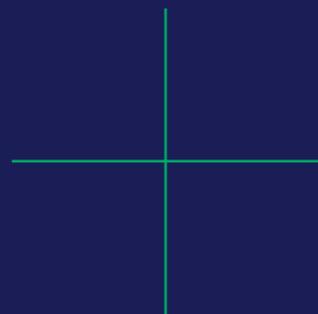


FACTSHEET TCO

EINE WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE DER ANTRIEBSARTEN FÜR PKW



Begleitforschung Rahmenbedingungen und
Markt der Förderrichtlinie Elektromobilität





Inhalt



Einleitung	3
+¹	
TCO-Vergleich von Antriebsvarianten	4
1.1 Annahmen zu den TCO-Berechnungen	5
1.2 TCO-Vergleich von Antriebsvarianten	7
1.3 Einfluss der Nutzung privater und/oder öffentlicher Ladeinfrastruktur	10
1.4 Wirkungen der Energiepreise	11
1.5 Variation von Restwerten	12
+²	
Methodik der TCO-Berechnung	13
+³	
Schlussfolgerungen	14
+⁴	
Literatur	15
+⁵	
Abkürzungsverzeichnis	16



Einleitung

Der Anteil von batterieelektrischen Pkw (BEV) an den gesamten Pkw-Neuzulassungen in Deutschland betrug nach Zahlen des Kraftfahrt-Bundesamts im Jahr 2022 17,7 % und ist damit deutlich im Vergleich zum Vorjahr (11,6 %) gestiegen (KBA 2023). Ebenfalls zugenommen hat der Anteil von Pkw mit Plug-in-Hybridantrieben (PHEV) mit 13,7 %. Pkw mit Brennstoffzellenantrieb (FCEV) spielen mit weniger als 0,08 % kaum eine Rolle bei der bisherigen Elektrifizierung der Pkw-Flotte in Deutschland. Im Dezember 2022 stieg der Anteil von BEV und PHEV an den Neuzulassungen sogar auf über 55 % – wobei sich hier die Änderungen beim Umweltbonus mit großer Wahrscheinlichkeit bemerkbar machen.

EIN EINFLUSSFAKTOR FÜR DIE STEIGENDEN ANTEILE VON ELEKTROFAHRZEUGEN (EV) IST SICHER DAS ZUNEHMENDE BEWUSSTSEIN DER BEVÖLKERUNG FÜR DAS PROBLEM DES KLIMAWANDELS UND DER NOTWENDIGKEIT ZUM RASCHEN HANDELN.

Zu den EV werden batterieelektrische Pkw (BEV), Plug-in-Hybrid-elektrische Pkw (PHEV) sowie Brennstoffzellen-Pkw (FCEV) gezählt. Bezüglich der vorteilhaften Klimabilanz von Elektrofahrzeugen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICEV) ist sich die Wissenschaft größtenteils einig. Studien des ICCT (2021), Joanneum Research (2022), Fraunhofer ISI (2020) oder ifeu (2020) belegen eindeutige Vorteile von EVs gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bei den THG-Emissionen über den kompletten Lebenszyklus.

Neben der Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur, der praktischen Eignung eines EV für das individuelle Fahrprofil der Nutzenden und der Verfügbarkeit von EV-Modellen in allen Fahrzeugsegmenten sind die Kosten der Nutzung ein wesentlicher Einflussfaktor für die Wahl eines EV. Während EV gegenüber vergleichbaren ICEV noch zum Teil deutlich höhere Anschaffungskosten haben, galten insbesondere BEV lange Zeit als besonders sparsam bei den Betriebskosten und vor allem bei den Energiekosten.

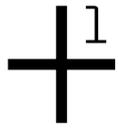
Die Bundesregierung hat zur Überbrückung der höheren Anschaffungskosten mehrere Investitionsförderprogramme ins Leben gerufen, unter anderem die Förderrichtlinie Elektromobilität des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV), das Flottenaustauschprogramm Sozial&Mobil und der BAFA Umweltbonus des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Jahr 2016. 2020 wurde der Umweltbonus noch um die Innovationsprämie erweitert und ein attraktives Förderpaket für EV geschaffen.

2022 haben sich durch den Krieg in der Ukraine und die Energiekrise die Rahmenbedingungen auch für die individuelle Mobilität durch massive Preissteigerungen bei allen Energieträgern geändert. Zusätzlich haben sich im Januar 2023 die Förderbedingungen beim BAFA-Umweltbonus und der Innovationsprämie angepasst: Der Umweltbonus ist von 6.000 auf 4.500 € für BEV und FCEV unter 40.000 € Nettolistenpreis des Basismodells gesunken; bis 65.000 € beträgt der Umweltbonus nur noch 3.000 €. PHEV werden seit dem Jahreswechsel

nicht mehr durch den Umweltbonus gefördert. Ab September 2023 sind nur noch private Halter für die Förderung berechtigt und in 2024 wird der Umweltbonus auf 3.000 € für BEV und FCEV unter 45.000 € Nettolistenpreis gesenkt.

Die Unsicherheit von Fahrzeugkäuferinnen und -käufern bei der Auswahl eines geeigneten Antriebs hat dadurch verständlicherweise zugenommen. Um diese Unsicherheiten zu verringern, wurde der vorliegende Vergleich von ausgewählten Pkw-Modellen mit verschiedenen Antriebsarten entwickelt. Es zeigt zum einen den Status quo bei den gesamten Haltungskosten der häufigsten Antriebsvarianten bei Pkw in Abhängigkeit der Nutzung privater und öffentlicher Ladeinfrastruktur. Zum anderen verdeutlicht er mögliche Änderungen der Kosten durch geringere öffentliche Förderung oder durch sich ändernde Energiepreise. Hierzu werden die gesamten Kosten der Nutzung eines Fahrzeugs während der Haltedauer nach dem Total Cost of Ownership (TCO) Berechnungsverfahren für ausgewählte Modelle aus verschiedenen Segmenten berechnet und miteinander verglichen. Die Auswertung ist dabei so konzipiert worden, dass sie sowohl privaten als auch gewerblichen Käuferinnen und Käufern relevante Informationen über die entstehenden Kosten der Antriebswahl liefern kann.

DIE VORLIEGENDE STUDIE IST TEIL DER BEGLEITFORSCHUNG „RAHMENBEDINGUNGEN UND MARKT“ DER FÖRDERRICHTLINIE ELEKTROMOBILITÄT DES BMDV UND WURDE DURCH DAS FRAUNHOFER ISI DURCHFÜHRT.



TCO-Vergleich von Antriebsvarianten

Das folgende Kapitel gibt Antworten auf folgende Fragen:

- Ab welcher Haltedauer lohnt sich die Anschaffung eines BEV im Vergleich zu einem Verbrenner-Pkw in verschiedenen Fahrzeugsegmenten?
- Welche Anteile an den TCO haben die einzelnen Kostenkomponenten?
- Machen aktuell und möglicherweise auch zukünftig hohe Strompreise, bedingt durch die Energiekrise in Folge des Kriegs in der Ukraine, den Betrieb von BEV und PHEV unwirtschaftlich?
- Wie wirkt sich der geminderte und bald auslaufende Umweltbonus für BEV und FCEV auf die TCO in verschiedenen Fahrzeugsegmenten aus?
- Welche Rolle spielt die Verfügbarkeit privater oder gewerblicher Ladeinfrastruktur, eventuell sogar die Nutzung eigener Stromerzeugungsanlagen und damit unterschiedlicher Strompreinsniveaus, im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit eines EV?
- Was passiert im TCO-Vergleich, wenn BEV durch einen Technologiesprung oder Verbrenner durch ein Verbrenner-Aus im Restwert sinken?

Vor der Beantwortung dieser Fragen gilt es jedoch, die wesentlichen, zugrundeliegenden Annahmen hinter den Berechnungen zu erläutern.



1.1 Annahmen zu den TCO-Berechnungen

Ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Investitionen, wie es der Kauf eines neuen Pkw darstellt, setzt immer einen Blick in die Zukunft voraus. Die Annahme konstanter Energiepreise über die Haltedauer eines Pkw bis zu 15 Jahre oder mehr ist aus vielerlei Gründen keine empfehlenswerte Herangehensweise.

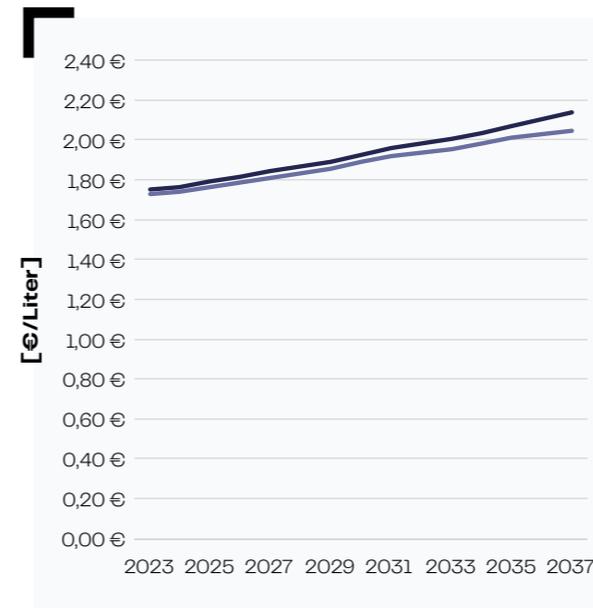
Einer der wichtigsten Gründe ist das bereits heute durch das Klimaschutzgesetz (KSG) festgelegte sektorscharfe THG-Minderungsziel bis 2030 und den durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) vorgeschriebenen Pfad der CO₂-Bepreisung. Steigende CO₂-Preise fließen direkt in die Kraftstoffpreise fossiler Kraftstoffe, aber auch in den Anteil des Strompreises ein, der durch fossile Energieträger erzeugt wird. Unabhängig von den üblichen spekulationsbedingten Preisschwankungen der Energieträger ist damit bei fossilen Kraftstoffen von einer Preissteigerung auszugehen, weil der CO₂-Preis bis 2030 und danach ansteigen wird. Gleichzeitig bewirkt der durch das Klimaschutzgesetz angetriebene Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion mittelfristig einen Rückgang der Strompreise von einem aktuell hohen Niveau. Aus diesen Gründen werden für den TCO-Vergleich keine konstanten Energie- und Kraftstoffpreise angenommen.

Die Berechnungen basieren auf Energiepreisen, die angepasst an das durchschnittliche Preisniveau des Jahres 2022 an die angenommene Entwicklung in den Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (Krail et al. 2021) angelehnt sind.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Energiepreise in € pro Liter bzw. € pro kWh.

Um eine Vorstellung dafür zu bekommen, wie sich diese Preisentwicklungen auf die durchschnittlichen Energie- bzw. Kraftstoffkosten über die Jahre auswirken, wird in **Abbildung 2** ein Vergleich der Energie- bzw. Kraftstoffkosten für 100 gefahrene Kilometer pro Antriebsart dargestellt. Die Berechnungen basieren auf durchschnittlichen, realen Verbrauchswerten für Pkw, die in den Jahren 2021 und 2022 zugelassen und deren reale Verbrauchswerte im Spritmonitor (2023) dokumentiert worden sind.

Preisentwicklung Benzin/Diesel



Preisentwicklung Strom/H2

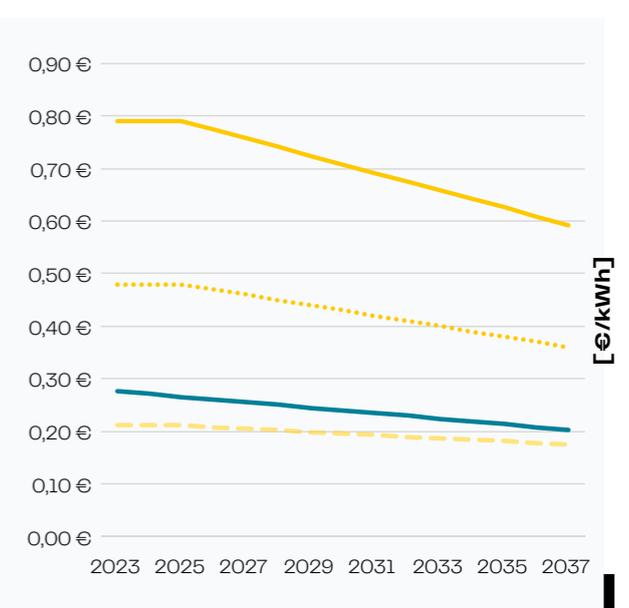


Abbildung 1: Annahmen zu Preisentwicklungen bei Super E10, Diesel, Strom und Wasserstoff bis 2037 (Quelle: Fraunhofer ISI)



Energie-/Kraftstoffkosten pro 100 km

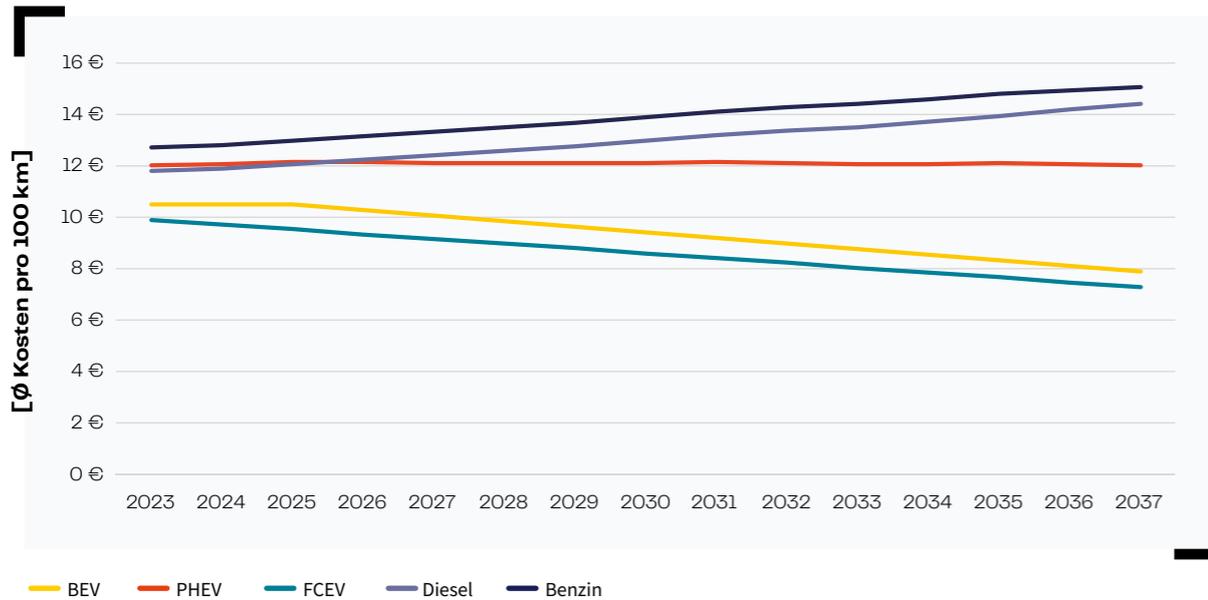


Abbildung 2: Entwicklung der durchschnittlichen Energie- bzw. Kraftstoffkosten nach Antriebsart pro 100 gefahrene Kilometer (Quelle: Spritmonitor 2023)

Für BEV ergibt sich nach dem Spritmonitor ein realer Durchschnittsverbrauch von 18,9 kWh/100 km, für PHEV zwischen 4,5 und 5,5 Liter/100 km, für Diesel 6,75 Liter/100 km und für Benzin 7,37 Liter/100 km. Während die Angaben für diese Fahrzeuge im repräsentativen Bereich liegen, sind die Angaben für FCEV auf Grund der geringen Bestandszahl nicht repräsentativ. Die Darstellung zeigt den auch unter den aktuell hohen Strompreisen noch deutlich sichtbaren Kostenvorteil von BEV gegenüber ICEV, der sich über den Zeitverlauf mit den zu erwartenden Änderungen der Energiepreise noch stärker abzeichnet. Sind es pro 100 km für im Jahr 2023 noch 2,22 € pro 100 km Kostenvorteil des BEV gegenüber einem Verbrenner mit Ottomotor, steigt der Kostenvorteil im an-

genommenen Szenario bis 2037 auf über 7 € an. In der Rückschau auf die Vor-Corona-Zeit lag der Kostenvorteil 2019 von BEV gegenüber Verbrennern bei 5,75 € pro 100 km. Der BEV hatte damals schon einen Kostenvorteil von 45 %, welcher in der angenommenen Preisentwicklung erst wieder 2037 erreicht wird. Der Vergleich von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebsarten macht auf Grund der großen Preisunterschiede nur innerhalb der Fahrzeugsegmente Sinn. Deswegen wurden für die Auswertung aller Antriebsarten (zweimal BEV, PHEV, FCEV, Diesel und Benzin) die 2022 am häufigsten zugelassenen Pkw-Modelle zum Vergleich ausgewählt. Ein weiteres Auswahlkriterium stellt die Vergleichbarkeit der Größe, Ausstattung und Motorisierung der ausgewählten Modelle dar. Da jedoch sowohl BEV als auch PHEV meist über deutlich mehr Systemleistung in der Motorisierung verfügen als die häufig verkauften Motorisierungsvarianten der Diesel und Benzin, gibt es in der Motorisierung zwangsläufig erfahrbare Unterschiede. Bei der Ausstattung wurden über die Konfigurierungsmöglichkeiten der Hersteller die Fahrzeugpreise so ermittelt, dass die Ausstattungen vergleichbar sind. Als weitere wichtige Annahme wurde für den durchschnittlichen Nutzenden eines BEV bzw. PHEV angenommen, dass zu 75 % zu Hause oder bei der Arbeit AC geladen wird und zu 25 % öffentlich (DC bei BEV, AC bei PHEV). Weitere Annahmen sind im Kapitel zur Methodik der TCO Berechnungen aufgeführt.



1.2 TCO-Vergleich von Antriebsvarianten

Bis zum Beginn des Jahres 2022 hatten BEV nicht zuletzt wegen der Effizienz des Antriebs und ihres hohen Wirkungsgrads einen deutlichen Vorteil bei den operativen Kosten ihrer Nutzung.

Die Haltedauer spielt deshalb eine wichtige Rolle beim Vergleich der TCO von den Antriebsoptionen, weil BEV, PHEV und besonders FCEV nach wie vor

zum Teil deutlich höhere Anschaffungskosten aufweisen als vergleichbare Pkw mit Verbrennungsmotor (ICEV). Zudem setzen zumindest BEV und PHEV die Anschaffung einer Wallbox voraus, sofern die Nutzenden eine private Abstellmöglichkeit zur Verfügung haben. Bis ins Jahr 2022 gab es für die Anschaffung einer Wallbox noch staatliche Förderprogramme der KfW für private Nutzer sowie für

Unternehmen, welche jedoch ausgelaufen sind und daher nicht im vorliegenden Vergleich berücksichtigt wurden. Die staatliche Förderung durch eines der Investitionsförderprogramme der Bundesregierung wie beispielsweise dem Umweltbonus und die herstellerseitige Förderung durch die Innovationsprämie gleichen den Unterschied der Anschaffungskosten nur bedingt aus.

DER VERGLEICH DER TCO IN DIESEM KAPITEL VERDEUTLICHT, DASS DIE NUTZUNG VON BEV – ABHÄNGIG VON DER HALTEDAUER UND VOM FAHRZEUGSEGMENT – NACH WIE VOR VORTEILHAFT GEGENÜBER PKW MIT VERBRENNUNGSMOTOR SEIN KANN.

TCO – mit Förderung in der Mittelklasse

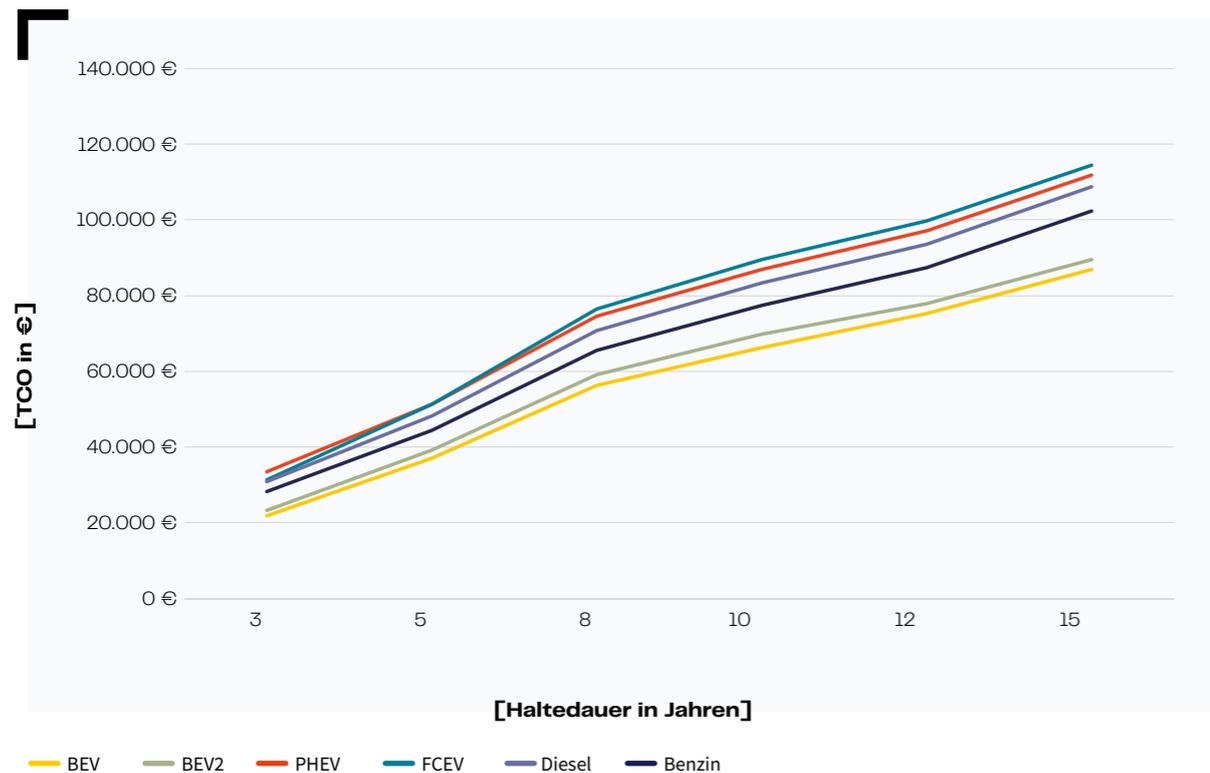


Abbildung 3: TCO-Vergleich von Antriebsoptionen in der Pkw Mittelklasse in Abhängigkeit der Haltedauer

TCO – mit Förderung bei Kleinwagen

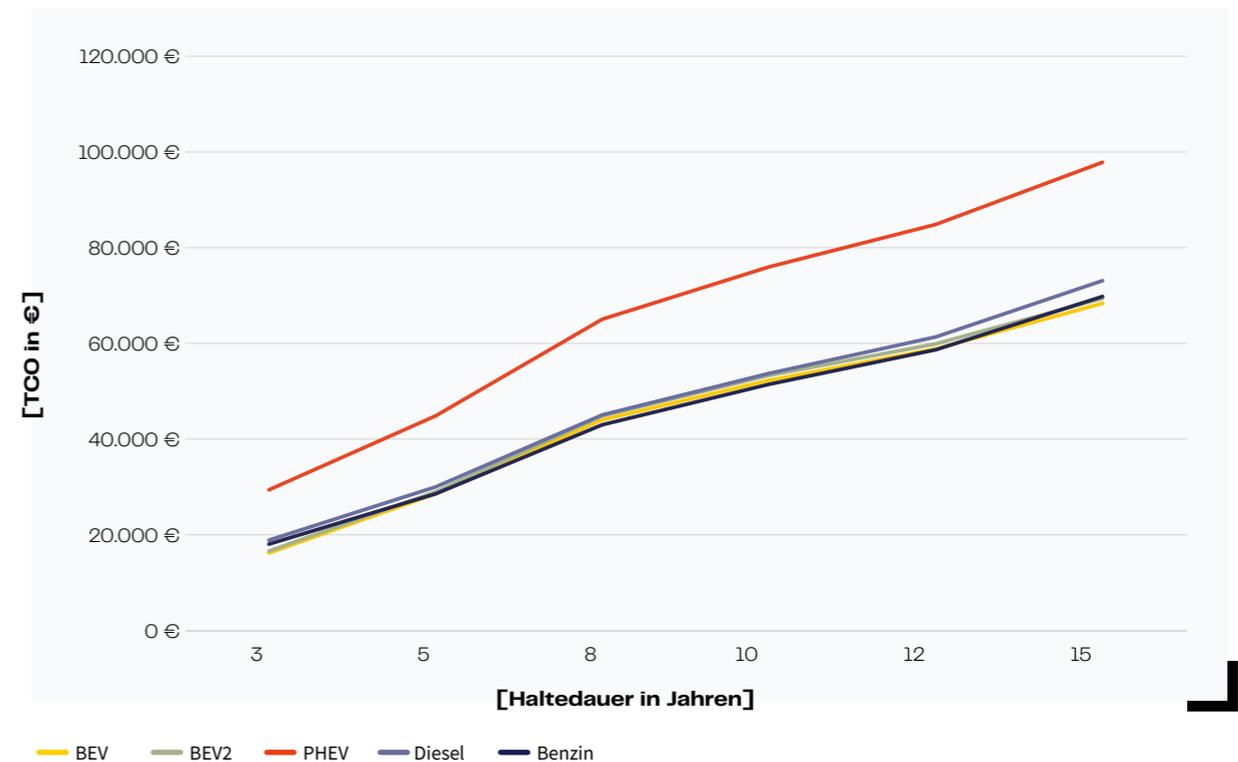


Abbildung 4: TCO-Vergleich von Antriebsoptionen in der Pkw Kleinwagenklasse in Abhängigkeit der Haltedauer

das Kraftfahrt-Bundesamt bewertet. Während der Kostenvorteil bei BEV Pkw der Mittelklasse (siehe **Abbildung 3**) und bei SUV gegenüber ICEV bereits vor einer Haltedauer von 3 Jahren erreicht ist, dauert es bei BEV im Segment der Kleinwagen mit 5 – 8 Jahren deutlich länger bis zum Erreichen der Kostenparität (siehe **Abbildung 4**). Zudem ist praktisch kein Kostenvorteil des BEV gegenüber der Benzinervariante sichtbar. Im Segment der Mittelklasse bewegen sich die Vorteile von BEV bei der TCO bereits nach 3 Jahren Haltedauer zwischen 5.100 und 6.500 € gegenüber einem Benziner. Nach 10 Jahren Haltedauer erhöht sich der Kostenvorteil der BEV sogar auf 7.800 bis 11.200 €. Für die Auswertung wurden als „BEV“ ein Tesla Model 3 Standard Range Plus sowie als „BEV2“ ein Polestar 2 Standard Range Single Motor ausgewählt und mit einem Passat Variant 1.5 TSI OPF als Benziner und einem Passat Variant 2.0 TDI SCR DSG als Diesel verglichen (siehe **Abbildung 6**). PHEV (BMW 320e Steptronic) sowie FCEV (Toyota Mirai) sind im Segment der Mittelklasse angesichts der TCO zumindest kostenseitig die schlechtesten Antriebsoptionen.

Im Segment der Kleinwagen bewirken die im Verhältnis zu ICEV heute noch sehr hohen Anschaffungspreise von BEV sowie der geringe Verbrauch der ICEV eine etwas spätere Kostenparität der Antriebsvarianten. Als Fahrzeuge wurden für den Vergleich bei den BEV die Modelle Opel Corsa-e Elegance („BEV“) und der Mini Cooper SE Classic Trim („BEV2“) ausgewählt und mit dem Opel Corsa 1.5 Diesel Elegance sowie dem VW Polo 1.0 TSI OPF Life DSG als Benziner verglichen. Als einziger PHEV

Kostenvorteile von BEV und FCEV entstehen über die Nutzungsphase der Fahrzeuge hinweg durch geringere Energiekosten im Vergleich zu ICEV sowie durch das Wegfallen der Kfz-Steuer und die Inanspruchnahme einer jährlichen THG-Quote. Die Auswertungen der TCO-Berechnungen haben jedoch gezeigt, dass BEV entsprechend der Daten aus der Autodatenbank des ADAC (2023) nicht immer einen Kostenvorteil bei Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten und bei den Versicherungskosten gegenüber ICEV haben. BEV fahren sozusagen die Kostennachteile in den ersten Jahren ihrer Haltedauer mit der Zeit wieder „rein“. Die Anzahl der Jahre, bis sich der anfängliche Kostennachteil in einen Kostenvorteil ändert, variiert jedoch in Abhängigkeit der Fahrzeuggröße bzw. dem Fahrzeugsegment.

Für die Auswertung wurden Fahrzeuge aus den Segmenten Mittelklasse, SUV, Kompaktklasse und Kleinwagen entsprechend ihrer Zuordnung durch

TCO-Vorteil von BEV mit/ohne Umweltbonus gegenüber Benziner

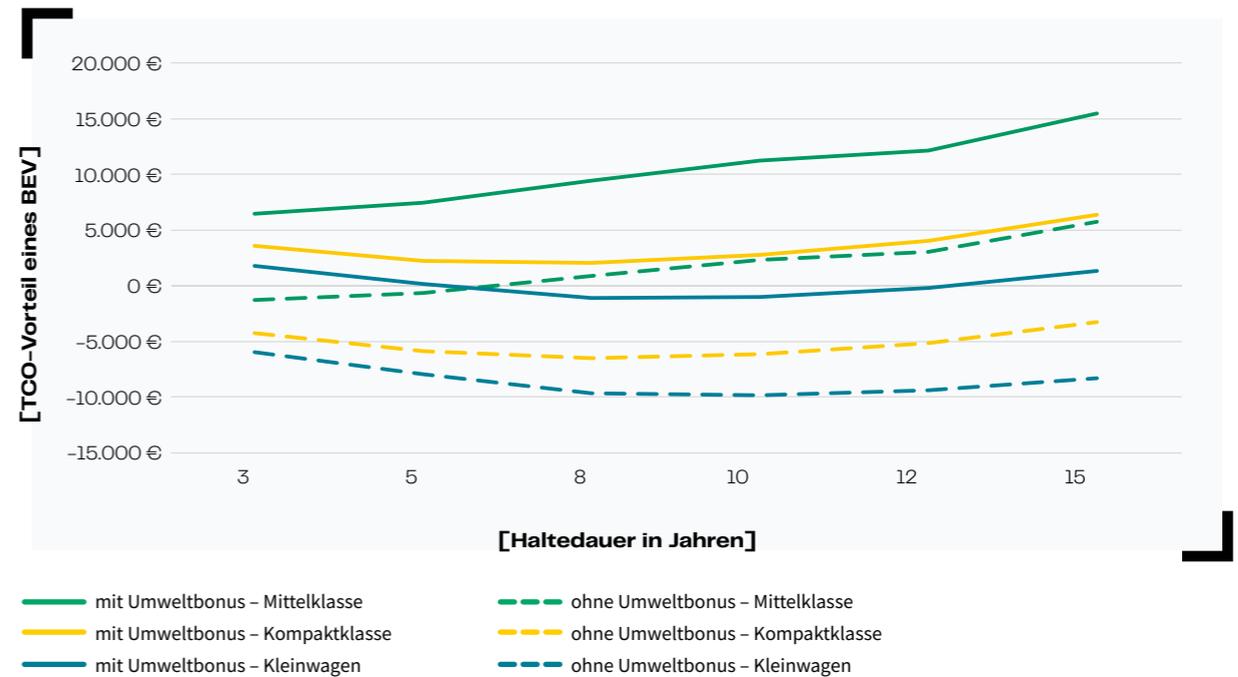


Abbildung 5: TCO-Vergleich von BEV in verschiedenen Fahrzeugsegmenten mit und ohne Umweltbonus/Innovationsprämie zu vergleichbaren ICEV

dieses Segments kommt der Mini Countryman Plug-in Hybrid hinzu, welcher jedoch bereits bei den Anschaffungskosten deutlich oberhalb der beiden BEV-Modelle rangiert. Die Kostenkurven der beiden BEV-Modelle und der beiden ICEV-Modelle zeigen im Bereich der Kleinwagen kaum Unterschiede. Hier zeigt sich, dass sparsame ICEV nur geringe Kostennachteile bei den Energie- bzw. Kraftstoffkosten gegenüber BEV haben.

Die Auswertung der TCO-Berechnungen im Bereich der Kleinwagen verdeutlicht die Bedeutung der staat-

lichen Förderung gerade in dieser Preisklasse. Zwar gehen Experten trotz gesteigerter Rohstoffkosten immer noch von sinkenden Kosten für Batterien und damit sich mittelfristig anpassenden Preisniveaus zwischen BEV und ICEV aus, allerdings ist das im Status quo noch nicht erkennbar. **Abbildung 5** zeigt einen Vergleich der TCO-Vorteile von BEV gegenüber ICEV in der Mittel-, Kompakt- und Kleinwagenklasse vor der aktuellen Förderkulisse und nach Auslaufen des Umweltbonus wie er derzeit bis 2025 geplant ist. Bei gleichbleibenden Anschaffungskosten würden nur noch die Fahrzeuge in der Mittelklasse einen

TCO (10 Jahre) – Beispiel Mittelklasse

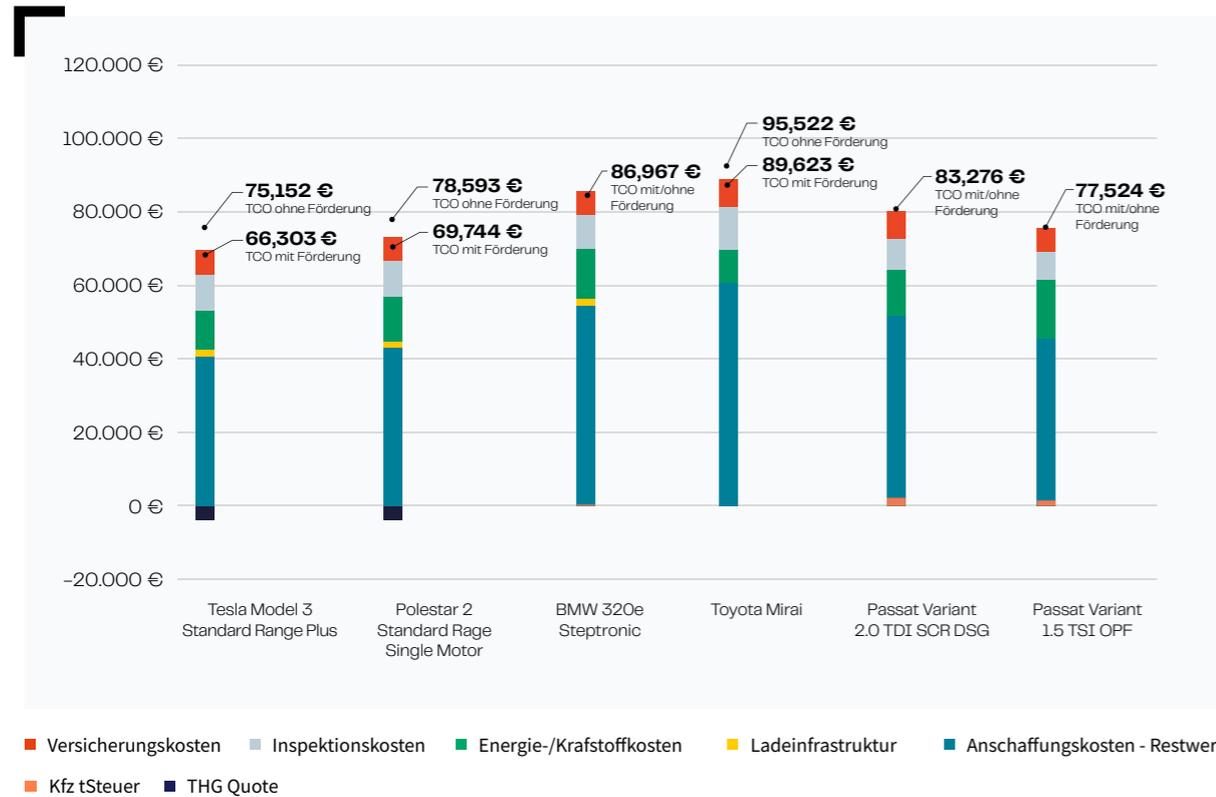


Abbildung 6: Anteile der TCO bei den Antriebsoptionen am Beispiel der Pkw Mittelklasse

Kostenvorteil gegenüber Benzinern aufweisen. Die Haltedauer bis zur Erreichung der Kostenparität würde von 3 auf 8 Jahre steigen. Die ausgewählten Fahrzeugmodelle in der Kompakt- und Kleinwagenklasse würden dann die Kostennachteile durch die höheren Anschaffungskosten nicht mehr innerhalb von 15 Jahren Haltedauer ausgleichen können. Dies zeigt die Bedeutung der Investitionsförderprogramme gerade in den kleineren Fahrzeugsegmenten.

Betrachtet man die Anteile der einzelnen Kostenkomponenten einer TCO-Rechnung (siehe **Abbildung 6**), dann zeigen diese das große Gewicht der Anschaffungskosten. Bei den Fahrzeugmodellen der Mittelklasse haben die Anschaffungskosten bei einer Haltedauer von 10 Jahren einen Anteil von 63 % (BEV und Benzinern) bis 67 % (PHEV und Diesel). Rechnet man die Ladeinfrastruktur zu den Anschaffungskosten dazu, erhöht sich dieser Anteil um ca. 2 %. BEV haben über die Haltedauer jedoch mit einem Anteil der Energiekosten von 13 bis 14 % an

TCO (10 Jahre) – Beispiel Kleinwagen

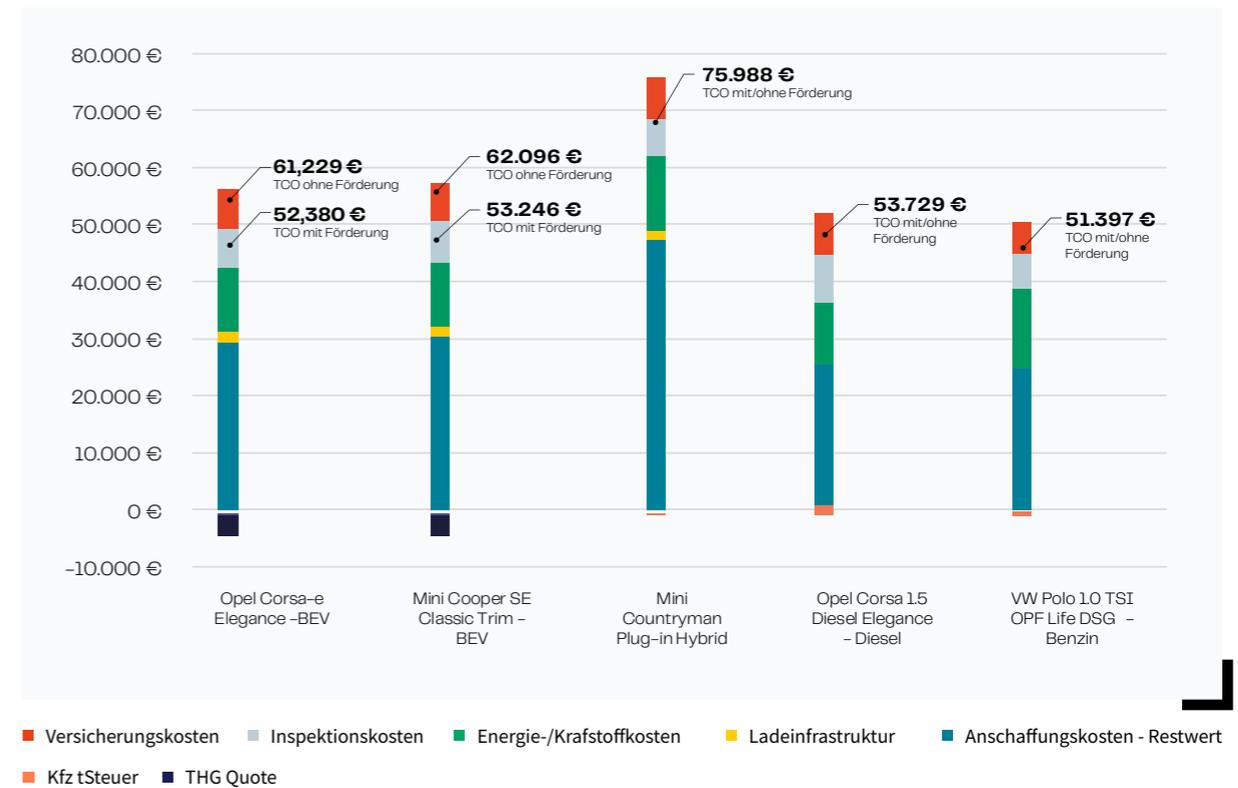
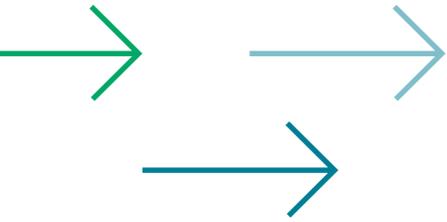


Abbildung 7: Anteile der TCO bei den Antriebsoptionen am Beispiel der Pkw Kleinwagenklasse

der gesamten TCO einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber Benzinern (19 %). Kosten für Inspektion, Wartung und Instandhaltung bewegen sich zwischen 9 und 13 %, die Versicherungskosten zwischen 7 und 8 %. Die Kfz-Steuer hat mit maximal 2,5 % an der TCO (beim Diesel) nur einen geringen Einfluss auf den Kostenvergleich. Im Segment der Kleinwagen haben die Anschaffungskosten bei BEV bei einer Haltedauer von 10 Jahren einen Anteil zwischen 57 und 58 % zuzüglich 3 % für die Ladeinfrastruktur. Der Anteil der Anschaffungskosten an den

gesamten TCO fällt hier beim Benzinern und dem Diesel mit 52 % bzw. 51 % geringer aus als bei den BEV. Bei den Energiekosten bewegt sich der Diesel Pkw mit 19 % Anteil an der TCO nur knapp über den BEV mit 17 % bzw. 18 %. Inspektions- und Versicherungskosten haben einen Anteil von 8 bis 13 %.



Nutzer eines BEV mit der Möglichkeit des Überschussladens an der eigenen Photovoltaikanlage haben einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber BEV-Nutzern, die beim Laden auf öffentliche Ladepunkte angewiesen sind. Unter Annahme der Stromendkundenpreise aus **Abbildung 1** könnte ein BEV bei der Möglichkeit der vorrangigen Nutzung des selbst produzierten PV-Stroms ca. 60 % günstigere Energiekosten haben. BEV-Nutzer, die zu 100 % auf öffentliche Ladestationen angewiesen sind, müssten bis zu 42 % mehr an Energiekosten einplanen. Selbstverständlich gibt es bei der Vielzahl der Anbieter öffentlicher Ladeinfrastruktur auch günstigere Viellader-Tarife mit entsprechender monatlicher Grundgebühr, aber auch diese bewegen sich zumeist oberhalb der Haushaltsstrompreise.

1.3 Einfluss der Nutzung privater und/oder öffentlicher Ladeinfrastruktur

Der TCO-Vergleich im vorigen Kapitel hat die Bedeutung der Anschaffungskosten verdeutlicht. Allerdings haben die operativen Kosten, insbesondere die Energie- bzw. Kraftstoffkosten, einen relevanten Einfluss auf den Kostenvergleich der Antriebsvarianten. Daher spielen die Rahmenbedingungen bzw. die Kosten für das Laden eines BEV oder PHEV eine wichtige Rolle in der Betrachtung der Vollkosten.

Abbildung 8 zeigt die Unterschiede bei den Kostenvorteilen eines BEV gegenüber einem Benziner in der Mittel- und der Kleinwagenklasse für die beiden angenommenen Ladeprofile. Die Nutzung eigens produziertem PV-Stroms kann die Kostenvorteile eines BEV gegenüber einem Benziner nochmal um 2.500 € (Mittelklasse) bzw. 2.700 € (Kleinwagen) für 3 Jahre Haltedauer bis zu 11.000 € (Mittelklasse) bzw. 12.000 € (Kleinwagen) für 15 Jahre Haltedauer erhöhen. Im Falle eines Kleinwagens könnte dieser Ladetyp ausschlaggebend für einen sichtbaren Kostenvorteil eines BEV gegenüber einem ICEV sein.

TCO-Vorteil von BEV gegenüber Benziner – Kleinwagen vs. Mittelklasse

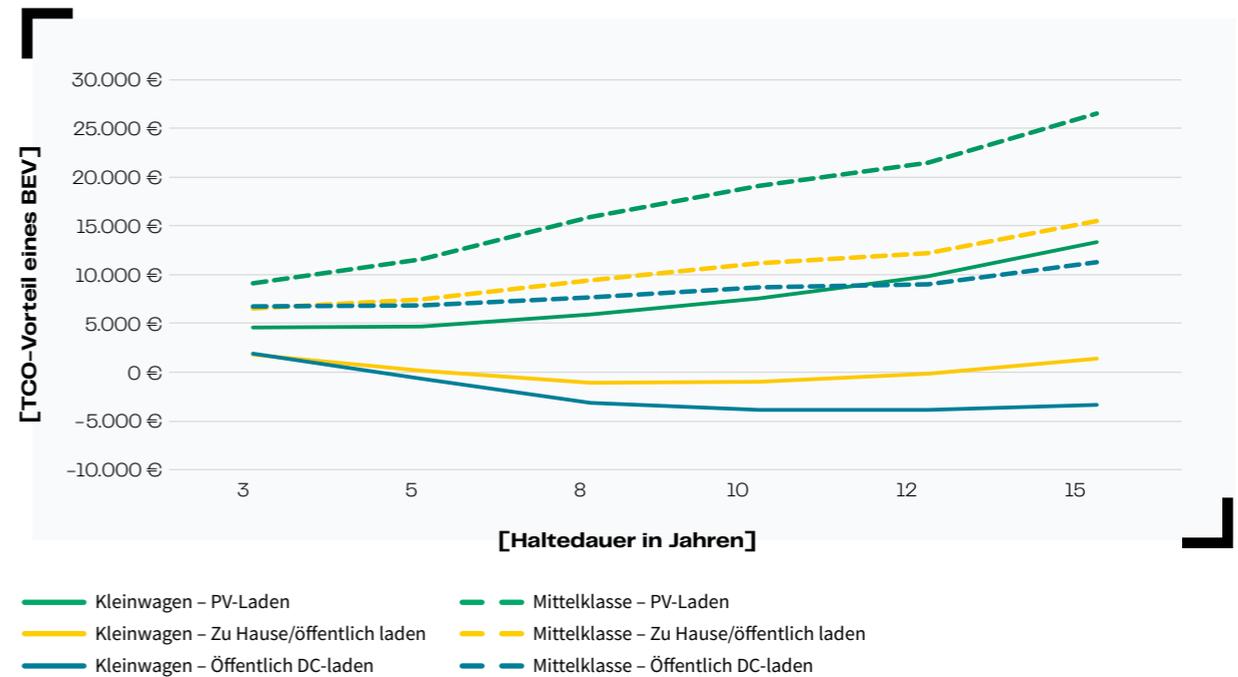
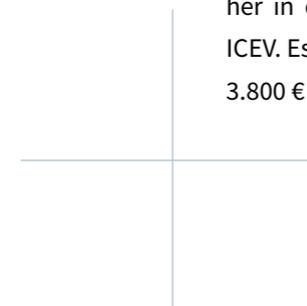


Abbildung 8: TCO-Vergleich des Kostenvorteils von BEV gegenüber vergleichbaren Benzinern in Abhängigkeit des Ladeprofiles

Im Falle der Mittelklasse erhöht sich der Kostenvorteil gegenüber dem angenommenen durchschnittlichen Ladeprofil aus 75 % zu Hause oder bei der Arbeit und 25 % öffentlichem Schnellladens nochmal zusätzlich.

Im Gegenzug zeigt sich, dass zumindest im Falle der Mittelklasse eine hundertprozentige Nutzung von öffentlicher Ladeinfrastruktur mit höheren Strompreisen trotzdem noch in einem TCO-Vorteil für den Nutzenden mündet. Im Kleinwagensegment bewirkt dieses Ladeprofil jedoch ein Absinken des vorher in etwa gleichen Kostenverlaufs von BEV und ICEV. Es entsteht ein leichter Nachteil der TCO bis zu 3.800 € über die Haltedauer hinweg.



1.4 Wirkungen der Energiepreise

Im vorigen Kapitel wurden die Wirkungen unterschiedlicher Strompreise auf den Ausgang des TCO-Vergleichs gezeigt. In Anbetracht der Unsicherheiten bei der exakten Projektion der zukünftigen Energiepreise ist es sinnvoll, zwei weitere Preisszenarien und deren Wirkungen zu analysieren. Zu diesem Zweck wird die TCO-Berechnung mit Annahme der Preisentwicklung wie in **Abbildung 1** mit zwei unterschiedlichen Preisszenarien verglichen. Im ersten Szenario („Hohe Strompreise“) wird angenommen, dass die Strompreise über die komplette Betrachtungsdauer auf dem aktuell sehr hohen Niveau verbleiben. Im zweiten Szenario wird ein höherer CO₂-Preis antizipiert, der vorrangig die fossilen Kraftstoffpreise zusätzlich erhöht. Während im Referenzfall ein Anstieg des CO₂-Preises auf 95 €/ Tonne CO₂ bis 2030 und ein gleichförmiger Anstieg für die Folgejahre angenommen wird, steigt der CO₂ Preis im zweiten Szenario („Hohe CO₂ Preise“) auf 125 €/ Tonne CO₂ bis 2030 und danach um jährlich 20 €/Tonne CO₂ an.

TCO-Vorteil von BEV gegenüber Benziner – Kleinwagen vs. Mittelklasse

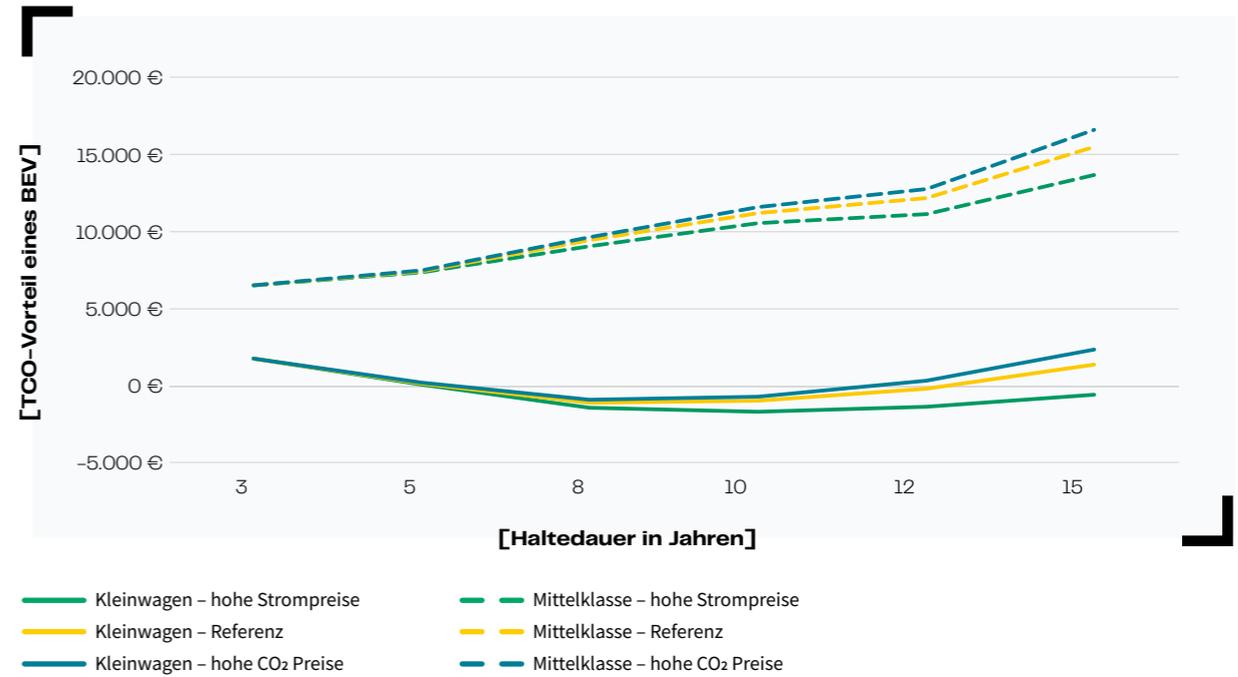


Abbildung 9: TCO-Vergleich des Kostenvorteils von BEV gegenüber Benzinern in Abhängigkeit der Entwicklung der Strom- und Benzinpreise

Abbildung 9 zeigt die Änderung des Kostenvorteils eines BEV gegenüber einem Benziner in der Mittel- und der Kleinwagenklasse über die Haltedauer für die Szenarien an. Der Einfluss der Energiepreisentwicklung ist über den Verlauf der Haltedauer immer deutlicher sichtbar, fällt jedoch geringer aus als der Einfluss des Ladeprofiles.

Sowohl in der Mittel- als auch in der Kleinwagenklasse kann der Kostenunterschied um ca. 3.000 € bei einer Haltedauer von 15 Jahren zwischen den beiden Szenarien variieren. Durch die geringen Unterschiede der Energiepreise in den ersten Jahren der Haltedauer macht sich der Preisunterschied erst bei längerer Haltedauer bemerkbar.

1.5 Variation von Restwerten

Viele Pkw-Käufer und Käuferinnen berücksichtigen bei ihrer Antriebswahl nicht die Wiederverkaufsmöglichkeiten und die Wiederverkaufswerte ihres gebrauchten Fahrzeugs. Die Einschätzung der Restwerte wird von vielerlei Faktoren beeinflusst. Durch den Dieselskandal wurden vor einigen Jahren die Restwerte von Diesel-Pkw stark gemindert. Ein derzeit diskutiertes und von der EU vorgeschlagenes Verbot von Pkw mit Verbrennungsmotor ab 2035 hat ebenfalls das Potenzial, die Restwerte von ICEV negativ zu beeinflussen. Die Wiederverkaufswerte von jungen gebrauchten BEV bewegen sich derzeit deutlich oberhalb der von ICEV. Gleichzeitig kann ein Technologiesprung bei BEV dazu führen, dass deren Restwerte unerwartet sinken. Um die Wirkungen dieser möglichen Entwicklungen aufzuzeigen, wurde die TCO-Berechnung mit identischen prozentualen Restwerten für alle Antriebsvarianten um zwei Szenarien erweitert. Im Szenario „Hohe Restwerte BEV“ wird davon ausgegangen, dass die Restwerte von BEV um 3 % steigen bei einem gleichzeitigen Absinken der Restwerte von ICEV um 3 %. Im Szenario „Hohe Restwerte ICEV“ tritt der gegenläufige Fall ein und die Restwerte der ICEV steigen um 3 %, während die der BEV um 3 % geringer ausfallen.

TCO-Vorteil von BEV gegenüber Benziner – Kleinwagen vs. Mittelklasse

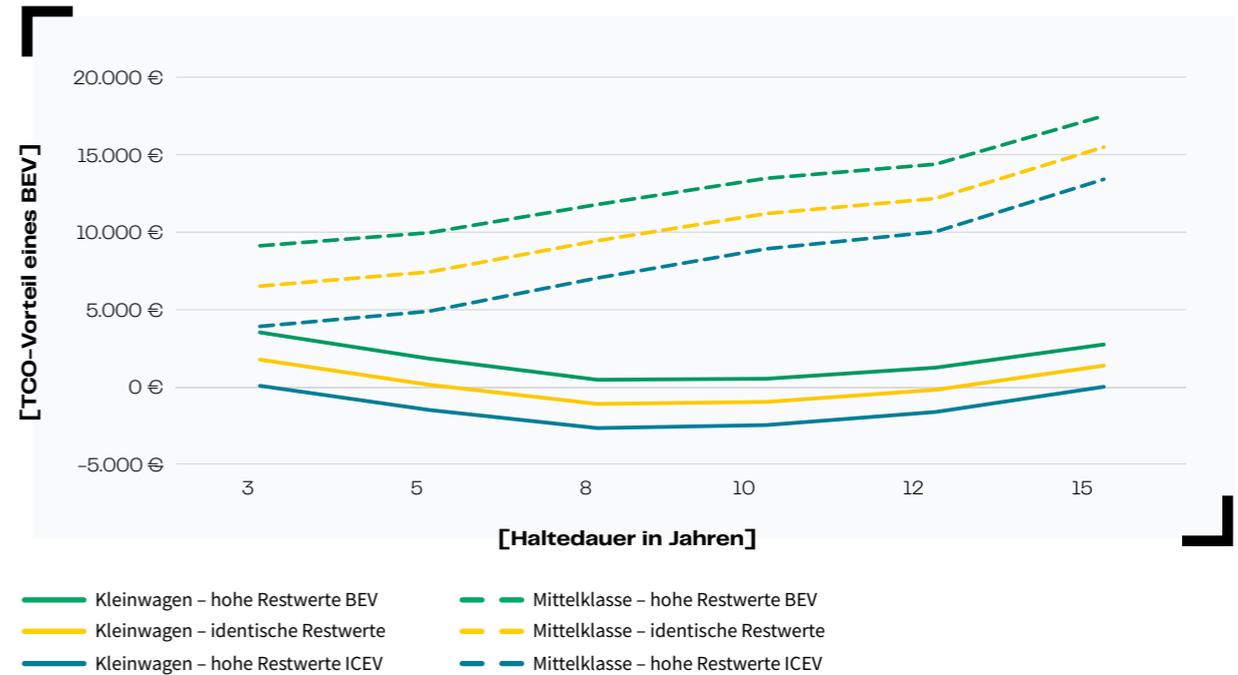


Abbildung 10: TCO-Vergleich des Kostenvorteils von BEV gegenüber Benzinern in Abhängigkeit der Entwicklung der Wiederverkaufswerte

Der Vergleich der Wirkungen auf die Kostenvorteile eines BEV gegenüber einem Benziner in der Mittel- und der Kleinwagenklasse (siehe [Abbildung 10](#)) zeigt, dass sich durch die Variation der Restwerte die Kostenvorteile in der Mittelklasse um 2.100 bis 2.600 € gegenüber der Annahme identischer prozentualer Restwerte verändern kann. Bei Kleinwagen kann sich der Kostenvergleich zwischen BEV und Benziner durch die Variation der Restwerte um 1.400 bis 1.700 € nach unten oder oben verändern. Im Falle hoher Restwerte bei BEV würde dies zu einem Kostenvorteil eines BEV bei Kleinwagen führen.



+² Methodik der TCO-Berechnung

Die Methodik der TCO-Berechnung orientiert sich an der in Plötz et al. (2013) für die Berechnung von Markthochlaufszszenarien verwendeten Logik. In die Berechnung fließen die folgenden Kostenkomponenten ein:

- Bruttoanschaffungskosten abzüglich des Restwerts
- Umweltbonus und Innovationsprämie
- Ladeinfrastrukturkosten
- Restwerte nach Ablauf der Haltedauer
- Jährliche Energie- und Kraftstoffkosten
- Jährliche Wartungs-, Inspektions- und Instandhaltungskosten
- Jährliche Kfz-Versicherungskosten
- Jährliche Kosten für die Kfz-Steuer
- Jährliche THG-Quote

Die Anschaffungsausgaben für Fahrzeug und Ladeinfrastruktur werden dabei wie bei TCO-Berechnungen üblich jährlich mit einem Marktzins von 4 % über die Haltedauer hinweg diskontiert. Von den Anschaffungskosten wird der zu erwartende Wiederverkaufs- bzw. Restwert abgezogen. Die TCO-Berechnung geht hierbei von identischen Restwerten für alle Antriebsarten in Abhängigkeit des Fahrzeugalters aus. Die prozentualen Werte für die Restwerte sind aus einer Abschätzung von CHECK24 (2021) entnommen. Hiernach haben Pkw nach 3 Jahren noch 67 %, nach 5 Jahren 50 %, nach 8 Jahren 30 %, nach 10 Jahren 22 % und nach 15 Jahren 15 % Restwert. Für die Ladeinfrastruktur wurde bei BEV und PHEV Anschaffungskosten für Wallbox sowie Installationskosten in Höhe von 1.500 € kalkuliert. Da die Förderprogramme der KfW hierzu ausgelaufen sind und die bestehenden Fördermöglichkeiten (z.B. lokale Förderprogramme) nicht für alle Käufer und Käuferinnen zugänglich sind, wurde keine Förderung für die Ladeinfrastruktur angenommen.

Die Höhe des Umweltbonus und der Innovationsprämie in den beispielhaften TCO-Berechnungen entspricht der seit 01.01.2023 geltenden Anpassung der Förderung. Um die Komplexität der Darstellung in einer kompakten Broschüre zu verringern, wurden die TCO-Berechnungen vorrangig für private Käufer durchgeführt. Bei gewerblichen Käufern müsste die TCO-Berechnung noch um jährliche Abschreibungen der Anschaffungs- und operativen Kosten erweitert werden. Selbstverständlich wirken sich zusätzlich auch Rabatte auf die Anschaffungskosten aus. Da die Höhe der Rabatte jedoch in Abhängigkeit des Angebots und der Nachfrage stark variieren, kann diese nicht in einen TCO-Vergleich einfließen.

Alle technischen und kostenseitigen Annahmen basieren auf den Angaben der ADAC-Autodatenbank. Dies umfasst für die Berechnung der Energie- bzw. Kraftstoffkosten auch die nach dem WLTP-Zyklus gemessenen durchschnittlichen Energie- bzw. Kraftstoffverbräuche der ausgewählten Modelle, welche im realen Betrieb jedoch abweichen können. Für die jährlichen Laufleistungen der Pkw wurden unabhängig von Antriebsart und Segment durchschnittlich 14.000 km angenommen, was in etwa den Durchschnittslaufleistungen anhand der Auswertung des Kraftfahrt-Bundesamts entspricht. Seit der Corona Pandemie sind die Werte etwas abgesunken, jedoch wird angenommen, dass über mehrere Jahre hinweg der o.g. Durchschnittswert erreicht wird. Die jährlichen Versicherungskosten basieren auf den Angaben

der ADAC-Autodatenbank zu durchschnittlichen Kosten für Haftpflichtversicherung mit Teilkasko und einer durchschnittlichen Schadenfreiheitsklasse 9-15. Für die Kfz-Steuer wurde angenommen, dass diese für BEV und FCEV nur bis 2030 steuerlich befreit bleiben. Der elektrische Fahranteil bei PHEV wurde mit 50 % angenommen. Es wurde angenommen, dass die Käufer und Käuferinnen von BEV die Möglichkeit der Inanspruchnahme einer jährlichen THG-Quote nutzen. Die Bandbreite für die THG-Quote variiert Anfang 2023 zwischen 200 und 425 € pro EV je nach Anbieter. Da es hierzu transparente und regelmäßig aktualisierte Übersichten gibt (z.B. bei Autobild oder Verivox) wurde für die Quote ein optimistischer jährlicher Wert von 400 € pro Fahrzeug angenommen.

Um die Vergleichbarkeit der Ausstattungen der ausgewählten Fahrzeugmodelle zumindest annähernd zu gewährleisten, wurde pro Segment jeweils das Fahrzeugmodell mit der üppigsten Ausstattung als Benchmark ausgewählt und anhand der markenspezifischen Fahrzeug-Konfiguratoren diese Zusatzausstattung zum Basispreis hinzugefügt. Somit weichen die angenommenen Bruttokaufpreise für einige Fahrzeugmodelle von den Angaben der ADAC-Autodatenbank entsprechend ab.

+³ Schlussfolgerungen

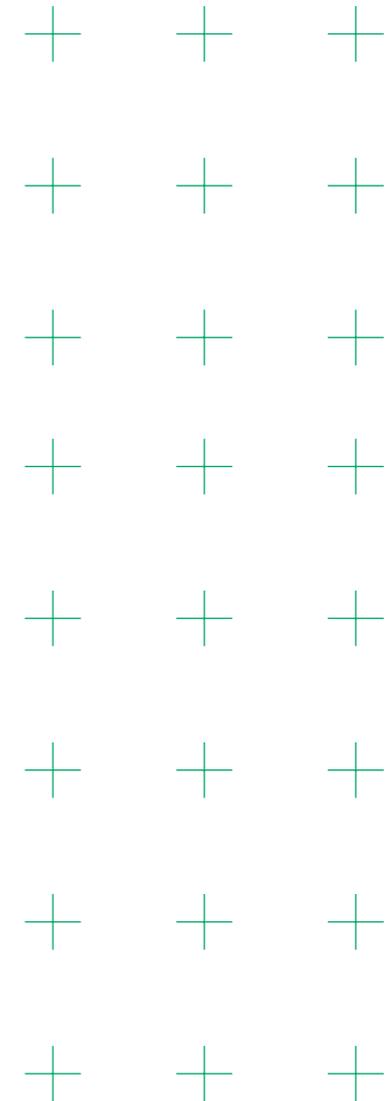
Der deutlich gestiegene Marktanteil von BEV und PHEV an den Neuzulassungen in Deutschland in 2022 spiegelt ein steigendes Interesse der Käufer und Käuferinnen für elektrifizierte Antriebe wider. Für Teile der Käufer und Käuferinnen ist dabei die bessere Klimabilanz, zumindest bei BEV, ein wichtiger Faktor bei der Kaufentscheidung. Jedoch müssen bei der Entscheidung für einen BEV oder PHEV gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein, beispielsweise muss ein Zugang zur Ladeinfrastruktur vorhanden sein oder das Fahrprofil passfähig für die Reichweiten eines BEV oder PHEV.

DER PREIS DER FAHRZEUGE IST FÜR ZAHLREICHE KÄUFER UND KÄUFERINNEN NOCH IMMER EINER DER WICHTIGSTEN FAKTOREN FÜR DIE AUSWAHL EINER PASSENDEN ANTRIEBSVARIANTE. VOR DIESEM HINTERGRUND SOLL DIESE BROSCHÜRE POTENZIELLEN KÄUFERN UND KÄUFERINNEN WICHTIGE INFORMATIONEN FÜR DIE KAUFENTSCHEIDUNG BIETEN.

In der Broschüre sind die Vollkosten (TCO) der Nutzung eines Pkw mit verschiedenen Antriebssträngen über eine bestimmte Haltedauer hinweg beispielhaft für verschiedene Fahrzeugsegmente aufgeführt. Die Erkenntnisse aus der vorliegenden TCO-Analyse zeigen dabei zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugsegmenten. Während in den höherpreisigen Segmenten der Mittelklasse und bei SUV die Kostenparität zwischen BEV und ICEV nach 3 Jahren Haltedauer schon erreicht ist, dauert es in der Kompaktklasse und vor allem bei Kleinwagen mit den derzeit noch hohen Anschaffungspreisen deutlich länger. Auch sind die Kostenvorteile hier nur marginal. Dies zeigt, dass die Förderung durch den Umweltbonus und die Innovationsprämie besonders in den unteren Fahrzeugsegmenten zumindest so lange noch wichtig ist, bis die Fahrzeugpreise von BEV und ICEV sich hier deutlich annähern. Diese Entwicklung hängt jedoch auch stark von den zukünftigen Rohstoffpreisen ab. Die Käufer und Käuferinnen können z.T. jedoch die TCO auch durch die

Wahl eines BEV mit geringerer Batteriekapazität und damit geringeren Anschaffungskosten beeinflussen, sofern das eigene Fahrprofil mit geringerer Reichweite noch machbar ist. Weiter hat die Auswertung ergeben, dass die Art der Nutzung bzw. die Zugangsmöglichkeiten zu Ladeinfrastruktur einen spürbaren Einfluss auf mögliche Kostenvorteile von BEV gegenüber ICEV haben kann. Es zeigt sich aber auch, dass beispielsweise in der Mittelklasse auch ohne private Lademöglichkeit BEV wirtschaftlicher sind als ICEV.

Längerfristig hohe Niveaus bei Strompreisen bzw. stärker ansteigende fossile Kraftstoffpreise haben hingegen nur mäßige Wirkungen auf den Kostenvergleich zwischen BEV und ICEV. Der Einfluss der Wiederverkaufswerte hingegen kann eine wichtige Rolle im Kostenvergleich spielen, er ist jedoch wegen der Abhängigkeit von politischen Entscheidungen wie einem europäischen Verbrennerverbot oder möglichen technologischen Sprüngen in der Batterietechnologie nicht sicher abzuschätzen.



+⁴ Literatur

ADAC (2023): Autokatalog. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/>

CHECK24 (2021): Wertverlust beim Auto.
<https://www.check24.de/kfz-versicherung/automagazin/ratgeber/wertverlust-auto/>

ICCT (2021): Klimabilanz von elektrischen und verbrennungsmotorischen Pkw.
Fact Sheet Europe des ICCT, Brüssel.

Jungmeier G., Canella L., Schwarzing S. (2022): Estimated Greenhouse Gas Emissions and Primary Energy Demand of Passenger Vehicles – 2nd edition Life Cycle Assessment Methodology and Data. Studie von JOANNEUM RESEARCH im Auftrag der FIA und des ÖAMTC.

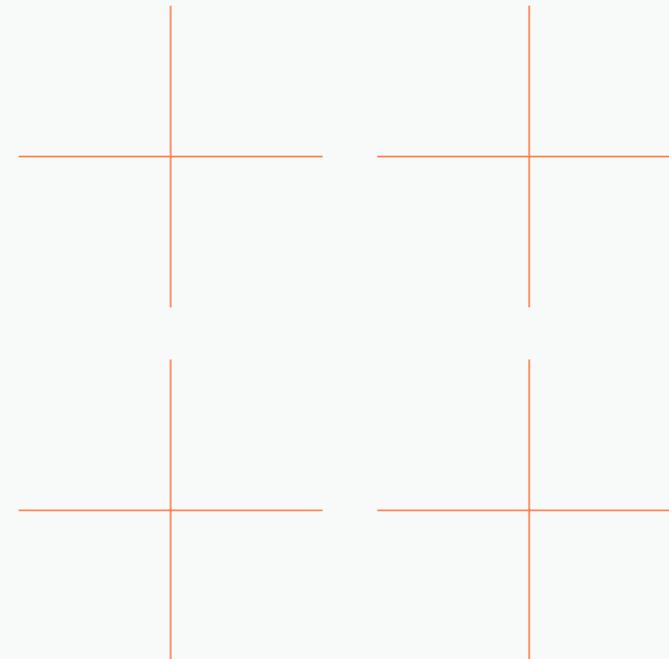
Kämper C., Helms H., Biemann K. (2020): Wie klimafreundlich sind Elektroautos? Update Bilanz 2020.
Studie des ifeu, Heidelberg.

KBA (2023): Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb (FZ 28).

Plötz P., Gnann T., Kühn A., Wietschel M. (2013): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge.
Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Spritmonitor (2023): <https://www.spritmonitor.de/>

Thielmann A., Wietschel M., Funke S., Grimm A., Hettesheimer T., Langkau S., Loibl A., Moll C., Neef C., Plötz P., Sievers L., Tercero Espinoza L., Edler J. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?. Studie des Fraunhofer ISI, Karlsruhe.





Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom (Alternating Current)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEV	Batterieelektrischer Pkw (Battery Electric Vehicle)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
DC	Gleichstrom (Direct Current)
DSG	Doppelkupplungsgetriebe
EV	Elektrofahrzeug (BEV, PHEV und FCEV)
FCEV	Brennstoffzellen Pkw (Fuel Cell Electric Vehicle)
H2	Wasserstoff
ICEV	Pkw mit Verbrennungsmotor (Internal Combustion Engine Vehicle)
KBA	Kraftfahr-Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KSG	Klimaschutzgesetz
kWh	Kilowattstunden
OPF	Ottopartikelfilter
PHEV	Plug-in Hybridelektrischer Pkw (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PV	Photovoltaik
SUV	Sports Utility Vehicle
TCO	Vollkosten über die Haltedauer (Total Cost of Ownership)
THG	Treibhausgas



Impressum

Herausgeber

NOW GmbH
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

Im Auftrag vom

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Gestaltung

motum GmbH

Erscheinungsjahr

März 2023



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



Erstellt durch



Kontakt **NOW GmbH**

Elena Mandel
NOW GmbH
Nationale Organisation
Wasserstoff- und Brennstoff-
zellentechnologie
Fasanenstraße 5
10623 Berlin
elektromobilität@now-gmbh.de

Kontakt **Fraunhofer ISI**

Dr. Michael Krail
Dr. Patrick Plötz
Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
www.isi.fraunhofer.de