Rechnung für Gebrauchtwagen (Drittbesitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** für das Kaufjahr 2020 (des Erstbesitzers) mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Unterschied zu Benzin ICE **-9,7%** **-17,0%** **-11,0%** **-16,7%** **-14,9%** **-25,9%** **-24,9%** **-23,4%**

Quelle: Element Energy/M-Five

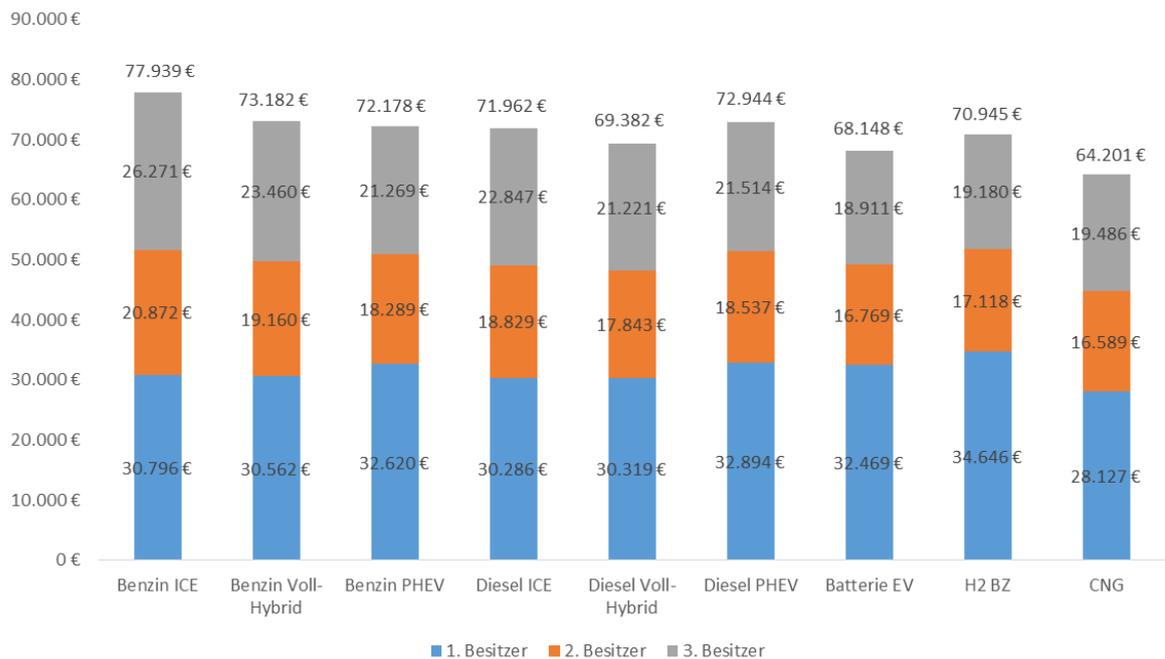
Abbildung 15: 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2020 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Quelle: Element Energy/M-Five

Wie bereits Abbildung 15 für eine jährliche Laufleistung von 15.000 km und stärker noch Abbildung 16 für 18.000 km jährlich zeigen, lohnen sich über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs hinweg bereits die alternativen Antriebe. So hat das batterieelektrische Fahrzeug (Batterie EV) über die Gesamtlebensdauer bei Erstkaufdatum 2020 einen Vorteil von 10,0 % gegenüber dem Benzinantrieb (Benzin ICE) und ist damit der zweitgünstigste Antrieb nach dem erdgasbetriebenen Fahrzeug (CNG) mit einem Vorteil von 15,3 %. Bei der jährlichen Laufleistung von 18.000 km sind die Unterschiede mit 12,6 % für das BEV und 17,6 % für den CNG-Antrieb im Vergleich noch deutlicher. Die Unterschiede ergeben sich durch die insgesamt geringeren Betriebskosten für die alternativen Antriebe und gelten sogar für den Einbezug der Ladepunktkosten. Der Dieselantrieb hat übrigens bei 15.000 km Jahreslaufleistung einen Vorteil von 5,9 % gegenüber dem Benzinantrieb. Dieser Vorteil erhöht sich auf 7,7 % für die höhere Jahreslaufleistung. Anzumerken ist abschließend zu Abbildung 16, dass eine Jahreslaufleistung von 18.000 km über 16 Jahre für eine Traktionsbatterie relativ anspruchsvoll ist.

Abbildung 16: 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2020 mit 18.000 km Jahreslaufleistung

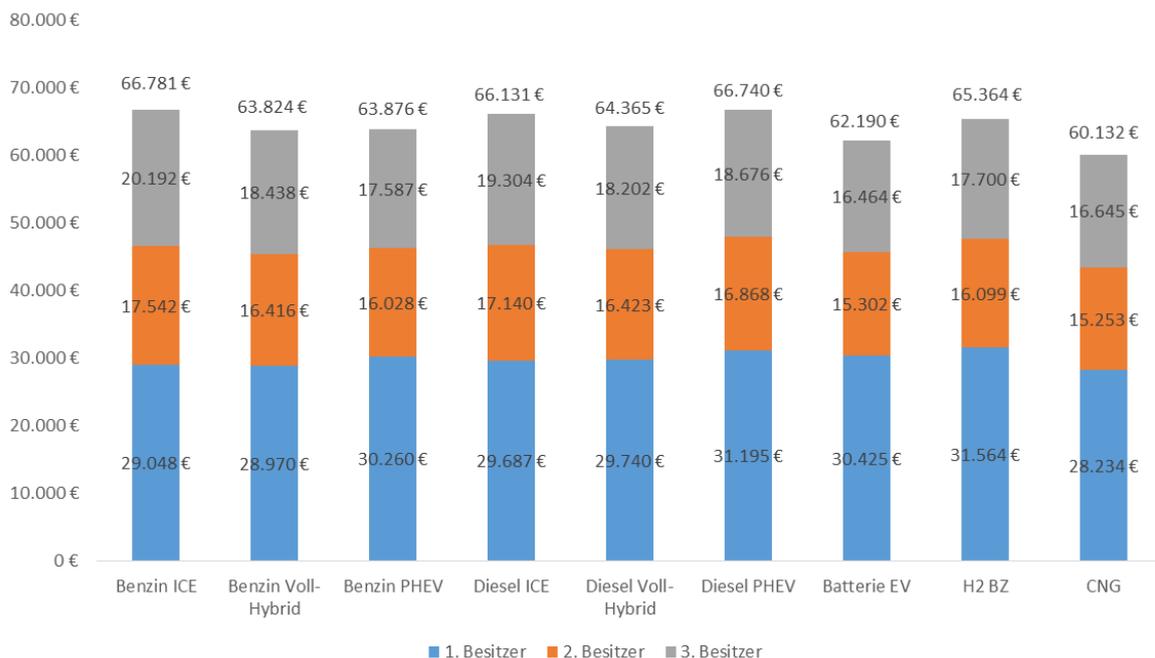


Quelle: Element Energy/M-Five

Interessanterweise sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Antriebsoptionen in 2030 geringer als in 2020. Abbildung 17 zeigt die TCO ebenfalls über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs für das ursprüngliche Kaufjahr 2030. Der Vorteil für das batterieelektrische Auto beträgt nur noch 6,9 %. Diese Entwicklung wird wesentlich getragen von den Effizienzgewinnen bei den Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben, die in diesem Fall den Nachteil für den Zweit- und Drittbesitzer in 2030 abmildern. Zusätzlich sind natürlich die höheren Finanzierungskosten ab 2025 ein Faktor, der, wie oben bereits dargelegt, die alternativen Antriebe im Vergleich zu den konventionellen benachteiligt. Ebenfalls findet in 2030 eine Minderung der Kostenvorteile der beiden Plug-in-Hybride statt: während bei 15.000 km Jahreslaufleistung und Erstkaufdatum 2020 der Benzin PHEV noch 5,2 % und der Diesel PHEV immerhin 3,3 % Kostenvorteile gegenüber dem Benzin ICE genießen, so sind diese in 2030 mit 4,4 % für den Benzin PHEV und 0,1 % für den Diesel PHEV deutlich geringer. Lediglich bei den höheren Laufleistungen von 18.000 km hat der Diesel PHEV in 2030 mit 1,9 % einen etwas größeren Vorteil als der Benzin ICE.

Während die Kraftstoffkosten für den Zweit- und Drittbesitzer in 2020 für das batterieelektrische Fahrzeug lediglich rund 48 % bzw. 49 % des Fahrzeugs mit Benzinmotor betragen, so sind diese für ein Fahrzeug mit ursprünglichen Kaufdatum in 2030 jeweils 68 %. Zwar sind auch Verschiebungen in den Restwerten durch die Kostendegression und damit auch bei den Finanzierungskosten vor allem bei den alternativen Antrieben feststellbar, aber dies wiegt den stärkeren Anstieg bei den Effizienzgewinnen der konventionellen Antriebe nicht auf.

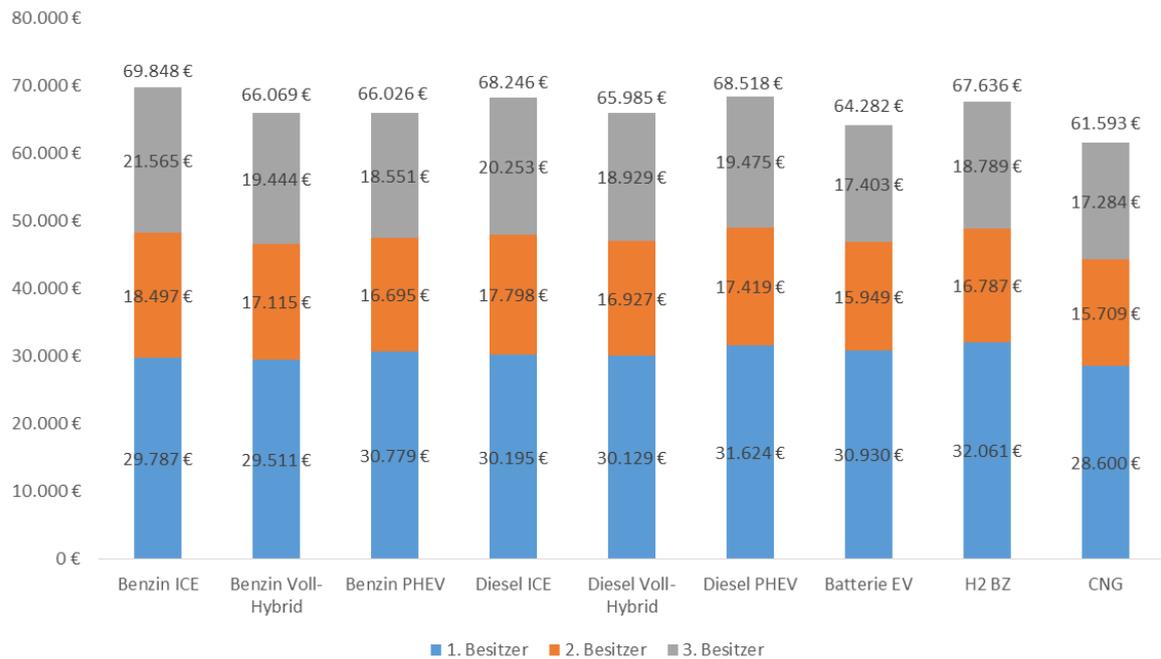
Abbildung 17: 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2030 mit 15.000 km Jahreslaufleistung



Quelle: Element Energy/M-Five

Dieselbe Tendenz ist auch bei den höheren Jahreslaufleistungen feststellbar (siehe Abbildung 18). Bei 18.000 km jährlich beträgt der Vorteil über den 16-Jahreszeitraum für das batterieelektrische Fahrzeug bei dem ursprünglichen Kaufdatum von 2030 noch 8,0 %, das CNG-Fahrzeug hat über die gesamte Lebensdauer hinweg noch einen Vorteil von 11,8 % gegenüber dem Benzin. Das Brennstoffzellenfahrzeug liegt für Erstkaufdatum 2030 mit 3,2 % ebenfalls unter dem Benzin.

Abbildung 18: 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) nach Antrieben im Segment **Kompaktklasse** über alle drei Besitzer für das ursprüngliche Kaufjahr 2030 mit 18.000 km Jahreslaufleistung



Quelle: Element Energy/M-Five

Die Effizienzgewinne bei den konventionellen Antrieben, die den Vorteil der alternativen Antriebe in den späteren Jahren etwas abmildern, können indirekt auch aus den Emissionsfaktoren aus Tabelle 17 entnommen werden.

Tabelle 17: Emissionsfaktoren für Segment C (**Kompaktklasse**)

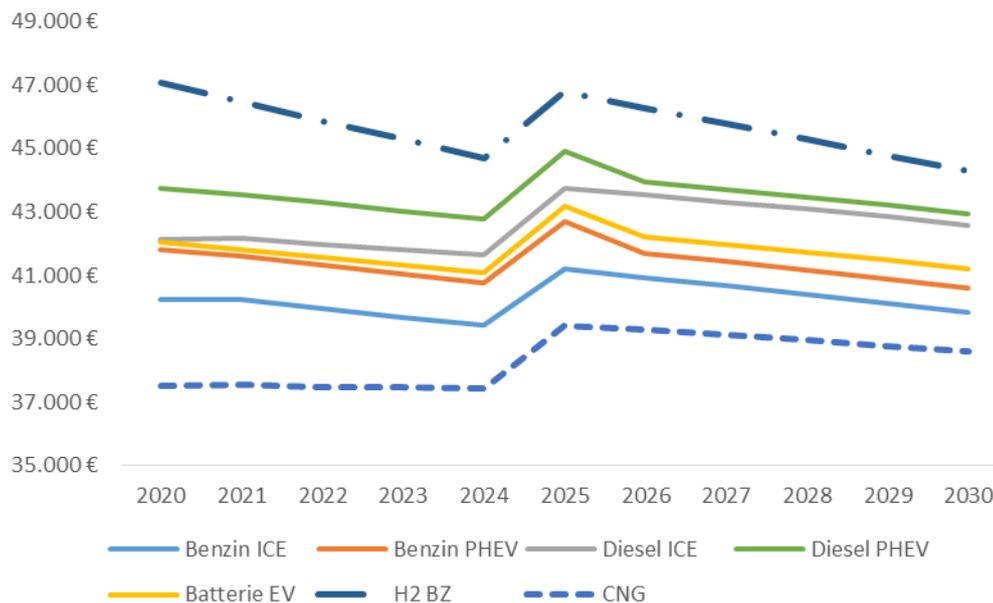
Antrieb	Emissionsfaktor in gCO ₂ /km (direkte Emissionen)		
	2020	2025	2030
Benzin ICE	128,2	109,6	93,8
Benzin Voll-Hybrid	115,7	98,0	83,0
Benzin PHEV	39,3	33,6	29,1
Diesel ICE	103,9	90,0	77,3
Diesel Voll-Hybrid	96,1	82,2	69,8
Diesel PHEV	31,8	26,8	23,0
CNG	97,6	83,5	71,4

Quelle: Element Energy/M-Five

4.3 Ergebnisse Basisszenario für das Mittelklassensegment

Schließlich soll noch die TCO-Entwicklung des Mittelklassensegments (Kategorie D in Tabelle 1) dargestellt werden. In diesem Segment ist die Jahreslaufleistung bereits beim Benzinantrieb erhöht und wird mit 18.000 km jährlich veranschlagt. In der europäischen Studie ist in 2020 für dieses Segment mit derselben Jahresfahrleistung der Diesel leicht teurer als der Benzinantrieb, der Unterschied wird allerdings mit den Anpassungen an den deutschen Markt höher. Es machen sich die leichten Erhöhungen durch AdBlue bemerkbarer als in den unteren Segmenten, aber vor allem schlägt die höhere Kfz-Steuer deutlicher zu Buche.

Abbildung 19: Entwicklung der 4-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) in der **Mittelklasse** bei 18.000 km Laufleistung im Zeitverlauf



Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 19 zeigt den zeitlichen Verlauf der TCO-Rechnung für den Erstbesitzer, also die 4-Jahreswerte. Der Sprung von 2024 nach 2025 wird von dem Wechsel des Finanzierungssatzes von 3 % auf 5 % ausgelöst. Der kleinere Sprung von 2025 nach 2026 bei den Plug-in-Hybriden sowie beim batterieelektrischen Fahrzeug rührt vom Wegfall der Kosten für den Ladepunkt her. Im Mittelklassensegment ist im Vergleich zu den Kleinwagen und der Kompaktklasse der Fahrzeuggrundpreis für Diesel höher. Dieser höhere Aufschlag wird auch nicht durch die vergleichsweise höheren Ersparnisse bei den Kraftstoffkosten wettgemacht. So beträgt der Aufpreis auf den Fahrzeuggrundpreis für den Dieselantrieb in der Mittelklasse knapp 13% im Vergleich zum Benzin, für die Kompaktklasse beträgt derselbe Aufschlag knapp 7%.

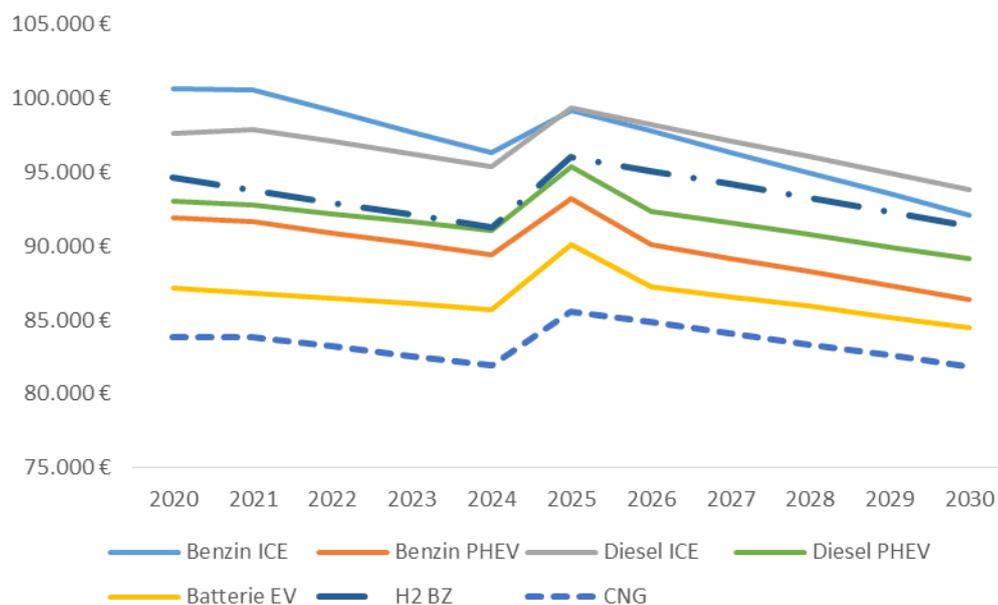
Auch in diesem Segment zeigen sich die Effizienzgewinne für die Antriebe: so verbraucht der Erstbesitzer im Vierjahreszeitraum etwa 4055 Liter Benzin, wenn er das Fahrzeug in 2020 kauft. Bei einem Kauf in 2030 sinkt dieser Wert auf lediglich 2968 Liter, was eine Reduktion um etwa 27 % bedeutet. Kostenmäßig bedeutet das allerdings nur eine Reduktion von etwa 14 %.

Für das rein batterieelektrische Fahrzeug ergibt sich im Mittelklassensegment bei einer Jahresfahrleistung von 18.000 km über einen Vierjahreszeitraum beim Kaufzeitpunkt 2020 ein Stromverbrauch von 9940 kWh. Dieser reduziert sich für das Fahrzeug mit Kaufzeitpunkt 2030 auf 8853 kWh, was einer Reduktion von etwa 11 % entspricht. Kostenmäßig bedeutet das allerdings lediglich eine Reduktion von 1 %. Es zeigt sich also auch bei diesem Segment, dass die Kostendifferenz über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus hinweg für die verschiedenen Antriebsarten im Zeitverlauf geringer wird.

Allerdings ergibt Abbildung 19 auch, dass die Annahmen zur Finanzierung zumindest beim Erstbesitzer eine erhebliche Rolle spielen. Die Kostendegressionseffekte, welche zwischen 2020 und 2024 entstehen, verschwinden bei allen Antrieben durch den Sprung des Finanzierungszinssatzes von 3 % auf 5 % wieder und werden nur bei einigen Antrieben in 2030 wieder erreicht. Außerdem zeigt sich, dass die alternativen Antriebe mit ihren höheren Fahrzeuggrundkosten durch die Annahmen zum Finanzierungszinssatz stärker betroffen werden als die konventionellen Antriebe.

Wie bereits im vorherigen Abschnitt soll auch an dieser Stelle die Betrachtung über alle drei Besitzer angestellt werden. In Abbildung 20 sind wieder, analog zu Abbildung 15 ff. die Gesamtsummen gezogen worden. Allerdings ist hier auf die Differenzierung zwischen den Besitzergruppen verzichtet worden und stattdessen der zeitliche Verlauf auf der Achse abgetragen, analog zu Abbildung 19. Gerechnet wurde in Abbildung 20 mit der höheren Jahreslaufleistung von 21.000 km (also der des Dieselantriebs in diesem Segment).

Abbildung 20: Entwicklung der 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) in der **Mittelklasse** bei 21.000 km Laufleistung im Zeitverlauf



Quelle: Element Energy/M-Five

Die Tendenz der abnehmenden Kostenvorteile der alternativen Antriebe im Zeitverlauf wird auch von der 16-Jahres-TCO-Rechnung über alle drei Besitzer und damit dem gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs für 21.000 km Jahreslaufleistung in Abbildung 20 bestätigt, auch wenn die Abnahme der Kostenvorteile sich als weniger stark erweisen als die Zunahme durch die höheren Finanzierungskosten ab 2025..

Beträgt der Vorteil des Dieselantriebs beim Fahrzeugerwerb in 2020 bei 21.000 km Jahreslaufleistung zum Benzinantrieb noch 2,9 %, so dreht sich dieser beim Fahrzeugerwerb

in 2030 auf einen Nachteil von 1,8 % um. Für den Diesel-Plug-in-Hybrid beträgt der Vorteil zum reinen Benziner bei Erstkauf in 2020 noch 7,6 % und wird mehr als halbiert auf 3,2 % bei Erstkauf in 2030.

Für das batterieelektrische und das erdgasbetriebene Fahrzeug ist die Abnahme des Kostenvorteils im Zeitverlauf nicht ganz so groß, aber immerhin noch gut erkennbar: für das Batterie EV ist beim Fahrzeugbaujahr 2020 über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus ein Kostenvorteil von 13,4 % vorhanden und trotz des Wegfalls der Kosten für die Ladepunkte schmilzt dieser auf 8,3 % für 2030 gegenüber dem Benziner.

Das Fahrzeug mit CNG-Antrieb hat für das Baujahr 2020 einen Kostenvorteil von 16,7% gegenüber Benzin und bleibt auch in 2030 mit dann noch 11,1 % die günstigste Antriebsoption in diesem Segment bei 21.000 km Jahreslaufleistung. Für das Fahrzeug mit Brennstoffzelle (H2 BZ) ergibt sich im Zeitverlauf bei Vollkostenbetrachtung sogar fast eine Konvergenz zum Benziner: ist dieser Antrieb über den 16-Jahreszeitraum gerechnet in 2020 noch 6,0 % günstiger als das vergleichbare Fahrzeug mit Benzinmotor, ist der Vorteil bei Fahrzeugerstkauf in 2030 mit 0,8 % fast verschwunden. Dies liegt in erster Linie an den Kraftstoffkosten. Diese sind für die Brennstoffzelle aufgrund der geringeren Effizienzgewinne und der Kostenentwicklung für 2030 über alle Besitzer hinweg lediglich 6,7 % günstiger als in 2020. Für den Benziner ergibt sich hingegen eine Minderung von 37,1 %. Somit beträgt der Kostenvorteil für das H2 BZ-Fahrzeug gegenüber dem Benzin ICE in 2020 bei den Kraftstoffkosten 50,7 %, für Erstkaufdatum 2030 nur noch 26,8 %. Dies wiegt dann die höheren Fahrzeug- sowie die Finanzierungskosten nicht mehr auf.

Analog zu Tabelle 16 und Tabelle 17 sind in Tabelle 18 die Emissionsfaktoren für das Mittelklassesegment für die Jahre 2020, 2025 sowie 2030 aufgeführt. Auch in dieser Tabelle wurden die realen Verbräuche zugrunde gelegt.

Tabelle 18: Emissionsfaktoren für Segment D (**Mittelklasse**)

Antrieb	Emissionsfaktor in gCO ₂ /km (direkte Emissionen)		
	2020	2025	2030
Benzin ICE	127,1	108,7	93,0
Benzin Voll-Hybrid	114,7	97,2	82,4
Benzin PHEV	38,9	33,3	28,8
Diesel ICE	110,5	95,6	82,1
Diesel Voll-Hybrid	102,1	87,4	74,2
Diesel PHEV	33,8	28,5	24,4
CNG	96,7	82,7	70,7

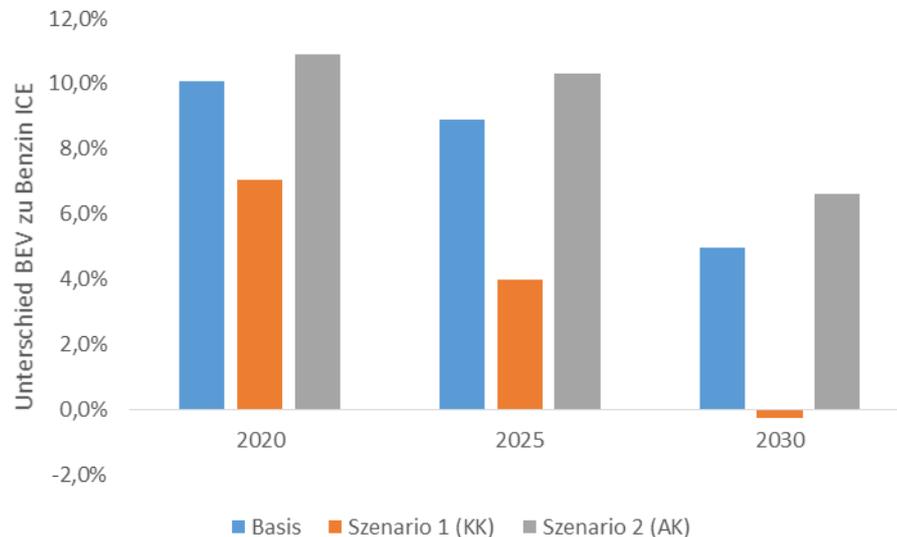
Quelle: Element Energy/M-Five

4.4 Sensitivitätsanalysen

In Kapitel 3.3 ist beschrieben, wie alternative Besteuerungsszenarien für die Kraftstoffe aussehen könnten. Die beiden beschriebenen Szenarien in Tabelle 13 sowie Tabelle 14 sind aus Diskussionen in den Workshops des Verbraucherpanels entstanden.

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Veränderungen, die sich für das Kleinwagensegment (Segment B in Tabelle 1) ergeben. Abbildung 21 stellt die prozentualen Unterschiede für das batterieelektrische Fahrzeug bei einer Jahreslaufleistung von 15.000 km zum reinen Benzinantrieb dar. In den folgenden Abbildungen wird Szenario 1 zur besseren Kenntlichmachung mit dem Zusatz KK (für den Anstieg der Besteuerung der konventionellen Kraftstoffe) und Szenario 2 mit dem Zusatz AK (für den Anstieg der Besteuerung der alternativen Kraftstoffe) gekennzeichnet.

Abbildung 21: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) beim **Kleinwagen** mit 15.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE



Quelle: Element Energy/M-Five

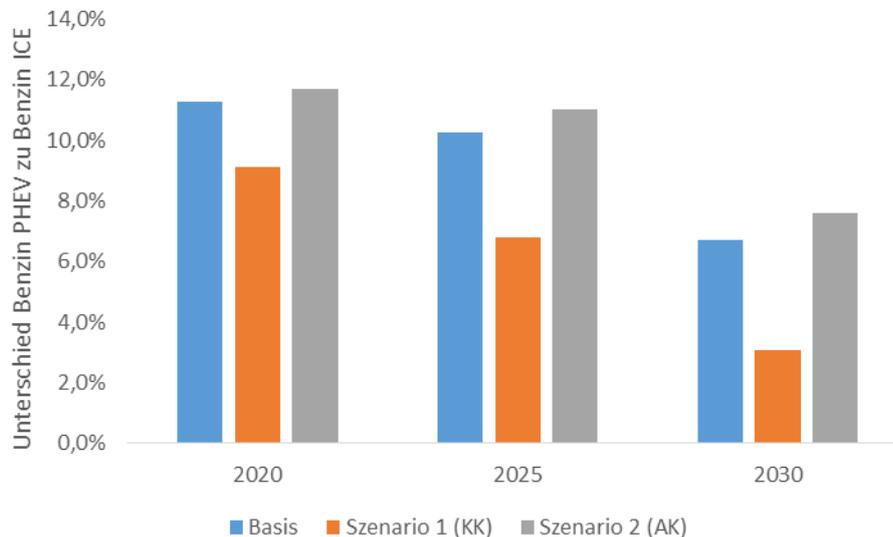
In 2020 hat im Basisszenario der Benzinantrieb gegenüber dem BEV einen Kostenvorteil von 10,1 % (siehe Abbildung 6). Bei der Anpassung der Energiesteuer gemäß Szenario 1 sinkt der Kostenvorteil auf 7,0 % und bei Szenario 2 ist der Benzinantrieb 10,9 % günstiger. In 2030 schlägt der Kostennachteil des Elektroantriebes bei Szenario 1 sogar zu einem leichten Vorteil um, hier ist er 0,3 % günstiger als der Benzinantrieb.

Wie zu erwarten, sind die Werte für Szenario 1 günstiger für das BEV: dieses Szenario betrachtet die kontinuierliche Anhebung der Besteuerung des Benzin- sowie Dieselantriebs. Durch diese Veränderung der Besteuerung wird das batterieelektrische Fahrzeug in 2030 (in welchem auch die Zusatzkosten für den Ladepunkt für den Käufer wegfallen) günstiger als das Benzinfahrzeug.

Die Werte für Szenario 2, welches eine Steuer für alternative Kraftstoffe analog zur Dieselbesteuerung vorsieht, sind dementsprechend höher als im Basisszenario.

Dieselbe Tendenz ist auch für das Benzin-Plug-in-Hybrid-Fahrzeug in Abbildung 22 zu sehen: allerdings sind in diesem Fall die Ersparnisse bei den Kraftstoffkosten nicht ausreichend, die erhöhten Fahrzeugbasispreise und damit auch die Finanzierungskosten auszugleichen.

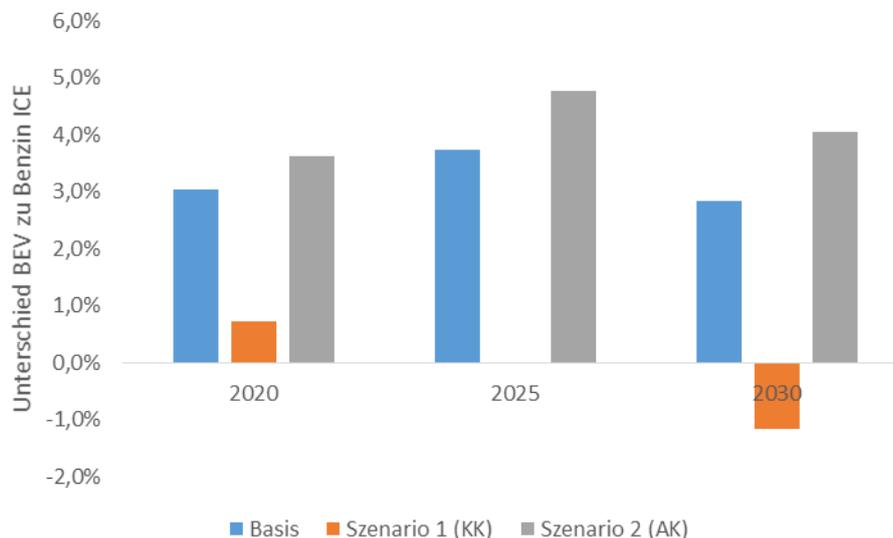
Abbildung 22: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) beim **Kleinwagen** mit 15.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE



Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 23 sowie Abbildung 24 stellen denselben Vergleich für die Mittelklasse bei der erhöhten Jahreslaufleistung von 21.000 km jährlich an. Auch in diesem Fall ist die 4-Jahres-TCO-Rechnung für den Erstbesitzer betrachtet worden.

Abbildung 23: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) bei der **Mittelklasse** mit 21.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE

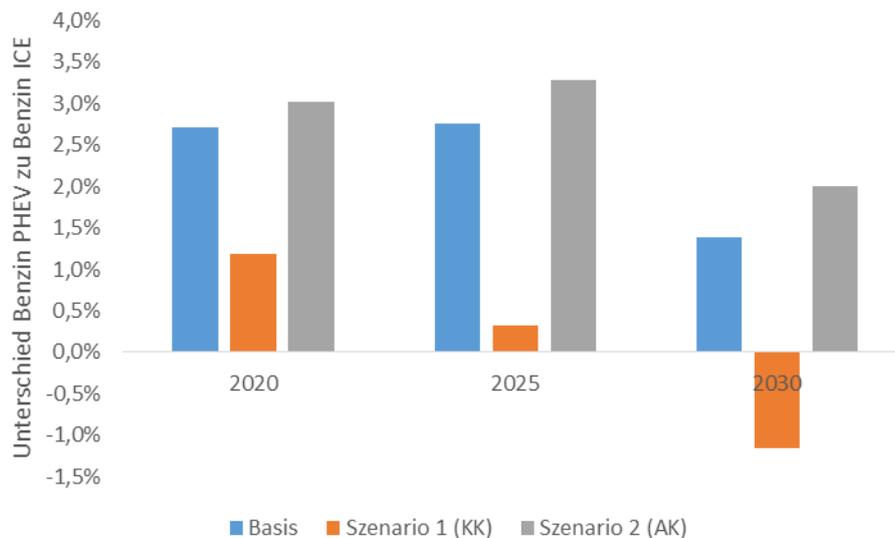


Quelle: Element Energy/M-Five

In Abbildung 23 zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Abbildung 21: Szenario 1 begünstigt das batterieelektrische Fahrzeug und sorgt bereits ab 2025 dafür, dass dieser Antrieb günstiger als oder zumindest gleichauf mit dem Benziner ist. Begünstigend ist in diesem Fall die höhere jährliche Jahreslaufleistung. Für Szenario 2 dreht sich das Bild entsprechend um. Insgesamt ist aber für den Käufer des größeren Segmentes die Anschaffung eines BEVs lohnenswerter, was auch an der höheren Jahreslaufleistung liegt.

Im Fall von Abbildung 24 wird in Szenario 1 schließlich auch der Benzin-Plug-in-Hybrid günstiger als der reine Verbrennermotor, zumindest in 2030. Die Werte für Szenario 2 liegen entsprechend wieder über dem des Basisszenarios.

Abbildung 24: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei Vier-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (Erstbesitzer) bei der **Mittelklasse** mit 21.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE

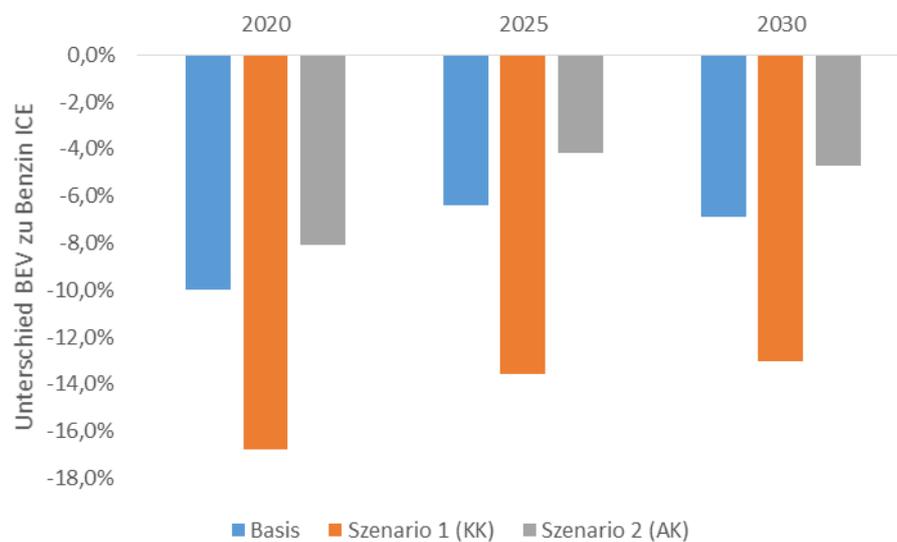


Quelle: Element Energy/M-Five

Gründe für die Unterschiede bei diesen Energieszenarien liegen auch begründet in den Rahmendaten. So ist beispielsweise in Abbildung 23 der BEV im Basisszenario in 2025 teurer im Vergleich zum Benzin ICE in 2020, weil sich in diesem Jahr der Finanzierungszinssatz von 3 % auf 5 % erhöht hat. Der Anschaffungspreis für den BEV ist in diesem Jahr immer noch 15 % über dem des Benziners und damit sind auch die Finanzierungskosten für diesen Antrieb knapp 700 € teurer innerhalb des Vierjahreszeitraums für den Erstbesitzer. Beides kann nicht von den etwa 2.900 € günstigeren Kraftstoffkosten ausgeglichen werden. Als Resultat verschwinden die Unterschiede zwischen beiden Antrieben nur im Szenario 1, welches eine Erhöhung der Besteuerung für Benzin vorsieht. Ähnliches gilt auch für den Unterschied zwischen dem Benzin PHEV und dem Benzin ICE in Abbildung 24.

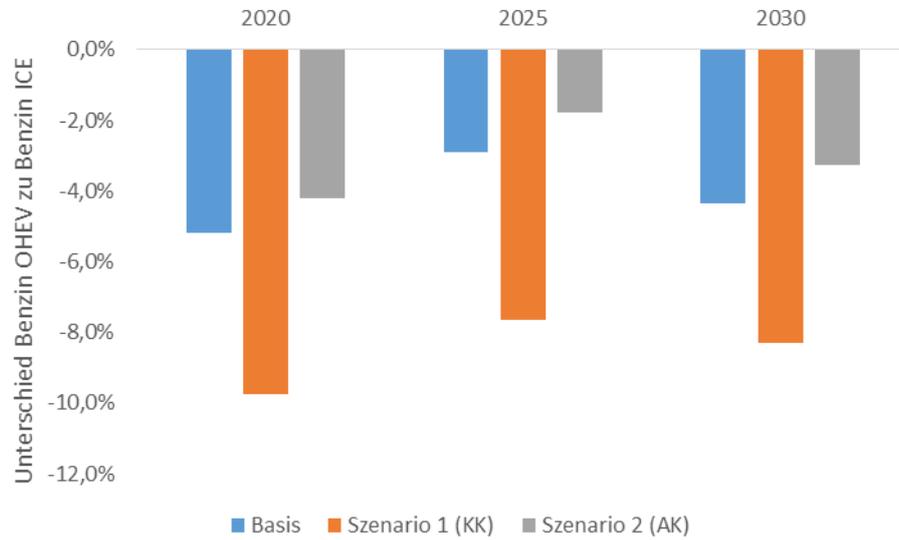
Abbildung 25 sowie Abbildung 26 schließlich stellen die Sensitivitätsrechnungen bei der Lebenszyklusbetrachtung über den 16-Jahres-Horizont für alle drei Besitzer kumuliert für die Kompaktklasse bei 15.000 km Jahreslaufleistung dar. In beiden Fällen bestätigt sich die Beobachtung, dass das Szenario 1 eine deutliche Begünstigung der alternativen Antriebe in der TCO-Betrachtung herstellt.

Abbildung 25: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) bei der **Kompaktklasse** mit 15.000 km Jahreslaufleistung für das Batterie EV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE



Quelle: Element Energy/M-Five

Abbildung 26: Sensitivitäten zur Energiebesteuerung bei 16-Jahres-TCO-Rechnung für Neuwagen (alle drei Besitzer) bei der **Kompaktklasse** mit 15.000 km Jahreslaufleistung für den Benzin PHEV als prozentualer Unterschied zum Benzin ICE



Quelle: Element Energy/M-Five

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Diese Studie baut auf der Studie von Element Energy (2016) auf, in welcher für Europa ein zweistufiges Modell entwickelt wurde, welches eine Vollkostenbetrachtung mit dem Vergleich verschiedener Antriebsoptionen bis 2030 und für verschiedene Fahrzeugsegmente erlaubt. Der erste Teil des Modells, das Cost-and-Performance (CP) Modell, welches Annahmen zur Technologieentwicklung und -durchdringung, Kostenkurven sowie den spezifischen Verbräuchen anhand mehrerer europäischer Studien trifft, wurde für die vorliegende Studie nicht verändert. Das darauf aufbauende Total-Cost-of-Ownership (TCO) Modell, welches diese Fahrzeug-Parameter in eine Vollkostenbetrachtung für den Verbraucher übersetzt, ist im Rahmen der Diskussionen von drei Workshops des Expertenkreises an die Spezifika des deutschen Marktes angepasst worden. Hierbei wurden Listenneupreise, Sonderausstattungsmerkmale, Restwertkurven, die Beigabe von AdBlue, der Finanzierungszinssatz, die Kfz-Steuer sowie Wartungskosten und die Energiebesteuerung verändert. Zudem wurden die Ausgangswerte für die jährliche Laufleistung segmentspezifisch ermittelt. Es konnte dabei auf die Vergangenheitsdaten des deutschen Neu- sowie Gebrauchtwagenmarktes zurückgegriffen werden. Das CP-Modell wurde nicht verändert, weil zum einen nicht erwartet werden kann, dass sich diese Werte aufgrund der einheitlichen Produktion der Hersteller für den europäischen Markt für die verschiedenen Länder unterscheiden werden und zum anderen diese Werte in umfangreichen Diskussionen im Rahmen von Workshops der europäischen Verbraucherschutzorganisation (BEUC) ermittelt wurden und eine Abweichung die Vergleichbarkeit mit der Studie von Element Energy (2016) erschwert hätte.

Zwei der vier Schlussfolgerungen, welche Element Energy (2016) für Europa getroffen hat, sollen nun im Einzelnen für Deutschland dargelegt werden. Die beiden anderen Schlussfolgerungen betreffen Annahmen, welche Auswirkungen im CP-Modell haben und insofern für diese Studie keine Veränderung erfahren.

Die kontinuierliche Verbesserung der Effizienzparameter sorgt für eine weitere Abnahme der Kosten für die Verbraucher: Diese Aussage kann von dieser Studie im Prinzip so für Deutschland bestätigt werden; allerdings sorgt ein höherer Finanzierungszinssatz ab 2025 zumindest teilweise dafür, dass diese Kostendegressionseffekte wieder zunichte gemacht werden. Abbildung 19 sowie Abbildung 20 können dies beispielhaft veranschaulichen. Hierbei spielt sicherlich eine Rolle, dass die Anpassung an deutsche Listenneupreise sowie die Berücksichtigung von Extras und Sonderausstattungen erfolgt ist. Damit werden die Finanzierungskosten (oder Opportunitätskosten für die Verbraucher, welche ihr Fahrzeug nicht über einen Kredit finanzieren) höher, auch weil die Restwertkurve für die Sonderausstattungen steiler verläuft.

Die TCO-Rechnung für konventionelle und alternative Antriebe beginnen nach 2020 zu konvergieren, wobei die batterieelektrischen Fahrzeuge über die Gesamtlebensdauer bereits ab 2020 kompetitiv sind: über alle drei Besitzer hinweg betrachtet kann diese Aussage der europäischen Studie auch für Deutschland bestätigt werden. Abbildung 17 dient hier als Beispiel zur Unterstützung. Für den Erstbesitzer kann dies aber nur bedingt

gelten. Bei höherer Jahreslaufleistung und steuerlicher Begünstigung der alternativen Kraftstoffe können für manche Segmente die batterieelektrischen Fahrzeuge in der Vierjahres-TCO-Betrachtung der Erstkäufer günstiger ausfallen als die Referenzfahrzeuge mit Benzinantrieb, aber dies gilt nicht für alle Fälle. Insgesamt nimmt für die 16-Jahres-TCO-Rechnung der Kostenvorteil der alternativen Antriebe im Zeitverlauf ab.

Als Einschränkung für die Ergebnisse wurden in den Diskussionen in den Workshops die notwendigen Vereinfachungen ausgemacht, welche eine solche Modellierung immer beinhalten muss. So ist es beispielsweise manchen Verbrauchern möglich, größere Rabatte auf die Listenneupreise zu erhalten, welche zumindest in der momentanen Marktsituation noch für eine Begünstigung der konventionellen Antriebe spricht. Bei alternativen Antrieben sind bislang keine ähnlich gearteten Rabatte feststellbar. Ebenfalls kann für jedes Segment nur eine Basisversion eines Fahrzeugs pro Antriebsoption betrachtet werden. Zwar sind Aufschläge für Extras und Sonderausstattungen im deutschen TCO-Rechner mit berücksichtigt. Allerdings beinhalten diese ein wesentliches Instrument der Ausdifferenzierung der Fahrzeuge für den Endverbraucher und können somit im Einzelfall deutlicher von den ermittelten Durchschnittswerten abweichen. Schließlich bieten historische Jahreslaufleistungen zwar gute Anhaltspunkte für die TCO-Berechnung, aber auch in diesem Fall ist die Spannweite teilweise sehr hoch. Tendenziell haben die alternativen Antriebe bei höheren Laufleistungen einen Kostenvorteil und können sich somit für die Verbraucher, welche nur unterdurchschnittliche Laufleistungen haben, als weniger rentabel herausstellen. Dies gilt insbesondere natürlich für den Erstbesitzer, bei welchem die höheren Fahrzeugpreise in der TCO-Betrachtung stärker zu Buche schlagen als beim Zweit- oder Drittbesitzer.

Eine Einschränkung, welche nur am Rande der Workshops diskutiert wurde, betrifft den zukünftigen Umgang mit der Dieselseltechnologie. Sollte aufgrund von Luftschadstoffbelastungen tatsächlich ein teilweises Verbot dieses Antriebs in manchen Innenstädten ausgesprochen werden, würde dies vermutlich Auswirkungen auf den Wiederverkaufswert der Fahrzeuge haben. Von einem generellen Verbot von Verbrennungsmotoren ist nach heutigem Stand in Deutschland nicht auszugehen. Da auch eine mögliche Nutzungseinschränkung der Dieselseltechnologie nur vereinzelt politisch gefordert wird, wäre eine Betrachtung von Auswirkungen auf die TCO-Rechnung zu spekulativ.

Weiterhin sind mit der Weiterentwicklung der Schadstoffgesetzgebung, insbesondere der Regulierung der Emissionen im praktischen Betrieb (real driving emissions, RDE) von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zukünftig Mehrkosten für das Abgasnachbehandlungssystem¹⁵ zu erwarten, die im aktuellen CP-Modell für die Dieselseltechnologie allerdings berücksichtigt sind. Auch bei Direkteinspritzung in Ottomotoren wird zukünftig in vielen Fällen beispielsweise ein Partikelfilter notwendig werden. Auch eine weitere Verschärfung der Grenzwerte, die die Kosten der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor beeinflussen können, ist mittelfristig zu erwarten.

¹⁵ Zum Beispiel durch eine größere Dimensionierung oder zusätzlich notwendige Komponenten (z.B. Systemkombinationen von Speicherkatalysatoren und Katalysatoren zur selektiven katalytischen Reduktion).

Der Rückgang der Lücke zwischen realem und offiziellem Verbrauch sorgt dafür, dass sich die relative Stärke der alternativen Antriebe, nämlich die geringeren Verbrauchskosten, im Zeitverlauf etwas abmildern. Allerdings ist der Rückgang dieser Vorteile nicht so groß, dass es zu einer Veränderung der Gesamtaussage führt: über den Gesamtlebenszyklus des Fahrzeugs hinweg können alternative Antriebe für den Verbraucher zu geringeren Kosten führen, auch zukünftige Effizienzsteigerungen mit eingeschlossen.

Es zeigt sich, dass vor allem für die höheren Jahreslaufleistungen die Anschaffung eines alternativen Antriebs bereits für den Erstbesitzer lohnenswert sein kann, abhängig von der Entwicklung der Kraftstoffbesteuerung. Tendenziell ist die Anschaffung eines alternativen Antriebs in den kleineren Segmenten für den Erstbesitzer weniger lohnenswerter als in den größeren Segmenten, aber die Jahreslaufleistung ist ein deutlich gewichtigerer Bestimmungsfaktor. Für sämtliche Segmente liegen die Vorteile alternativer Antriebe eher beim Zweit- oder Drittbisitzer, sofern nicht schon der Erstbesitzer eine deutlich erhöhte Jahreslaufleistung aufweist. Auch wenn die Restwertkurven für die Antriebe sich nicht unterscheiden, ist die absolute Kostenbelastung für den Erstbesitzer durch die höheren Fahrzeugpreise bei den alternativen Antrieben am höchsten. Eventuell kann es aber durch die günstigeren Vollkosten zu einer erhöhten Zahlungsbereitschaft des Zweit- oder Drittnutzers für Gebrauchtwagen mit alternativen Antrieben kommen. Da aber für die alternativen Antriebe erwartet wird, dass eine schnellere Technologieentwicklung dieser Zahlungsbereitschaft entgegenläuft, wurde diese Möglichkeit in dieser Studie nicht weiter in Betracht gezogen.

Nichtsdestotrotz führt auch diese höhere Belastung nicht zu einem oft befürchteten Kostenanstieg. Hierbei zeigt sich gerade die Stärke der Vollkostenrechnung, wie sie die TCO bieten kann: eine realistische und ausgewogene Betrachtung aller Kostenkomponenten für den Endverbraucher zeigt, dass die höheren Fahrzeuggrundpreise in der Wahrnehmung oft ein verzerrtes Bild der tatsächlich anfallenden Kosten hinterlässt. Künftige Entwicklungen bei den Batteriekosten wurden zudem in der Studie tendenziell eher konservativ gerechnet, so dass für die folgenden Jahre eher mit einer weiteren Annäherung der Fahrzeuggrundpreise gerechnet werden kann. Zudem wurden eventuelle steuerliche Entlastungen für Smart Grids und damit einem verbilligten Strompreis außerhalb der Spitzennachfrage nicht berücksichtigt.

Wie insbesondere Abbildung 13 sowie Abbildung 14 für die Kompaktklasse zeigen, kann die Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben bereits ab 2020 für die Zweit- und Drittbisitzer lohnenswert sein, was in diesem Fall auf die verringerten variablen Kosten zurückzuführen ist. Dies ist aus zweierlei Sicht eine positive Nachricht: zum einen werden Verbraucher, die sich kein neues Fahrzeug leisten können oder wollen mit der größeren Verfügbarkeit von alternativen Antrieben finanziell sogar besser gestellt. Während Erstbesitzer eines Batteriefahrzeugs noch 7,5 Prozent mehr zahlen müssen als für einen vergleichbaren Benziner, sparen die Zweit- und Drittbisitzer dagegen 17,2 bzw. 25,9 Prozent. Zum anderen sichert ein funktionierender Gebrauchtwagenmarkt für diese Antriebe dem Erstkäufer die Veräußerung seines Fahrzeugs, was sich im Restwert nach der Haltedauer in der TCO-Rechnung auch bei ihm positiv widerspiegelt.

Schließlich führen die Effizienzentwicklungen bei den Verbrennungsmotoren auch zu deutlichen CO₂-Reduktionen. Gerade vor dem Hinblick des Übereinkommens von Paris mit den verbindlichen Emissionsminderungszielen für Deutschland ist dies grundsätzlich eine gute Nachricht. Allerdings sollte an dieser Stelle auch betont werden, dass eine Kostenminimierung, welche ja die andere Seite von Effizienzgewinnen ist, auch zu Rebound-Effekten führen kann. Deshalb kann sich nicht allein auf die Effizienzgewinne der konventionellen Antriebe verlassen werden, sondern sollte gleichzeitig eine Verstärkung der Diffusion alternativer Antriebe in Verbindung mit nachhaltig erzeugtem Strom angestrebt werden. Insbesondere die nationalen Klimaziele bis 2030 werden diese Diffusion notwendig machen.

Insgesamt kann aber die vorliegende Studie etwaige Ängste minimieren, dass ein Wechsel auf alternative Antriebe und zukünftige Investitionen in Effizienztechniken bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu größeren finanziellen Nachteilen für den Verbraucher führt. Damit kann diese Studie, in Verbindung mit der europäischen von Element Energy (2016) beitragen, die Akzeptanz von alternativen Antrieben für den Verbraucher zu stärken.

6 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium der Finanzen (2011): *Grundlagenwissen zum Benzinpreis und seiner Entwicklung*. <http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Steuerarten/spritpreis.html> abgerufen am 27.02.2017.
- Bundesministerium der Finanzen (2016): *Steuern von A bis Z*. Ausgabe 2016. Berlin.
- Bundesministerium der Finanzen (2017): *Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes*. Berlin
- Breyer, A. (2006): *Zurück zu den Wurzeln*. absatzwirtschaft – Zeitschrift für Marketing 9/2006
- DAT (2016a): *DAT-Report 2016*. Ostfildern
- DAT (2016b): *Sonderauswertung von Fahrzeugdaten der Deutschen Automobil Treuhand für das Verbraucher-Panel 2016*. Ostfildern
- DAT (2017): *DAT-Report 2017*. Ostfildern.
- Destatis (2016): *Energiesteuerstatistik*. Fachserie 14 Reihe 9.3. Wiesbaden
- Diez, W., Maier, B., Keuerleber, M. (2015): *Margen- und Bonussysteme im deutschen Automobilhandel*. Institut für Automobilwirtschaft (ifa). Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Nürtingen-Geislingen
- Element Energy (2012): *Cost and performance of EV batteries*. Endbericht an das Committee on Climate Change (UK). Element Energy.
- Element Energy (2016): *Low carbon cars in the 2020s: Consumer impacts and EU policy implications*. Final report for BEUC (The European Consumer Organisation).
- Element Energy and ICCT (2015): *Quantifying the impact of real-world driving on total CO2 emissions from UK cars and vans*.
- Holweg, M. (2008): *The Evolution of Competition in the Automotive Industry*. In: Build to Order. The Road to the 5-Day Car, Parry, G., Graves, A. (eds.), Springer, Berlin
- Holweg, M., Pil, F. K. (2004): *The Second Century. Reconnecting Customer and Value Chain through Build-to-Order Moving beyond Mass and Lean Production in the Auto Industry*. MIT Press, Cambridge
- Kunert, U., Link, H. (2013): *Verkehrsinfrastruktur: Substanzerhaltung erfordert deutlich höhere Investitionen*. DIW Wochenbericht Nr. 26/2013. Deutsches Institut für Wirtschaft, Berlin.
- Ricardo-AEA (2012): *A review of the efficiency and cost assumptions for road transport vehicles to 2050*. Studie im Auftrag des Committee on Climate Change (UK). AEA/R/ED57444.
- Ricardo-AEA (2015a): *Improving understanding of technology and costs for CO2 reductions from cars and LCVs in the period to 2030 and development of cost curves*.
- Ricardo-AEA (2015b): *Light duty vehicle cost and efficiency scenarios*.
- Schade W., Krail M. (2015): *Analyse der Effekte niedriger Ölpreise auf aktuelle Verkehrsszenarien*. Arbeitspapier im Auftrag der Stiftung Mercator, Karlsruhe.
- Schmidt-Carré, A. (2013): *The race for profits*. In: Automotive Now, Trade in crisis, Issue 1/2013, KPMG, Stuttgart

- Terporten, M. (1999): *Wettbewerb in der Automobilindustrie. Eine industrieökonomische Untersuchung des deutschen Pkw-Marktes unter besonderer Berücksichtigung der nationalen Hersteller*. Dissertation, Universität Duisburg
- UBA (2017): *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015*. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission. Climate Change 13/2017, Dessau-Roßlau.
- Zentralverband Deutsches Kraftfahrgewerbe (ZDK) (2015): *Zahlen & Fakten 2014*. Ausgabe 2015, Bonn
- Zentralverband Deutsches Kraftfahrgewerbe (ZDK) (2016): *Zahlen & Fakten 2015*. Ausgabe 2016, Bonn