

Schlussbericht, 23. März 2023

Gesamtkosten von Personenwagen (TCO)

Gesamtkosten von Personenwagen (TCO)

Schlussbericht
23. März 2023



Auftraggeber

Bundesamt für Energie, Sektion Mobilität, Jean-Marc Geiser
Bundesamt für Energie, Sektion Energieeffizienter Verkehr, Thomas Weiss

Projektteam

Frank Bruns
Peter de Haan
Alessio Mina
Christoph Kamber (Kamber SE)

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Disclaimer

In dieser Arbeit werden Daten von Eurotax / Autovista Group verwendet. Eurotax ist Teil der Autovista Group. Sie erstellt marktgerechte Bewertungen und Prognosen für Fahrzeuge und Fahrzeugkosten durch. Dazu verfügt Eurotax über eine Datenbank über Fahrzeugkosten und Prognosen von Restwerten der Fahrzeuge. Für den schweizerischen Markt liegen rund 11'000 Fahrzeugmodelle mit detaillierten Kostenangaben zur Verfügung. Für eine Publikation der Daten ist folgender Disclaimer seitens Eurotax / Autovista Group anzubringen:

„Daten von Eurotax / Autovista Group sind geistiges Eigentum der Autovista Group. Sie dürfen nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Untersucht werden die Kosten von Wettbewerbsmodellen zum 30.08.2022. Die Prognose der Restwerte sowie der Bereitstellung sämtlicher Informationen erfolgte seitens Autovista unter Berücksichtigung angemessener Fachkenntnis und Sorgfalt. Jedoch übernimmt Autovista keine Gewähr für die Richtigkeit einzelner Werte, welche lediglich Richtwerte darstellen. Autovista haftet nicht für die Richtigkeit der Daten oder für direkte sowie indirekte Schäden.“

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung	8
1.2 Übersicht zum Vorgehen und Untersuchungsansatz	9
2. Definitionen und Festlegungen, Abgrenzung	11
2.1 Systemabgrenzung	11
2.2 TCO-Berechnungsmethode und Ownerprofil	11
2.3 Festlegung von Fahrzeugen und Fahrzeugausrüstung	12
3. Ermittlung der Kosten je Kostenart	15
3.1 Übersicht Kostenarten	15
3.2 Beschaffungskosten	15
3.3 Treibstoff- und Energiekosten (Strom- und Ladekosten)	18
3.4 Servicekosten	22
3.5 Reifenkosten	24
3.6 Weitere Kostenarten	26
4. Ergebnisse TCO	30
4.1 Kleinwagen	30
4.2 Mittelklasse	31
4.3 Oberklasse	32
4.4 SUV	33
4.5 Übersicht und Sensitivitätsanalysen	33
5. Beantwortung der Thesen	36
5.1 These 1 – Anschaffungs- und Gesamtkosten	36
5.2 These 2 – Servicekosten BEV	36
5.3 These 3 – Reifenkosten BEV	37
5.4 These 4 – Servicekosten PHEV	38
5.5 These 5 – Reparaturkosten	38
5.6 Hypothese 6 – Batteriekapazität und Restwert BEV	39
6. Fazit: Ergebnisübersicht TCO und geprüfte Thesen	42

Anhang

A1	Literaturverzeichnis	44
A2	Befragung Garagisten	46
A3	Ergebnisse je Fahrzeugmodell	47
A4	Sensitivitätsanalysen	51
	A4.1 Übersicht	51
	A4.2 Energiekosten	52
	A4.3 Elektrischer Fahranteil PHEV	53
	A4.4 Kaufpreis BEV Mittelklasse	55
	A4.5 Besitzdauer und jährliche Fahrleistung	56
	A4.6 Reifenkosten	58

Zusammenfassung

Die Studie vergleicht alle anfallenden Kosten bei einem Personenwagen über die komplette Besitzdauer für verschiedene Antriebsarten. Basierend auf den Ergebnissen können nun Autofahrerinnen und Autofahrer besser entscheiden, welchen Antrieb sie wählen. Die Analyse stellt Elektroautos Autos mit Verbrenner- und Plug-in Hybrid Antrieb in den Kategorien Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse und SUV gegenüber. Elektroautos überzeugten in allen Fahrzeugkategorien mit den geringsten Kosten. Die Kosten für Plug-in Hybrid Autos und Verbrennerautos glichen sich in etwa aus. Die Kosten eines Autos sind von vielen Faktoren abhängig und können je nach Annahmen stark schwanken. Um die Belastbarkeit der Resultate zu prüfen, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Diese bestätigen die Robustheit der Ergebnisse. Als Grundlage dienten Herstellerangaben für die Schweiz, die mit Daten des grössten Fullservice-Leasinganbieters der Schweiz, der Fahrzeugflotte eines Energieunternehmens, einem Reifenhersteller und einer Umfrage mit Garagisten validiert wurden. Die Kostenangaben beruhen auf Durchschnittswerten aus dem Jahr 2022 in der Schweiz (vgl. Abbildung auf der nächsten Seite).

Im Zusammenhang mit den verschiedenen Antrieben kommen in der öffentlichen Diskussion regelmässig verschiedene Thesen auf, die im Rahmen dieser Studie geprüft wurden. Die Antworten basieren auf den Ergebnissen der Studie und zusätzlichen Recherchen. Alle in der Studie getroffenen Annahmen sind auch für diesen Abschnitt gültig.

1) Elektroautos haben einen höheren Kaufpreis als Verbrennerautos, sind aber über die gesamte Besitzdauer gesehen günstiger.

Richtig. Der Kaufpreis von Elektroautos ist bis zu 20% höher. Tiefe Energie- und Servicekosten gleichen aber die höheren Anschaffungskosten über die gesamte Besitzdauer aus. Unter Berücksichtigung des Restwertes sind die Gesamtkosten über die gesamte Besitzdauer niedriger.

2) Die Servicekosten bei Elektroautos sind bis zu 70% tiefer als bei Verbrennerautos.

Teilweise richtig. Die Servicekosten bei Elektroautos sind tiefer. Allerdings nur 20% im Segment Oberklasse und SUV und 40% im Segment Kleinwagen und Mittelklasse.

3) Die Reifen für Elektroautos sind teurer als die für Verbrennerautos.

Falsch. Alle Elektroautos können auch mit Normalreifen fahren. Die Anschaffung von teureren Reifen, die für Elektroautos optimiert wurden, ist optional.

4) Die Servicekosten von Plug-in Hybrid Autos sind höher als bei Elektroautos.

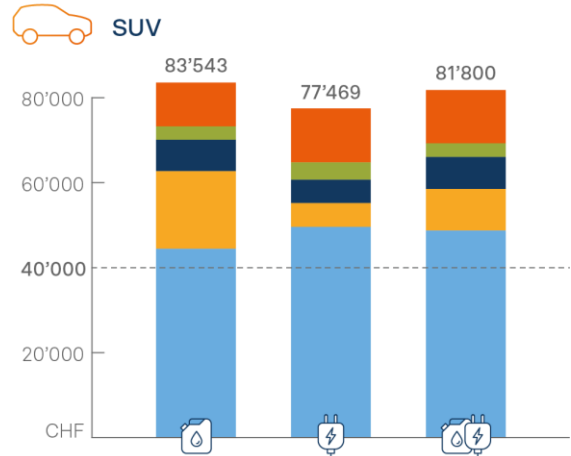
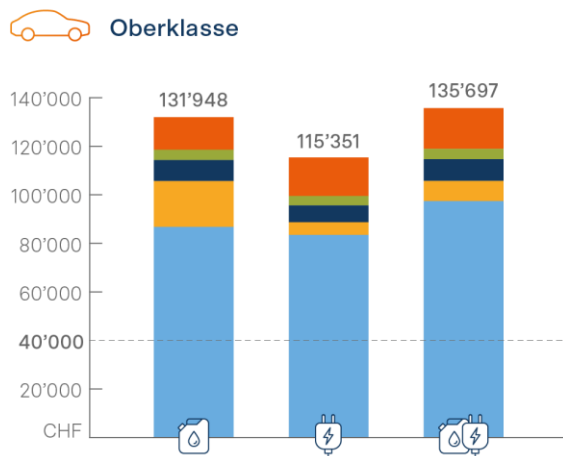
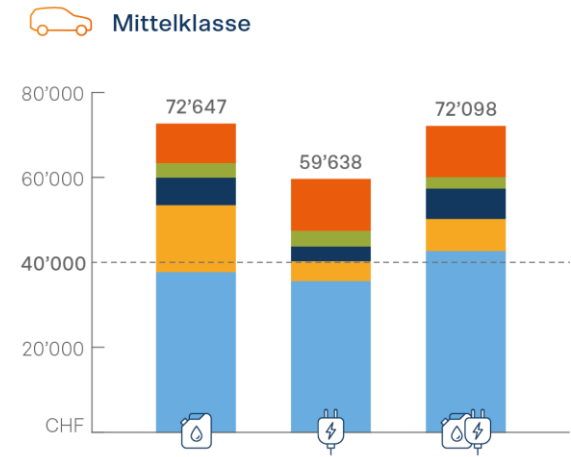
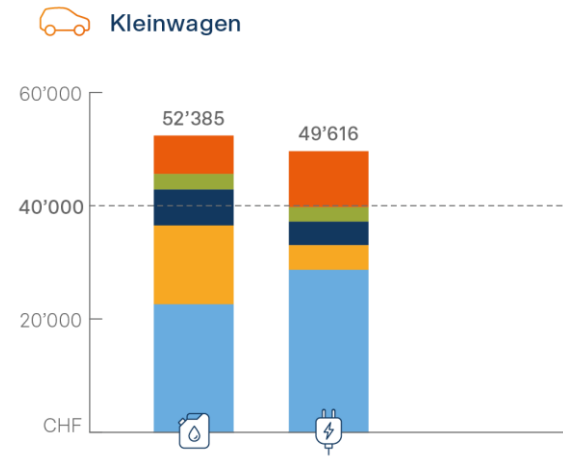
Richtig. Die Servicekosten sind teurer, da sowohl Kosten für die Wartung des Elektromotors als auch Kosten für die Wartung des Verbrennungsmotors anfallen.

5) Beim Kauf eines gebrauchten Elektroautos stellt die Leistungsfähigkeit der Batterie und der Restwert des Autos ein Risiko dar.

Falsch. Die Alterung der Batterie stellt bei normalem Ladeverhalten kein besonderes Risiko dar. Die Garantie deckt die Leistung der Batterie je nach Hersteller bis 8 bzw. 10 Jahren und 150'000 bzw. 200'000km. Die Kapazität der Batterie sinkt tatsächlich aber erst ab 300'000km auf unter 70%. Der Restwert von Elektroautos ist sehr stabil.

Kosten über die Besitzdauer

Kostenart ● Beschaffung ● Energie ● Service ● Reifen ● Weitere
Antrieb Verbrenner Elektrisch Plug-in Hybrid



Annahmen



Besitzdauer und Fahrleistung

- 8 Jahre
- 15'000 km / Jahr
- Private Nutzung



Energiekosten

- 2 CHF / l Treibstoff
- 0,23 CHF / kWh
- Durchschnitt 2022



Kauf und Pflege

- Neukauf
- 0,05% Zins
- 150 CHF Pflege / Jahr



Motorfahrzeugsteuer

- CH-Durchschnittswerte
- Ohne Förderungen
- Alle Antriebe gleich



Versicherungsprofil

- Mann, 43 Jahre
- Wohnort Aarau
- Ohne Schadensfall
- Haftpflicht und Vollkasko



Modelle und Verbrauch

- Vergleichbare Modelle
- Verbrauch und Elektroanteil bei Plug-in-Autos gemäss standardisiertem WLTP*-Testverfahren

* Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das Bundesamt für Energie und EnergieSchweiz benötigen für verschiedene Anwendungen des Amtes einen Vergleich der Kosten von Personenwagen mit unterschiedlichen Antrieben. So wird davon ausgegangen, dass vergleichbare Fahrzeuge mit Elektroantrieb (BEV) in der Anschaffung (noch) teurer als solche mit Verbrennungsmotor. Im Betrieb hingegen wurde lange davon ausgegangen, dass Elektrofahrzeuge günstiger sind: Dies, weil Strom günstiger ist und die Fahrzeuge weniger Verschleisssteile und weniger komplexe Motoren haben. Ausserdem ist ein Elektromotor effizienter als ein Verbrennungsmotor (Well to Wheel Effizienz etwa 72% bei BEV und 15% bei ICEV, Transport & Environment 2017). Entsprechende Thesen sind aber in jüngster Zeit kritisch hinterfragt worden, weil zum Beispiel die Reifen bei Elektrofahrzeugen aufgrund der grösseren Beschleunigung und höheren Gewichts schneller verschleissen könnten oder aber Reparaturkosten aufgrund der komplexeren Elektronik höher sein könnten.

Ausgangslage

Das Bundesamt für Energie (BFE) möchte mit der Berechnung der Gesamtkosten von Personenwagen Transparenz herstellen. Für die Berechnung der Gesamtkosten wird das Konzept der «Total Cost of Ownership» (TCO) angewendet. Das Ziel der Untersuchung ist eine valide Aufbereitung der TCO für Personenwagen mit unterschiedlichen Antrieben. Diese Studie soll damit auch eine Grundlage für Autofahrer bei der Anschaffung eines Fahrzeugs hinsichtlich der Wahl des Antriebs sein. Dazu sind auch die folgenden Thesen zu prüfen:

Aufgabenstellung

1. Elektroautos haben einen höheren Kaufpreis als Verbrennerautos, sind aber über die gesamte Besitzdauer gesehen günstiger.
2. Die Servicekosten bei Elektroautos sind bis zu 70% tiefer als bei Verbrennerautos.
3. Die Reifen für Elektroautos sind teurer als die für Verbrennerautos.
4. Die Servicekosten von Plug-in Hybrid Autos sind höher als bei Elektroautos.
5. Die Reparaturkosten sind bei BEVs teurer.
6. Beim Kauf eines gebrauchten Elektroautos stellt die Leistungsfähigkeit der Batterie und der Restwert des Autos ein Risiko dar.

EBP in Zusammenarbeit mit Kamber SE wurde mit der Bearbeitung der Studie beauftragt.

1.2 Übersicht zum Vorgehen und Untersuchungsansatz

Die folgende Abbildung zeigt die Vorgehensschritte und den Untersuchungsansatz:

Vorgehensschritte

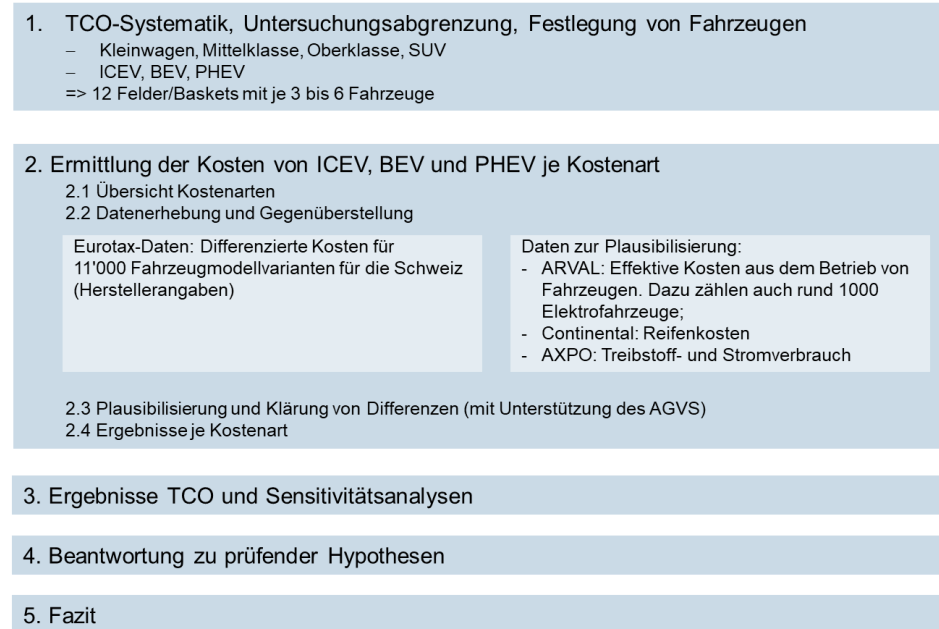


Abbildung 1 Übersicht zu den Vorgehensschritten.

Diese Untersuchung basiert auf den folgenden Vorgehensschritten:

Vorgehensschritte und Berichtsaufbau

1. In einem ersten Schritt werden die TCO definiert und Festlegungen zur Untersuchung getroffen. Dazu gehört auch die Festlegung von Fahrzeugtypen: Für Kleinwagen, Mittelklasse und Oberklasse sowie für SUV werden je Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (ICEV), rein batterieelektrischen Antrieb (BEV) und Plug-In-Hybride (PHEV) untersucht. Aus der Kombination von 4 Fahrzeugklassen mit 3 Antriebsarten ergeben sich 12 Felder für die je 3 bis 6 Fahrzeuge untersucht wurden. Die Abgrenzungen und Festlegungen sind in Kapitel 2 dokumentiert.
2. Anschliessend werden die Kosten je Kostenart für die Fahrzeuge ermittelt.
 - In Kapitel 3.1 sind die berücksichtigten Kostenarten und die Quellen dokumentiert
 - Je Kostenart wird anschliessend die Ermittlung und Berechnung der Kosten erläutert:
 - Grundlagen sind vor allem Daten von Eurotax für die Schweiz. Hier stehen differenzierte Kosten für rund 11'000 Fahrzeugmodelle und detaillierte Kostenangaben zur Verfügung. Diese Kosten basieren auf Herstellerangaben.
 - Zur Plausibilisierung der Eurotax Daten werden Daten aus dem Betrieb von ARVAL verwendet. ARVAL ist einer der grössten Fullservice-Leasinganbieter der Schweiz. Ferner kann auf Reifenkosten von Continental und Verbrauchsdaten von AXPO zurückgegriffen werden. Diese Daten via Kamber SE ermöglichen

eine Plausibilisierung der Eurotax-Daten teils absolut, vor allem aber hinsichtlich der hier relevanten Differenzen zwischen den verschiedenen Antriebsarten.

- Lagen erhebliche Differenzen zu den Daten von Eurotax vor, wurden Rückfragen gestellt. Insbesondere ergaben sich Fragen zu Service-, Reifen- und Reparaturkosten. Hier wurde eine gezielte Befragung von ausgewählten Garagisten vorgenommen. Die Garagisten wurden über die technische Kommission des Auto Gewerbe Verbandes der Schweiz (AGVS) und direkt von EBP angefragt. Die Resultate sind im Anhang A2 zusammengefasst.

In den Kapiteln 3.2 bis 3.6 sind je Kostenart das Vorgehen, die Befunde und die Ergebnisse dokumentiert. Da die in dieser Studie genutzten Daten und Annahmen häufig mit Unsicherheiten versehen sind, werden verschiedene Sensitivitätsanalysen vorgesehen. Anhand diesen Sensitivitätsanalysen wird die Robustheit der Resultate überprüft.

3. Die gesamten TCO werden in Kapitel 4 dargestellt.
4. Abschliessend werden die zu prüfenden Arbeitshypothesen noch explizit beantwortet (Kapitel 5) und ein Fazit gezogen.

2. Definitionen und Festlegungen, Abgrenzung

2.1 Systemabgrenzung

Folgende Systemabgrenzung wird für diese Untersuchung zugrunde gelegt:

Räumliche, zeitliche und sachliche Abgrenzung

- **Räumliche Abgrenzung:** Die Kosten sind für die Schweiz zu ermitteln. Innerhalb der Schweiz erfolgt keine weitere Differenzierung.
- **Zeitliche Abgrenzung:** Die TCO werden für heutige Fahrzeuge und für heutige Kosten berechnet werden. Da die Eurotaxdaten monatlich aktualisiert werden, haben diese den Preisstand 2022. Bei einzelnen Kostenarten, wie z.B. Treibstoffpreisen haben wir Plausibilisierungen vorgenommen und die Kostensätze bzw. Preise für den Preisstand 2022 mit dem BFE abgestimmt.
- **Sachliche Abgrenzung:** Die Kosten werden für private Personenwagen berechnet.

2.2 TCO-Berechnungsmethode und Ownerprofil

Die TCO sind die **Summe aller Kosten der Eigentümer eines Fahrzeugs von seiner Anschaffung bis zum Wiederverkauf** über die gesamte Besitzdauer und unter Berücksichtigung der Summe der Fahrleistungen in dieser Zeit. In die TCO werden somit alle **fahrleistungsabhängigen Kostenarten** entsprechend der gefahrenen Kilometer berücksichtigt. Weitere Kostenarten werden entsprechend ihrer **Häufigkeit** berücksichtigt (z.B. Service- und Reifenkosten) und für die anteilige Berücksichtigung der Anschaffungskosten über die Besitzdauer werden die **Differenz zwischen Kaufpreis und Restwert sowie die Zinsen** berücksichtigt.

Definition Total Cost of Ownership

Die TCO beziehen sich somit auf die Besitzdauer bei einem Halter («Owner»). Damit grenzen sich die TCO von anderen Kostendefinitionen ab. So betrachten beispielsweise Life Cycle Cost die Kosten von der Erstinbetriebnahme bis zum Ende des Lebenszyklus – unabhängig davon, wieviel Halter das Fahrzeug gehabt hat. Kostenvergleiche können aber auch mit durchschnittlich jährlichen Kosten vorgenommen werden, wobei dann Annahmen zum Beispiel zu Abschreibungsverfahren getroffen werden müssen. Bei den TCO wird die Summe des Wertverlustes über die Besitzdauer veranschlagt.

Abgrenzung zu Life-Cycle-Cost und jährlichen Durchschnittskosten

Für die Berechnung und den Vergleich der TCO ist somit ein «Owner-/Nutzerprofil» festzulegen. Dies wird hier wie folgt hinterlegt:

Owner-/Nutzerprofil

- **Privatperson**, Eigennutzung im Haushalt
- **Neuwagenkäufer** (kein Leasing, kein Auto-Abonnement)
- **Besitzdauer: 8 Jahre**
Gemäss einer Auto-Verkauf Studie von Comparis, kauft ein Besitzer von einem Neuwagen nach 70 Monaten – also 5.8 Jahren - im Durchschnitt ein neues Auto (Comparis, 2013). Je jünger die Autohalter sind, desto häufiger wechseln sie das Auto. Um in dieser Studie aber gegebenenfalls auch langfristig steigende Service- und Reparaturkosten mit in die Berechnung aufnehmen zu können, wird hier ein längerer Zeitraum von acht Jahren angeschaut.
- **Fahrleistung: 15'000 Kilometer pro Fahrzeug und Jahr**
2019 waren 4'623'952 Millionen Personenwagen in der Schweiz

immatrikuliert. Inländische Personenwagen legten 2019 50.7 Milliarden Kilometer in der Schweiz (BFS 2019) zurück. 87% der Fahrzeugkilometer betrafen Fahrten im Inland (BFS 2015). Ein schweizerisches Auto hat somit eine durchschnittliche Fahrleistung von 12'600 Kilometern pro Jahr. Die Statistik ist aber von Veteranenfahrzeugen (Oldtimern) und Fahrzeugen, die sehr wenige Kilometer fahren, beeinflusst. Für die hier vorliegende Aufgabenstellung ist davon auszugehen, dass Autokäufer eine höhere Fahrleistung haben. Wir setzen die Fahrleistung für die TCO-Berechnung deshalb bei 15'000 Kilometern pro Jahr an. Dies entspricht auch Annahmen, die bspw. der TCS zugrunde liegt. Nach 8 Jahren ist das Fahrzeug 120'000 Kilometer gefahren.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden 6 Jahre Besitzdauer und eine jährliche Fahrleistung vom 10'000 km untersucht. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang A4 dokumentiert.

2.3 Festlegung von Fahrzeugen und Fahrzeugausrüstung

Für die TCO-Berechnung sind die zu betrachtenden Fahrzeuge festzulegen. Die folgenden drei Antriebstechnologien werden gemäss Pflichtenheft betrachtet:

3 Antriebsarten

- Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (ICEV): Es werden Benzin- und Dieselfahrzeuge untersucht. Andere Treibstoffe wie z.B. Gas werden hier nicht berücksichtigt, da sie nur einen geringen Anteil an den Zulassungszahlen haben.
- Rein elektrische Fahrzeuge mit Batterie (BEV).
- Plug-In Hybride Fahrzeuge (PHEV).

Die Untersuchung erfolgt für vier Fahrzeugklassen (im Folgenden auch als Segmente oder Kategorien bezeichnet): Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse und SUV. Es gibt keine breit akzeptierte Definition dieser Fahrzeugkategorien. Auch die ASTRA-Daten zum Fahrzeugbestand und zu neuen Typengenehmigungen kennen keine Einteilung in Fahrzeugkategorien. Ausserdem gibt es immer mehr Modelle, die keiner klassischen Fahrzeugklasse zugeordnet werden können (z.B. Crossover Utility Vehicles). Die Tabelle 1 zeigt die entsprechenden Klassen gemäss EU-Kommission und dem deutschen Kraftfahrtbundesamt.

4 Fahrzeugklassen

Bezeichnung Projekt	Bezeichnung EU-Kommission	Bezeichnung Kraftfahrtbundesamt
Kleinwagen	Kleinstwagen	Minis
	Kleinwagen	Kleinwagen
Mittelklasse	Mittelklasse	Kompaktklasse
	Obere Mittelklasse	Mittelklasse
Oberklasse	Oberklasse	Obere Mittelklasse
	Luxusklasse	Oberklasse
SUV	SUV	SUV

Tabelle 1: Fahrzeugklassen.

In der Autobranche und in der planerischen Praxis wird traditionell die Fahrzeuglänge (in Millimeter) und die Karosserieformen für die Klasseneinteilung herangezogen. Gerade das wachsende, aber sehr unscharf definierte Segment der SUV ist damit aber nicht fassbar. Dieses weist einen überdurchschnittlichen Anteil an Vierradantrieb aus und wird durch die erhöhte Bauart charakterisiert. Da keine Grundlage für die Zuordnung von Fahrzeugen zu

den Fahrzeugklassen besteht, ist hier ein pragmatisches Vorgehen erfolgt. Dabei wurde vor allem auch die vermutliche Wahrnehmung der Fahrzeuge aus Sicht eines Fahrzeugkäufers berücksichtigt.

Aus den drei Antriebstechnologien und vier Fahrzeugklassen ergeben sich 12 Kombinationen. Auf die Kombination PHEV-Kleinwagen wird verzichtet, da in diesem Segment heute kaum Fahrzeuge zugelassen sind. Es ergeben sich somit 11 betrachtete Felder.

12 mögliche Felder; 11 betrachtete Felder

Für jedes Feld werden 3 bis 6 repräsentative Fahrzeuge festgelegt. Das Vorgehen zur Festlegung der Fahrzeuge basiert auf folgenden Grundsätzen:

Grundsätze zur Auswahl von Fahrzeugen

- Auswahl der meistverkauften Fahrzeugtypen in der Schweiz im Jahr 2021 (Autoschweiz 2021). Da die Analyse für Personen gemacht wird, die heute ein Auto kaufen möchten, nehmen wir nur Fahrzeuge, die auch über 2022 hinaus als Neuwagen gekauft werden können.
- Für die Plausibilisierung der Eurotax-Daten mit den ARVAL-Daten sollten ähnliche Modelle auch bei ARVAL vorhanden sein. Deshalb wurde das Ergebnis aus 1. mit ARVAL abgeglichen und punktuell angepasst.
- Die ausgewählten Modelle je Antriebstechnologie sollten möglichst ähnlich wie andere Modelle in derselben Klasse sein. Ein Beispiel für die Kategorie Mittelklasse: VW Golf (ICEV), VW ID.3 (BEV), VW Golf Hybrid (PHEV). Wo möglich, werden Modelle vom selben Hersteller ausgewählt.
- Falls für einen Fahrzeugtyp Daten für mehrere Varianten verfügbar sind, wird das Modell mit Automatikgetriebe und zu anderen Fahrzeugen vergleichbare Antriebe (Zweiradantrieb oder Vierradantrieb) gewählt.
- Ferner ist die Motorleistung berücksichtigt. BEV haben oft eine höhere Leistung als vergleichbare ICEV. Es ist darum normal, dass die durchschnittliche Leistung bei den BEV Feldern höher ist als bei ICEV. Mit der Auswahl der Modelle wurde berücksichtigt, dass die die Leistung möglichst vergleichbar ist.
- Falls immer noch mehrere mögliche Modelle verbleiben, wird das Modell mit dem geringsten Kaufpreis gewählt.
- Soweit möglich wird bei vergleichbaren Modellen dieselbe Ausstattung berücksichtigt. Auf folgende Ausstattungselemente wurde besonders geachtet: Navigationssystem, Fahrassistenzsysteme, Einparkhilfe und Rückfahrkamera, Sitzbezug und Felgenart.

Die Festlegung der Fahrzeuge erfolgte in einem intensiven, iterativen Prozess gemeinsam mit dem BFE. Die Modelle für jedes Feld sind in der Tabelle 2 dargestellt. Die Spalte «Ausstattung» zeigt die optionale Zusatzausstattung, die dem Basismodell hinzugefügt wurde, wenn eine entsprechende Ausstattung bei einem anderen Modell in gleicher Zeile im Basispaket enthalten war. Im Feld SUV-BEV ist der Audi Q4 zweimal aufgeführt. Dieses Modell ist weder mit dem Modell Q3 noch mit dem Modell Q5 vergleichbar, sondern liegt zwischen diesen zwei Modellen. Es ist zweimal berücksichtigt, damit die Felder je Fahrzeugklasse eine gleiche Anzahl Fahrzeuge beinhalten.

Die TCO für jedes Feld ergibt sich aus dem Mittelwert der TCO der Fahrzeuge

TCO je Feld

Gesamtkosten von Personenwagen (TCO) / Schlussbericht

	ICE			BEV			PHEV			
	Fahrzeug	Modell	Ausstattung	Fahrzeug	Modell	Ausstattung	Fahrzeug	Modell	Ausstattung	
Kleinwagen	Opel Corsa	Corsa 1.2 TP Elegance	Fahrassistenzpaket	Opel Corsa-e	Corsa-e Elegance	Fahrassistenzpaket				
	VW Polo	Polo 1.0 TSI Life DSG		VW e-up	e-up					
	Fiat 500	500 1.0 N3 MHD DolceVita		Fiat 500e	500 e 70 W Action					
	Renault Clio	Clio 1.0 CVT Techno		Renault Zoe	Zoe R135 Evolution					
	Peugeot 208	208 1.2 PureT Allure EAT8		Peugeot e-208	208 Elektrik Allure					
Mittelklasse	Skoda Octavia	Octavia 2.0 TDI Ambition	Parklenkassistent, Navigationssystem	Citroen	C4 Electric Live Pack	1)	Toyota Prius PiH	Prius 1.8 VVT-i PiH Prem.	Parklenkassistent, Navigationssystem	
	Alfa Giulia	Giulia 2.0 Super		Polestar 2	2 LR Single MY23		DS 4	FD 4 1.6 E.T. Bastille+		
	VW Golf	Golf 1.5 eTSImHEV Style		Renault Megane	E-Tech equilibre		Renault Megane	Megane 1.6 E-TECH Intens		
	Renault Megane	Megane 1.3 16V T Techno		Tesla Model 3	Model 3		MB A-Klasse	A 250e Style		
	MB A-Klasse (Limosine)	A 250 Style		Advantage Paket Parkassistent				Advantage Paket Parkassistent		
Oberklasse	MB-S Klasse	S 450 9G-Tronic	Parklenkassistent	MB EQS	EQS 450+	1)	MB S Klasse	S 580 e 9G Tronic	Parklenkassistent	
	BMW 5er	530i xDrive 48V		BMW i4	i4 e-Drive 40		BMW 5er	545e xDrive Steptronic		
	Volvo S 90	S90 B6 B AWD Plus Bright		Tesla Model S	Model S		Volvo S 90	S90 T8 eAWD Plus Bright		
SUV	Ford Kuga	Kuga 2.5 FHEV Cool&Conn	Fahrassistenz, Live Cockpit professional	Kia EV6	EV6 58 kWh	1)	Ford Kuga	Kuga 2.5 PHEV Cool & Conn	Fahrassistenz, Live Cockpit professional	
	Audi Q5	Q5 45 TFSI quattro		Audi Q4 e-tron	Q4 e-Tron 50 quattro		Audi Q5	Q5 50 TFSI e quattro		
	Audi Q3	Q3 45 TFSI quattro		Audi Q4 e-tron	Q4 e-Tron 50 quattro		Audi Q3	Q3 45 TFSI e S-tronic		
	BMW X3	X3 xDrive 48V 20d		BMW iX3	iX3 Inspiring		BMW X3	X3 xDrive 30e		
	VW Tiguan	Tiguan 2.0TSI Life 4M		VW ID.4	ID.4 Pro 77 kWh 4M		Assistenzpaket Plus	VW Tiguan		Tiguan 1.4 TSI PHEV DSG
	Skoda Kodiaq	Kodiaq 2.0 TDI Ambition		Fahrassistenz (mySkoda Pack)	Skoda Enyaq		Enyaq iv 80x	1)		Peugeot 3008

1) Ausstattungselement analog anderen Modellen in gleicher Zeile im Basispaket enthalten, keine optionale Ausstattung für den Vergleich nötig.

Tabelle 2: Fahrzeuge für die TCO-Berechnung.

3. Ermittlung der Kosten je Kostenart

3.1 Übersicht Kostenarten

Die folgende Tabelle zeigt die in der TCO-Betrachtung berücksichtigten Kostenarten mit den entsprechenden Quellen.

Kostenarten

Kostenart (inkl. MWSt.)	Beschreibung	Quelle	Kapitel
Beschaffung	Kaufpreis, Restwert, Finanzierungskosten	Eurotax; Plausibilisierung mit Daten ARVAL und AXPO, Continental.	Siehe Kapitel 3.2
Energiekosten	Strom und Treibstoff	Konsolidierung durch eine gezielte Umfrage bei AGVS.	Siehe Kapitel 3.3
Service	Ersatzteile, Arbeit, Inspektionen und Wartung		Siehe Kapitel 3.4
Reifenkosten	Winter/Sommer Wechsel, Erneuerung		Siehe Kapitel 3.5
Weitere Kosten	Motorfahrzeugsteuer	EBP, ASA	Siehe Kapitel 3.6.1
	Versicherungsprämien: Haftpflicht, Vollkasko	EBP, Onlinerechner Comparis	Siehe Kapitel 3.6.2
	Ladeinfrastruktur	EBP	Siehe Kapitel 3.6.3
	Fahrzeugpflege	TCS	Siehe Kapitel 3.6.4

Tabelle 3: Übersicht zu den TCO-Kostenarten.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Berechnungen und die zu treffenden Festlegungen dokumentiert. Für jede Kostenart werden die Kosten werden je Fahrzeugklasse und Antriebsart die Kosten ausgewiesen. Im Anhang A3 sind die Kosten je Fahrzeugmodell dargestellt.

3.2 Beschaffungskosten

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Festlegungen zur Berechnung der Beschaffungskosten dokumentiert. Die Beschaffungskosten ergeben sich aus der Summe von Kaufpreis abzüglich des Wiederverkaufspreises und den Finanzierungskosten (Zinsen).

Kaufpreis abzüglich des Restwertes/Wiederverkaufspreises

Die Kosten des Fahrzeugs werden als Differenz des Kaufpreises abzüglich des Restwertes/Wiederverkaufspreises nach acht Jahren berechnet. Der Kaufpreis berücksichtigt keine Rabatte. Der Kaufpreis und der Restwert / Wiederverkaufswert ergeben sich direkt aus den Eurotax-Daten:

Kaufpreis abzüglich des Restwertes/Wiederverkaufspreises

- Die von Eurotax angegebenen Restwerte (und die daraus und dem Kaufpreis resultierenden Wertverluste), basieren auf den von Eurotax ermittelten Fahrzeugrestwerten für Occasionen. Diese werden anhand der Angebotsbeobachtung in der Onlinebörse AutoScout24, durch ein statistisches Modell sowie durch die Expertise von Eurotax-Marktanalysten ermittelt.
- Das statistische Modell zur Restwertermittlung ist ein „vergleichendes“ Modell: Es misst aus vielen ähnlichen Angeboten die Unterschiede in den einzelnen Parametern, z.B. wie hoch ist der Einfluss von 10'000 zusätzlichen Kilometern auf den Preis, oder wie ist der Unterschied zwischen 96

und 110 kW bzw. zwischen Schaltwagen und Automatik oder zwischen 2WD und 4WD.

Beim Restwert der Fahrzeuge unterscheidet Eurotax zwischen Trade- und Retail-Preis. Der Retail-Preis ist der Verkaufspreis des Eigentümers an einen Händler. Der Trade-Preis, ist der Preis, den ein Händler beim Wiederverkauf des Fahrzeugs erzielt, also unter Berücksichtigung seiner Kosten und seines Gewinns. Für die TCO-Berechnung verwenden wir den Retail-Preis, da dies der Sicht des Eigentümers entspricht. Die Eurotax-Daten haben einen Betrachtungszeitraum von maximal sechs Jahren. Hier sind aber acht Jahre zu betrachten. Für die TCO-Berechnung in dieser Studie werden die bei Eurotax-Daten hinterlegten Entwicklungen des Retail-Preises in den ersten sechs Jahren bis zum achten Jahr fortgeschrieben. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft für vier Kategorien (Mittelwert von je drei Fahrzeugmodellen) wie sich der Restwert in Prozent des Neupreises bei Eurotax über die Jahre entwickelt. Vom sechsten bis zum achten Jahr wird eine Reduktion des Restwertes gegenüber den Eurotaxdaten für das sechste Jahr von 10% für alle Fahrzeuge unterstellt.

Restwerte

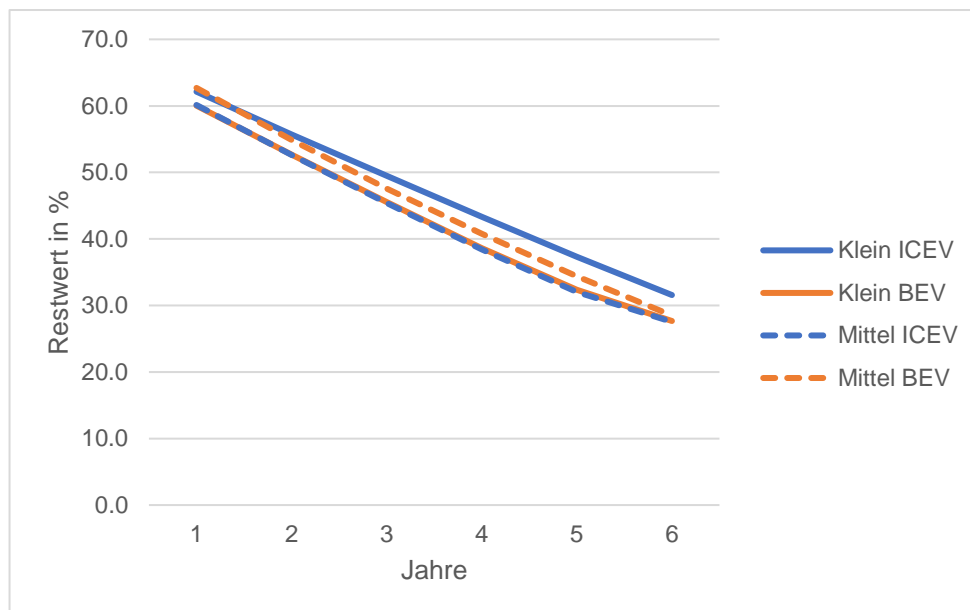


Abbildung 2: Restwert Personewagen nach Klasse und Antrieb (Quelle: Eurotax).

Finanzierung und Zinssatz

Für die Kosten des gebundenen Kapitals werden in der Betriebswirtschaft Zinsen veranschlagt. Hier stellt sich die Frage, welcher Zinssatz bei einer Privatperson zugrunde zu legen ist. Eurotax rechnet in seinem Tool beispielsweise mit einem jährlichen Zinssatz von 7%. Dies entspricht einem Zins, den ein Privater für einen Konsumkredit zahlen muss, wobei auch hier natürlich erhebliche Spannweiten je nach Einkommen, Alter etc. auftreten. Offen ist aber, a) wieviel Personen einen Fahrzeugkauf per Konsumkredit finanzieren, b) ob sie dann nicht lieber leasen (mit Leasingraten von oftmals deutlich unter 2%) oder c) das Fahrzeug mit Eigenmitteln finanzieren. In letztem Fall ergibt sich für den Zinssatz eine Spannweite von eingesparten Negativzinsen, über Nullzinsen auf Guthaben bis hin zu einer durchschnittlichen Rendite von Geldanlagen. Da keine Quellen dazu vorliegen, wie heute

Zinssatz

der Fahrzeugkauf überwiegend finanziert wird, muss hier eine Annahme getroffen werden: Für die Berechnung wird ein Zinssatz von 0.05% des halben gebundenen Kapitels (Kaufpreis abzüglich des Restwerts) zugrunde gelegt. Dies in Anlehnung an die Berechnungen des TCS (TCS 2022).

Ergebnis Beschaffungskosten

Die Tabelle 4 und die Tabelle 5 zeigen die durchschnittlichen Kaufpreise je Feld absolut und relativ zu ICEV. Tabelle 6 zeigt den Restwert in Prozent am Ende der Besitzdauer bezogen auf den Kaufpreis.

Kaufpreise und Restwerte

Kaufpreis	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	24'890	40'827	91'752	51'114
BEV	30'141	40'719	98'336	58'374
PHEV	–	45'425	105'862	54'910

Tabelle 4: Kaufpreis in CHF.

Kaufpreis	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.21	1.00	1.07	1.14
PHEV	–	1.11	1.15	1.07

Tabelle 5: Kaufpreis relativ zu ICEV.

Restwert	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	17	16	13	21
BEV	13	20	23	23
PHEV	–	14	15	19

Tabelle 6: Restwert in Prozent des Anfangswerts nach 8 Jahre und 120'000 Kilometer Besitzdauer.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde der Kaufpreis von Mittelklasse BEV um 15% erhöht. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang A4 dokumentiert.

Die Ergebnisse für die gesamten Beschaffungskosten sind in der Tabelle 7 (absolute Werte) und in der Tabelle 8 (relative Werte) dargestellt.

Gesamte Beschaffungskosten

Beschaffung	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	22'593	37'674	86'771	44'442
BEV	28'668	35'569	83'428	49'566
PHEV	–	42'650	97'415	48'732

Tabelle 7: Beschaffungskosten (Kaufpreis abzüglich des Restwerts und Finanzierungskosten) in CHF.

Beschaffung	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.27	0.94	0.96	1.12
PHEV	–	1.13	1.12	1.10

Tabelle 8: Beschaffungskosten (Anschaffungskosten und Finanzierungskosten) in relativ zu ICEV.

Die Beschaffungskosten der BEV sind bei Kleinwagen und SUV höher als bei ICEV. In der Mittelklasse und Oberklasse sind die Beschaffungskosten geringfügig tiefer als die von ICEV: Der Kaufpreis von BEV in diesem Segment ist zwar gleich oder höher als derjenige von ICEV. Die BEV haben aber einen höheren Restwert am Ende der Besitzdauer.

Die Beschaffungskosten von PHEV sind je nach Fahrzeugklasse 10 bis 13% höher als bei ICEV.

3.3 Treibstoff- und Energiekosten (Strom- und Ladekosten)

3.3.1 Treibstoffkosten

Treibstoffverbrauch

Der Treibstoffverbrauch in Liter pro 100 km ist für jedes Fahrzeug in den Eurotax Daten angegeben. Der Verbrauch ist gemäss standardisiertem Prüfstandmessverfahren «Worldwide harmonized Light Vehicles Test Procedure» (WLTP) angegeben.

Treibstoffverbrauch

Für die Plausibilisierung der Verbräuche wurden Daten aus der AXPO-Datenbank ausgewertet. Die Datenbank enthält Daten für 500 Fahrzeuge. Zehn von den in dieser Studie ausgewählten Modelle sind in der Datenbank von AXPO enthalten.

Die realen AXPO-Verbrauchsdaten sind sehr nah an den in Eurotax angegebenen WLTP-Verbrauchswerte. Die Verbrauchsfaktoren werden somit von Eurotax übernommen.

Treibstoffpreis

Treibstoffpreise sind sehr volatil und schwanken zum Beispiel in Abhängigkeit von Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit und Ferienzeiten. Eurotax rechnet die TCO mit einem langjährigen Durchschnittspreis von ca. 1.39 CHF/Liter für Benzin und 1.45 CHF/Liter für Diesel. Im Jahr 2022 sind die Treibstoffpreise insbesondere aufgrund des Ukrainekriegs und der

Treibstoffpreis

Pandemiesituation in China sehr dynamisch gewesen und deutlich höher als der Durchschnitt der letzten 15 Jahre. Die Verwendung eines langjährigen Durchschnittswerts erscheint hier deshalb nicht zweckmässig. Die Entwicklung der Preise ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 3: Benzinpreis in CHF/Liter zwischen 2005 und Oktober 2022 (Avenergy 2022).



Abbildung 4: Dieselpreis in CHF/Liter zwischen 2005 und Oktober 2022 (Avenergy 2022).

Seit Mitte März 2022 bis Mitte Juni 2022 betrug der Durchschnittswert des Benzinpreises 2.02 CHF mit einem Minimum von 1.93 CHF/Liter am 02. Mai 2022 und einem Maximum von 2.19 CHF/Liter am 20. Juni 2022 (Globalpetrolprices 2022). Zwischen Juli und Oktober betrug der Durchschnittswert 2.05 CHF, mit einem Minimum von 1.90 CHF/Liter und einem Maximum von 2.22 CHF/Liter.

In Abstimmung mit dem BFE wird ein Konsumentenpreis für Benzin und Diesel von 2.00 CHF/Liter verwendet.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde ein Treibstoffpreis von 1.70 CHF/Liter untersucht. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang A4 dokumentiert.

3.3.2 Elektrizitätskosten

Stromverbrauch

Der Energieverbrauch in kWh pro 100 km ist für jedes Fahrzeug in den Eurotax Daten gegeben.

Stromverbrauch

Strompreis

2021 erfolgten über 90% der Ladevorgänge am Wohnort oder beim Arbeitsplatz (EBP, 2022). Für die TCO nehmen wir an, dass 90% der Energie zu Hause oder am Arbeitsplatz geladen wird und die restlichen 10% unterwegs.

Strompreis

Den Strompreis 2022 für das Laden zu Hause wird mittels des Internetportals der Eidgenössische Elektrizitätskommission (EiCom 2022) ermittelt. Hier können für verschiedene typische Haushalte die Elektrizitätspreise abgerufen werden. Der Median des Strompreises unterscheidet sich wie in Tabelle 9 dargestellt.

Heimlader

Jährlicher Haushaltsverbrauch [kWh]	Median Strompreis [Rp/kWh]	Beschreibung Haushaltstyp
2'500	22.4	4-Zimmerwohnung mit Elektroherd
4'500	19.5	4-Zimmerwohnung mit Elektroherd und Elektroboiler
7'500	18.8	5-Zimmer-Einfamilienhaus mit Elektroherd, Elektroboiler und Tumbler
7'500	20.4	Grosse, hoch elektrifizierte Eigentumswohnung
13'000	18.4	5-Zimmer-Einfamilienhaus mit Elektroherd, Elektroboiler, Tumbler, Wärmepumpe 5 kW zur Beheizung

Tabelle 9: Strompreise nach jährlichem Verbrauch (Median) (EiCom 2022).

Wie die Tabelle 9 zeigt, gibt es je nach Haushaltstyp unterschiedliche Strompreise. Für die Heimladung wird ein Strompreis von 20 Rappen/kWh vorgehen.

Unterwegs kann entweder am Arbeitsplatz, bei einem Point of Interest (Supermarket, Sportzentrum, Theater, usw.) oder an einer Schnellstation zum Beispiel entlang einer Autobahn geladen werden. Einerseits ist das Laden an einigen Standorten gratis, andererseits kann das Schnellladen deutlich teurer als zu Hause sein. Für die 10% unterwegs Laden rechnen wir aufgrund des Prinzips der kaufmännischen Vorsicht mit Kosten von 50 Rp/kWh.

Unterwegsladen

Aus der gewichteten Addition von Heimladen und Unterwegsladen ergibt sich ein Durchschnittspreis von $20 \cdot 0.9 + 50 \cdot 0.1 = 23$ Rappen je kWh.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde ein höherer Strompreis von 30 Rappen je kWh variiert. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang A4 dokumentiert.

Die Kosten für die Ladeinfrastruktur sind in der Kategorie «Weitere Kosten» berücksichtigt.

Ladeinfrastruktur
siehe «Weitere
Kosten»

3.3.3 Strom- und Benzinverbrauch bei PHEV

Benzin- und Stromverbrauch

PHEV nutzen sowohl Benzin wie auch Strom. Von daher ist der Verbrauch an Benzin und Strom abhängig davon, in welchem Umfang die Antriebe eingesetzt werden. Hier werden der Stromverbrauch und Benzinverbrauch an der Fahrleistung entsprechend den Eurotax Daten verwendet.

PHEV

Die Verbrauchsfaktoren in Eurotax sind gemäss WLTP ermittelt. Die Berechnung für die Verbräuche von PHEV ist ausführlich in der Global Technical Regulations Nummer 15, Anhang 8, Kapitel 4 (UN 2014) und in der EU-Kommissionsverordnung 2017/1151 Unterhang 8, Anlage 5 (EU 2017) erklärt. Die Berechnung berücksichtigt die Grösse der Batterie und die elektrische Reichweite. Sie nimmt an, dass Autos mit grösserer Batterie im Alltag auch mehr rein elektrisch fahren. Es werden mehrere Messzyklen gemacht: Ein Messzyklus ermittelt, bis wann die Batterie leer ist (Charge Depleting Test). Danach führt ein Messzyklus mit rein Verbrennungsmotorantrieb gemacht (Charge Sustaining Test). Daraus ergeben sich Nutzfaktoren (siehe EU 2017). Der gesamte Verbrauch ergibt sich aus den gemessenen Verbräuchen in den Messzyklen gewichtet mit den Nutzfaktoren. Der Anteil, wieviel elektrisch und wieviel mit Treibstoff gefahren wird, ist somit fahrzeugspezifisch und hängt von der Reichweite im Charge Sustaining Test ab.

Neue Studien zeigen, dass der reale elektrische Fahranteil von PHEV nur halb so gross wie der elektrische Fahranteil laut Testzyklus (ICCT 2020). Grund ist, dass PHEV nicht wie angenommen täglich geladen werden und so der elektrische Fahranteil reduziert ist. Deswegen sollen in den nächsten Jahren diese standardisierten Messverfahren korrigiert. Die Werte des Treibstoffverbrauchs werden bei PHEV mit dem neuen Messverfahren steigen.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde der elektrische Fahranteil von PHEV halbiert. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang A4 dokumentiert.

Benzin- und Strompreis

Die Benzin- und Strompreise werden entsprechend der obigen Kapitel übernommen.

3.3.4 Ergebnisse

Mit den Verbräuchen aus Eurotax und den oben festgelegten Energiepreisen ergeben sich unter Berücksichtigung der Fahrleistung die Energiekosten über die Besitzdauer. Sie sind in der Tabelle 10 (absolute Werte) und Tabelle 11 (relative Werte) dargestellt.

Energiekosten je Feld

Energie	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	13'920	15'744	18'880	18'253
BEV	4'366	4'670	5'272	5'598
PHEV	–	7'536	8'270	9'794

Tabelle 10: Energiekosten (Strom und Treibstoff) in CHF.

Energie	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.31	0.30	0.28	0.31
PHEV	–	0.48	0.44	0.54

Tabelle 11: Energiekosten (Strom und Treibstoff) relativ zu ICEV.

Die Energiekosten von BEV sind rund 70% tiefer als bei ICEV. Die Energiekosten bei PHEV sind etwa 50% tiefer als bei ICEV und liegen damit zwischen BEV und ICEV. Wie oben erwähnt hängen die Energiekosten bei PHEV vom elektrischen Fahranteil, der heute überschätzt ist (ICCT 2020). Die Verhältnisse zwischen den Antriebstechnologien sind bei den verschiedenen Fahrzeugklassen sehr ähnlich.

3.4 Servicekosten

Datengrundlage Eurotax

Servicekosten schliessen alle geplanten Werkstattarbeiten ausser Reifenwechsel ein. Die Servicekosten beinhalten die folgenden Kosten:

Kostenbestandteile

- Geplante Inspektionen
- Ersatz von Teilen entsprechend einem vom Hersteller festgelegten Serviceplan oder entsprechend dem Verschleiss. Dazu gehören zum Beispiel folgende Teile: Luftfilter, Bremsflüssigkeit, Motorölfilter, Motoröl, Pollenfilter, Zündkerze, Kühlmittel, Bremsscheibe, Bremsbeläge, Stossdämpfer, Scheibenwischer, Glühbirne, Getriebeöl, Zahnriemen, Keilriemen, AD-Blue für Diesel Fahrzeuge oder Startbatterie.

Die Servicekosten entsprechend dem von Eurotax definierten «Maintenance Plan» enthalten sowohl die Arbeitskosten wie auch die Teilkosten.

Hinsichtlich der Bremsbeläge und Bremsscheiben bei BEV zeigte sich bei der Befragung von AMAG und Volkswagen, dass diese Teile nicht gemäss einem fixen Plan ersetzt werden, sondern entsprechend ihrem Verschleiss ausgetauscht werden. Auf Anfrage stellte Eurotax entsprechend folgende Punkte klar:

Maintenance Plan und Verschleiss-teile

- Auch wenn die Kosten bei Eurotax unter „Maintenance Plan« aufgeführt sind, stellen die Kosten zu Bremsbelägen und zu den Bremsscheiben keinen Serviceplan dar. Eurotax hat hier Kostenschätzungen zum Verschleiss berücksichtigt.
- Eurotax verfügt nicht immer über Daten zu den Kosten. Für Bremsbeläge und Bremsscheiben bei BEV beruhen die Kosten auf Annahmen, die auf verschiedenen Quellen abgestützt sind.

Im Kaufpreis eines Neuwagens kann teils auch eine bestimmte Anzahl Services inkludiert sein. Das heisst, dass der Kunde erst nach ein paar Jahren für den Service zahlt, bzw. die Servicekosten mit dem Kaufpreis im Voraus bezahlt wurden. Die Eurotax Daten rechnen die Servicekosten separat an. Im Kaufpreis sind darum keine impliziten Servicekosten enthalten und für alle Fahrzeuge fallen diese auch in den ersten Jahren an.

Abgrenzung von Servicekosten und Kaufpreis

Die Eurotax Datenbank beinhaltet die Kosten für bis zu 6 Jahre und kann darin auch die Kosten für 120'000 Kilometer darstellen. Hier sind die Servicekosten auf 8 Jahre Besitzdauer und 120'000 km zu extrapolieren. Die Kilometerleistung bleibt somit gleich, aber der Betrachtungszeitraum ist hier länger. Für die Fortschreibung auf das hier zugrunde gelegte Ownerprofil wird angenommen, dass die Hälfte der Servicekosten von dem kalendarischen Alter abhängt und die andere Hälfte von der Kilometerleistung. Damit ergeben sich Servicekosten nach 8 Jahren $S(8)$ als $\frac{7}{6}$ der Servicekosten nach 6 Jahren $S(6)$:

Hochrechnung von 6 auf 8 Jahren Besitzdauer.

$$S(8) = 0.5 \times S(6) + 0.5 \times \frac{8}{6} S(6) = \frac{7}{6} S(6).$$

Wenn ein Service am Ende der definierten Besitzdauer anfällt, wird er auch in den Kosten berücksichtigt.

Plausibilisierung

Die Plausibilisierung der Servicekosten wurde anhand der Daten von ARVAL durchgeführt. ARVAL-Daten standen für 7 ICEV, 8 BEV und 5 PHEV Modelle zur Verfügung, die in dieser Studie untersucht werden. Sowohl die Daten von ARVAL wie die Daten von Eurotax zeigen, dass die Servicekosten bei BEV rund 35% tiefer als bei ICEV sind. Beide Quellen zeigen zudem, dass die Servicekosten bei PHEV 7-10% höher als bei ICEV sind. Jedoch sind die absoluten Servicekosten in der ARVAL Datenbank bei allen Antriebstechnologien 30% tiefer als in der Eurotax Datenbank. Diese Abweichung lässt sich durch bessere Konditionen der Garagen für Firmenkunden im Vergleich zu privaten Fahrzeughaltern erklären. Für die TCO-Berechnung werden die Eurotax Daten zugrunde gelegt.

Kostendifferenzen zwischen den Antriebsarten plausibel

Ergebnisse

Die Servicekosten werden in der Tabelle 12 (absolute Werte) und in der Tabelle 13 (relative Werte) dargestellt.

Servicekosten je
Feld

Service	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	6'333	6'509	8'611	6'700
BEV	4'150	3'459	6'924	5'512
PHEV	–	7'152	8'967	7'501

Tabelle 12: Servicekosten in CHF.

Service	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.66	0.53	0.80	0.82
PHEV	–	1.10	1.04	1.12

Tabelle 13: Servicekosten relativ zu ICEV.

Die Servicekosten von BEV sind tiefer als die von ICEV. Die Differenz ist in den Segmenten Kleinwagen und Mittelklasse (rund 40% günstiger) grösser als in den Segmenten Oberklasse und SUV (20% günstiger). Bei PHEV sind die Kosten höher als bei ICEV. Diese Verhältnisse wurde durch eine Mehrheit von Garagisten in der via AGVS durchgeführten Umfrage bestätigt.

3.5 Reifenkosten

Datengrundlage Eurotax

Für die Reifenkosten liegen die Daten von Eurotax vor. Für jedes Modell werden die Standardreifen zugrunde gelegt. Eurotax sieht einen Reifenwechsel alle 40'000 Kilometer vor.

Plausibilisierung

Die ARVAL Daten zeigen, dass die Reifenkosten doppelt so gross sind wie in Eurotax. Das ist bei allen Antriebstechnologien und Segmenten der Fall.

Reifenkosten für
alle Fahrzeugmo-
delle erhöht.

Es gibt hauptsächlich zwei Gründe für den Unterschied:

- Erstens berücksichtigt Eurotax nicht die Kosten für den Wechsel von Sommer- auf Winterreifen und umgekehrt. Die Kosten für einen Sommer/Winter Wechsel betragen im Durchschnitt 80 CHF. Über die 8 Jahre Besitzdauer kommt man auf 16 Wechsel, was 1'280 CHF entsprechen. Diese Summe erklärt etwa 2/3 des Unterschieds zwischen den Eurotax und den ARVAL Daten.
- Das restliche Drittel erklärt sich durch das frühere Wechseln von Reifen. Eurotax rechnet mit drei Reifenwechseln: bei 40'000 km, bei 80'000 km und bei 120'000 km. Zum Vergleich: Der TCS rechnet mit einem Wechsel nach 30'000 km. Den Garagisten wurde die Frage gestellt, nach wie vielen Kilometern die Reifen gewechselt werden. Die Spannweite lag zwischen 19'000 bis 35'000 km bei ICEV (Durchschnitt 27'000 km) und zwischen 18'000 und 40'000 km für BEV (Durchschnitt 25'000 km). Auf Basis dieser Angaben legen wir für die unterstellte Fahrleistung von 120'000 km

vier statt drei Wechsel bis 120'000 km zugrunde. Das ist genau ein Drittel mehr als in Eurotax.

Zur Berücksichtigung der beiden Kostenunterschiede haben wir die Reifenkosten aus Eurotax für alle Fahrzeuge verdoppelt.

Zudem zeigten die ARVAL-Daten, dass die Reifenkosten von BEV um ca. 20% höher liegen als die Reifenkosten von ICEV. In den Eurotax-Daten sind die Reifenkosten von BEV- und ICEV ähnlich (Ausnahme SUV), bei Kleinwagen und in der Oberklasse sind die Reifenkosten bei BEV sogar 10% günstiger als die Kosten der ICEV. Folgende Überlegungen sind hier zu berücksichtigen:

Reifenkosten für BEV um höher als bei ICEV?

- Bei der AGVS-Umfrage hat sich gezeigt, dass die Reifen bei Elektrofahrzeugen nicht häufiger gewechselt werden. Demnach ist die Laufleistung der Reifen kein Argument für höhere BEV-Reifenkosten.
- Eurotax rechnet für BEV mit Normal- bzw. Standardreifen wie bei den ICEV. Darum sind die Preise gleich oder teilweise sogar tiefer, wenn andere Standardmodelle zugrunde gelegt werden. Dies kann damit erklärt werden, dass BEV gegebenenfalls mit «vernünftigeren» Reifen (etwas kleinerer Durchmesser und weniger breit) unterwegs sind als Verbrennerfahrzeuge. Dies, weil «unvernünftige» Reifen einen höheren Energieverbrauch haben, was die Reichweite eines Elektroautos reduzieren würde.
- Aktuell sind die Preise für Reifen, die auf E-Fahrzeuge optimiert sind, deutlich höher als die Preise für Normalreifen. Die Preisaufläge liegen teils bei ca. 50% (Abrahamczyk 2022). Da das Angebot an entsprechenden Reifen noch klein ist, können die Produzenten noch hohe Preise für die E-optimierten Reifen fordern. Mit zunehmendem Angebot werden die Preise sinken. Da Elektrofahrzeuge nicht generell spezielle Reifen benötigen, besteht hier auch seitens Käufer die Möglichkeit auf Normalreifen auszuweichen und nicht mehr für Reifen zu zahlen (Abrahamczyk, Markus 2022, basierend auf einer Auswertung der Reifenhandelsplattform Alzura Tyre24).

In Absprache mit dem BFE wurde entschieden, dass keine Zuschläge auf die Reifenkosten von BEV gegenüber den Kosten ICEV berücksichtigt werden. Bei den Ergebnissen wird eine Sensitivität mit 20% höheren Reifenkosten für BEV als bei den ICEV gerechnet.

Ergebnisse

Die Reifenkosten sind in der Tabelle 14 (absolute Werte) und in der Tabelle 15 (relative Werte) dargestellt.

Reifen	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	2'750	3'433	4'291	3'145
BEV	2'543	3'691	3'874	4'071
PHEV	–	2'724	4'291	3'231

Tabelle 14: Reifenkosten in CHF.

Reifen	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.92	1.08	0.90	1.29
PHEV	–	0.79	1.00	1.03

Tabelle 15: Reifenkosten relativ zu ICEV.

Ergebnis ist, dass die durchschnittlichen Reifenkosten sehr ähnlich für alle Antriebstechnologien sind. Ausnahme sind lediglich die BEV-SUV, die deutlich über den Kosten für die übrigen Antriebsarten liegen.

Im Anhang A4 sind die Resultate einer Sensitivitätsanalyse für die Reifenkosten dargestellt, wenn mit 20% höheren Reifenkosten für BEV als bei den ICEV gerechnet wird.

3.6 Weitere Kostenarten

Im Folgenden werden Motorfahrzeugsteuer, Versicherung, Ladeinfrastruktur und Fahrzeugpflege berücksichtigt. Andere Kosten, wie zum Beispiel Garagierungskosten oder die Motorfahrzeugkontrolle, werden hier nicht berücksichtigt, weil sie für alle Antriebstechnologien gleich sind.

3.6.1 Motorfahrzeugsteuer

Die Motorfahrzeugsteuer ist von Kanton zu Kanton unterschiedlich geregelt. Nicht nur ist die Spannweite für dasselbe Model zwischen den Kantonen sehr breit, sondern es herrscht schweizweit auch keine einheitliche Bemessungsgrundlage. Als Bemessungsgrundlage dienen zum Beispiel Hubraum, Gesamtgewicht, Leistung, CO₂-Emissionen, Leergewicht oder eine Kombination dieser Grössen.

Ausserdem gewähren manche Kantone für besonders emissionsarme und energieeffiziente Fahrzeugmodelle zusätzliche Rabatte. Diese werden jährlich dem technologischen Fortschritt angepasst.

Diese Unterschiede sind besonders stark bei Elektroautos. Ein Beispiel dazu: Ein Besitzer von einem Tesla Model 3, (meistverkauftes Auto im Jahr 2021), bezahlt im Kanton Zürich keine Motorfahrzeugsteuer. Hier sind Elektrofahrzeuge von der Steuer befreit. Jedoch würde derselbe Besitzer im Kanton Schwyz fast 1000 CHF Motorfahrzeugsteuer zahlen. In diesem Kanton werden die Leistung und das Gewicht als Bemessungsgrundlage verwendet.

Für die TCO-Berechnung wird hier ein schweizerischer Mittelwert pro Fahrzeugkategorie verwendet. Dieser Mittelwert ist für jede Antriebstechnologie innerhalb einer Fahrzeugklasse gleich. Er wird wie folgt berechnet:

- Je Kategorie werden die sechs meistverkauften Fahrzeuge berücksichtigt (drei für SUV).
- Für jedes Fahrzeug wird die Motorfahrzeugsteuer in jedem Kanton ermittelt (Quelle: ASA)
- Je Fahrzeug wird der gewichtete Mittelwert über alle Kantone berechnet. Die Gewichtung ergibt sich aus der Anzahl Neuzulassungen pro Kanton.

— Schliesslich wird der Mittelwert zwischen den Fahrzeugen je Fahrzeugklasse berechnet.

Neben dem Mittelwert wird auch die Spannbreite ermittelt. So wird segment-spezifisch auch der Maximal- und Minimalwert dargestellt. Der Maximalwert entspricht der höchsten Fahrzeugsteuer unter allen Kantonen und für alle betrachtete Fahrzeuge. Analog ist der Minimalwert berechnet. Die Resultate sind in der Tabelle 16 gegeben.

Fahrzeugsegment	Mittelwert	Maximum	Minimum
Kleinwagen	194	545 (VW Polo, JU)	0 (Fiat 500, GE)
Mittelklasse	356	762 (MB C-Klasse, VD)	105 (Skoda Fabia, VD)
Oberklasse	516	3'267 (MB, S-Klasse, GE)	0 (Porsche Taycan, ZH)
SUV	363	815 (Volvo XC40, SZ)	0 (Volvo XC40, SO)

Tabelle 16: Motorfahrzeugsteuer für die vier Fahrzeugsegmente in CHF pro Jahr

Einzelne Kantone fördern emissionsfreie Fahrzeuge mittels Rabatten auf der kantonalen Motorfahrzeugsteuer. Die Unterschiede dabei sind sehr gross. Eine Berücksichtigung in der vorliegenden Studie ist nicht möglich. Daher wurde das oben beschriebene Vorgehen gewählt.

3.6.2 Versicherung

Die Versicherungsprämie wird von vielen Faktoren beeinflusst, die zwei Kategorien zugeordnet werden: Lenkerprofil und Versicherungsdeckung.

Lenkerprofil

Die Versicherungsprämien können sich nach Nationalität unterscheiden. Das Geschlecht spielt ebenfalls eine Rolle, aber man kann nicht generell behaupten, dass Männer oder Frauen immer tiefere Prämien bezahlen. Der Wohnkanton ist auch für die Bestimmung der Prämie relevant. Für die Analyse wird eine versicherte Person im Kanton Aargau zugrunde gelegt. Gemäss einer Comparis Studie (Comparis 2016) über verschiedene Fahrzeugversicherungen liegt der Kanton Aargau bei dem schweizerischen Median. Zudem wird das Alter berücksichtigt. Für Junglenker sind die Prämien sehr hoch. Das durchschnittliche Alter der schweizerischen Bevölkerung zwischen 18 und 85 Jahre liegt bei 43 Jahre. Dieses Alter wird für das Lenkerprofil verwendet.

Für die Versicherungskosten berechnen wir die Prämien somit für das in der folgenden Tabelle dargestellte Profil.

Geschlecht	Männlich
Alter	43 Jahre
Nationalität	Schweizer
Wohnkanton	Aargau (Aarau)
Schäden, Bussen	Keine relevanten Schäden, Unfälle oder Bussen in den letzten 5 Jahren
Garage	Zuhause vorhanden
Datum Führerschein	1999

Tabelle 17: Profil Versicherter.

Versicherungsdeckung

Für einen Neuwagen sehen wir eine Vollkasko Versicherung vor. Wir nehmen an, dass die Versicherungsdeckung über die Jahre gleichbleibt.

Versicherung	Haftpflicht und Vollkasko
Selbstbehalt	1'000 CHF
Zusatzdeckung	Parkschaden

Tabelle 18: Versicherungsdeckung (gleichbleibend über 8 Jahre Besitzdauer).

Mit dem Online-Vergleichstool von Comparis (Comparis 2022) werden die Prämien für den oben definierten Fahrer und die Versicherungsdeckung ermittelt. Die Prämien werden für jedes Fahrzeugmodell recherchiert und konstant über die Besitzdauer angenommen. Es wird immer die günstigste Offerte verwendet.

3.6.3 Ladeinfrastruktur bei BEV- und PHEV

Heimlader benötigen eine Ladeinfrastruktur, die in den TCO zu berücksichtigen ist. Wir nehmen an, dass der Netzanschluss schon vorhanden ist (Ausbaustufe C1 gemäss SIA 2060). Der Besitzer muss eine Ladestation kaufen und installieren lassen. Die Ladestation hat eine Leistung von 11 kW. Eigene Recherchen bei der CKW ergaben, dass diese für die Installation von Ladegeräten bei ihren Mitarbeitenden Kosten zwischen 3'000 und 5'000 Franken tragen.

Auf der Helion Website (Helion 2022) können für verschiedene Konstellationen Preise für Ladeinfrastruktur ermittelt werden. Für ein Doppelleckhaus, mit einem Parkplatz in angebauter Garage und einen Abstand von 10 Meter zwischen Ladestation und Sicherungskasten, ergibt sich ein Preis von 3'040 CHF (Ladestation, Installation und Inbetriebnahme). Dieser Wert wird als Kosten für die Ladeinfrastruktur eingesetzt.

Der Restwert dieser Ladestation nach acht Jahren wird mit Null angenommen. Dies vor allem auch aufgrund des Prinzips der kaufmännischen Vorsicht, da nicht sicher ist, welche Anforderungen in acht Jahren Elektroautos an Ladestationen haben werden.

Die Kosten für die Ladeinfrastruktur fallen bei allen PHEV und BEV gleich an.

3.6.4 Fahrzeugpflege

Die Fahrzeugpflege schliesst vor allem die Reinigungskosten ein. Wir rechnen mit 150 CHF pro Jahr für die Fahrzeugpflege. Dieser Betrag wird ebenfalls von TCS verwendet und ist gleich für alle Fahrzeuge.

3.6.5 Ergebnisse

Die «weiteren Kosten» sind in der Tabelle 19 (absolute Werte) und in der Tabelle 20.

Weitere Kosten	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	6'789	9'288	13'395	10'302
BEV	9'887	12'248	15'853	12'722
PHEV	-	12'035	16'753	12'541

Tabelle 19: Weitere Kosten in CHF.

Weitere Kosten	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.46	1.32	1.18	1.23
PHEV	-	1.30	1.25	1.22

Tabelle 20: Weitere Kosten relativ zu ICEV.

Die Unterschiede in der Kategorie «Weitere Kosten» entstehen vor allem aufgrund der Ladeinfrastrukturkosten.

4. Ergebnisse TCO

4.1 Kleinwagen

Die Tabelle 21 und die Abbildung 5 zeigen die Kosten für die Kleinwagen differenziert nach Kostenarten und die TCO in Summe. Kleinwagen

Kleinwagen	ICEV		BEV	
Beschaffung	22'593	43%	28'668	58%
Energie	13'920	27%	4'366	9%
Service	6'333	12%	4'150	8%
Reifen	2'750	5%	2'543	5%
Weitere Kosten	6'789	13%	9'887	20%
Summe TCO	52'385	100%	49'616	100%

Tabelle 21: Total Cost of Ownership in CHF differenziert nach Kostenarten und Anteile der Kostenarten an den TCO in Prozent im Segment Kleinwagen.

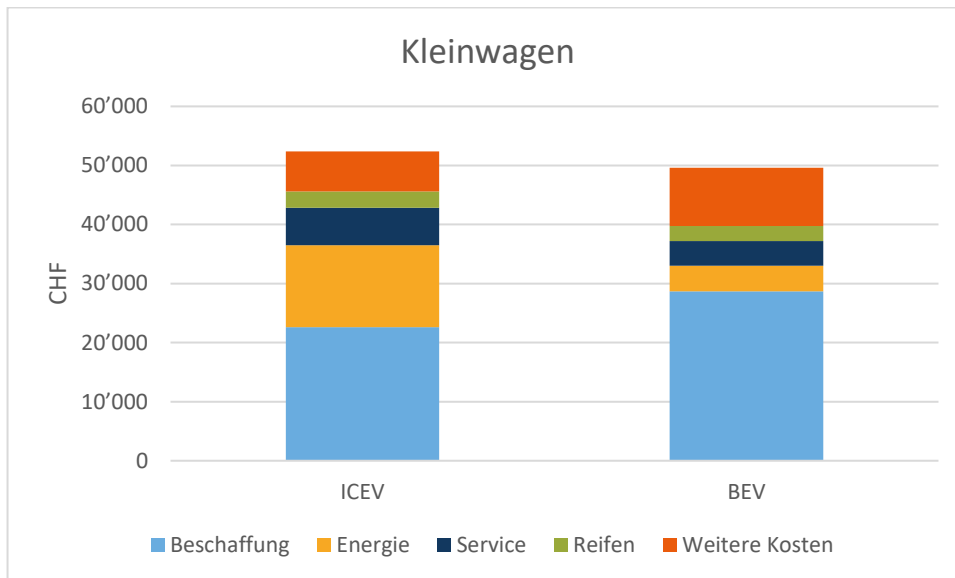


Abbildung 5: Total Cost of Ownership in CHF im Segment Kleinwagen.

Die TCO von BEV sind um rund 5% niedriger als die Kosten von ICEV. Höhere Kosten für die Beschaffung und für die heimische Ladestation (Weitere Kosten) werden durch geringere Energie- und Servicekosten überkompensiert. Aufgrund der geringen Anzahl von PHEV im Segment Kleinwagen wurden diese hier nicht untersucht.

4.2 Mittelklasse

Die Tabelle 22 und die Abbildung 6 zeigen die Kosten für die Fahrzeuge der Mittelklasse differenziert nach Kostenarten und die TCO in Summe.

Mittelklasse

Mittelklasse	ICEV		BEV		PHEV	
Beschaffung	37'674	52%	35'569	60%	42'650	59%
Energie	15'744	22%	4'670	8%	7'536	10%
Service	6'509	9%	3'459	6%	7'152	10%
Reifen	3'433	5%	3'691	6%	2'724	4%
Weitere Kosten	9'288	13%	12'248	21%	12'035	17%
Summe TCO	72'647	100%	59'638	100%	72'098	100%

Tabelle 22: Total Cost of Ownership in CHF differenziert nach Kostenarten und Anteile der Kostenarten an den TCO in Prozent im Segment Mittelklasse.

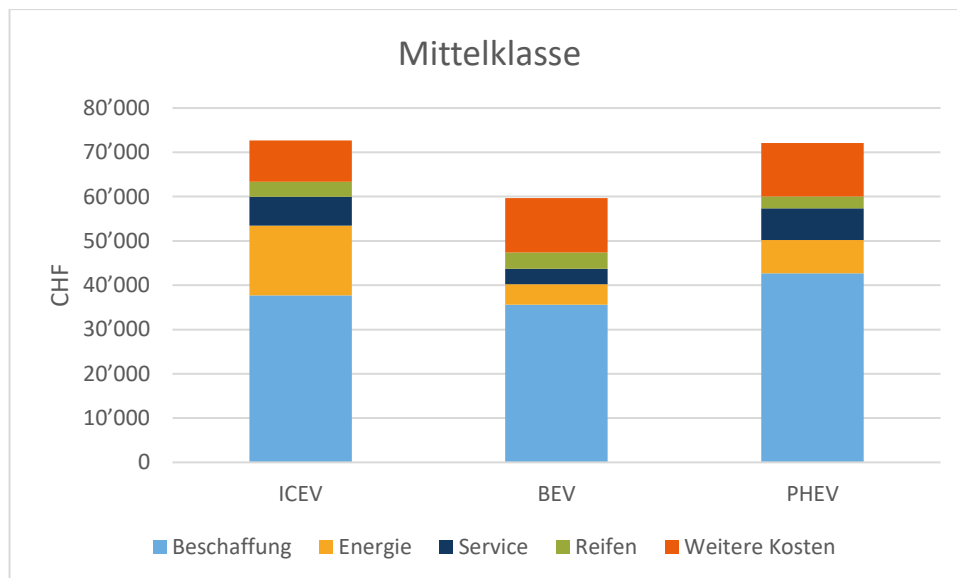


Abbildung 6: Total Cost of Ownership in CHF im Segment Mittelklasse.

Die TCO von BEV sind um rund 19% niedriger als die Kosten von ICEV. In diesem Segment sind Beschaffungskosten, d.h. Kaufpreis und Finanzierungskosten abzüglich der Restwerte nach acht Jahren ähnlich hoch. Höhere Kosten für BEV entstehen für die heimische Ladestation (Weitere Kosten). Die Energie- und Servicekosten sind auch hier bei BEV niedriger als bei ICEV.

Die PHEV erzielen in etwa gleich hohe TCO wie die ICEV. Höhere Kosten für die Beschaffung, den Service und die Ladestation (Weitere Kosten) werden durch die Einsparungen vor allem bei den Energiekosten kompensiert.

4.3 Oberklasse

Für die Fahrzeuge der Oberklasse zeigen die Tabelle 23 und die Abbildung 7 die Kosten differenziert nach Kostenarten und die TCO in Summe. Oberklasse

Oberklasse	ICEV		BEV		PHEV	
Beschaffung	86'771	66%	83'428	72%	97'415	72%
Energie	18'880	14%	5'272	5%	8'270	6%
Service	8'611	7%	6'924	6%	8'967	7%
Reifen	4'291	3%	3'874	3%	4'291	3%
Weitere Kosten	13'395	10%	15'853	14%	16'753	12%
Summe TCO	131'948	100%	115'351	100%	135'697	100%

Tabelle 23: Total Cost of Ownership in CHF differenziert nach Kostenarten und Anteile der Kostenarten an den TCO in Prozent im Segment Oberklasse.

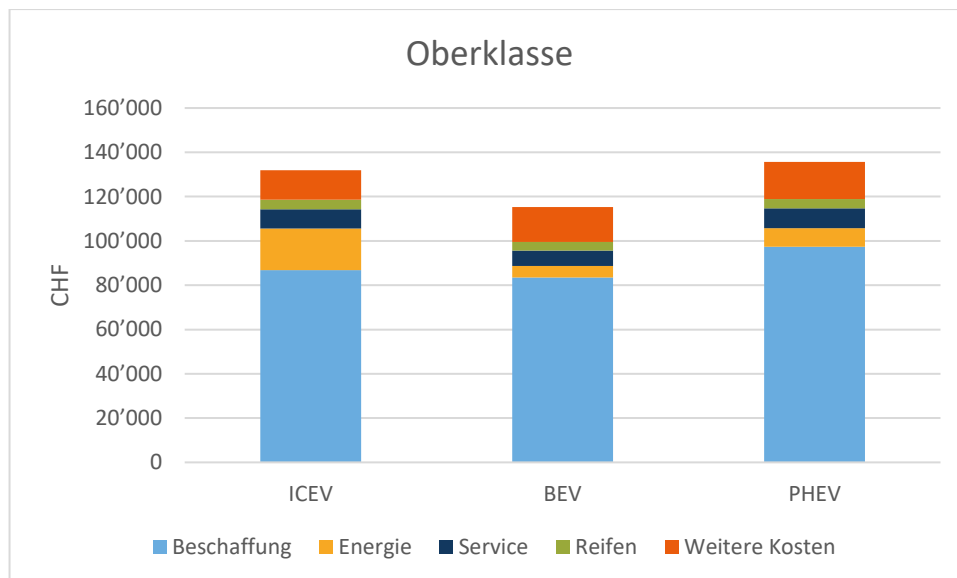


Abbildung 7: Total Cost of Ownership in CHF im Segment Oberklasse.

Die Ergebnisse in der Oberklasse sind ähnlich wie die bei der Mittelklasse: Die TCO von BEV sind hier um rund 13% niedriger als die Kosten von ICEV. Auch in diesem Segment sind die Beschaffungskosten, d.h. Kaufpreis und Finanzierungskosten abzüglich der Restwerte nach acht Jahren ähnlich hoch. Höhere Kosten für BEV entstehen für die heimische Ladestation (Weitere Kosten). Die Energie- und Servicekosten sind auch hier bei BEV niedriger als bei ICEV.

Auch für die PHEV in der Oberklasse entsprechen die Ergebnisse denjenigen der Mittelklasse. Die TCO sind in etwa gleich hoch. Höhere Kosten für die Beschaffung, den Service und die Ladestation (Weitere Kosten) werden durch die Einsparungen vor allem bei den Energiekosten kompensiert.

4.4 SUV

Die Ergebnisse für die SUV-Fahrzeuge sind in Tabelle 24 und Abbildung 8 dargestellt - differenziert nach Kostenarten und die TCO in Summe. SUV

SUV	ICEV		BEV		PHEV	
Beschaffung	44'442	53%	49'566	64%	48'732	60%
Energie	18'253	22%	5'598	7%	9'794	12%
Service	7'401	9%	5'512	7%	7'501	9%
Reifen	3'145	4%	4'071	5%	3'231	4%
Weitere Kosten	10'302	12%	12'722	16%	12'541	15%
Summe TCO	83'543	100%	77'469	100%	81'800	100%

Tabelle 24: Total Cost of Ownership in CHF differenziert nach Kostenarten und Anteile der Kostenarten an den TCO in Prozent im Segment SUV.

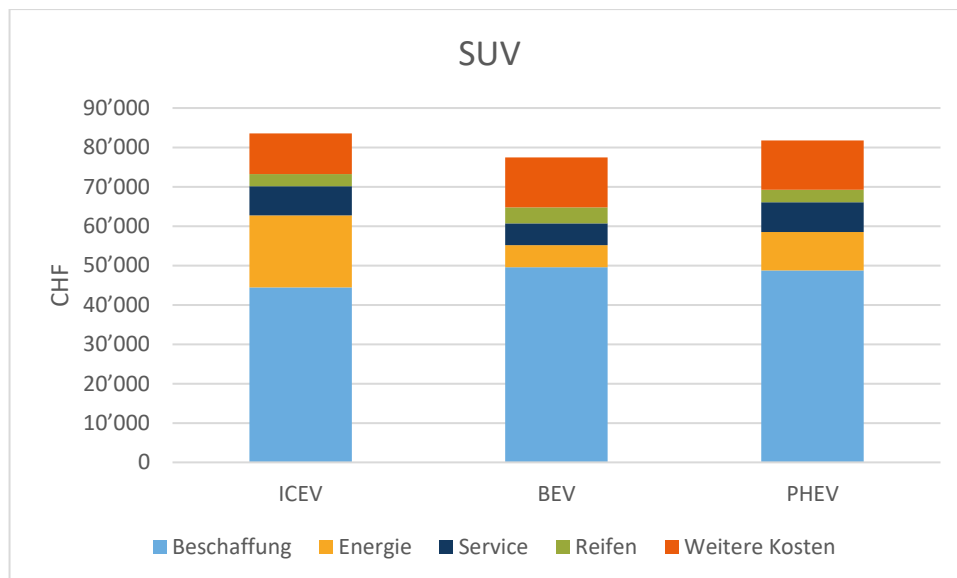


Abbildung 8: Total Cost of Ownership in CHF im Segment SUV.

Bezüglich der BEV zeigt sich hier im Vergleich zu den ICEV ein ähnliches Bild wie bei den Kleinwagen: Die TCO von BEV sind um rund 7% niedriger als die Kosten von ICEV. Höhere Kosten für die Beschaffung und für die heimische Ladestation (Weitere Kosten) werden durch geringere Energie- und Servicekosten überkompensiert.

Für die PHEV zeigt sich das Ergebnis analog der Mittel- und Oberklasse: Die TCO sind in etwa gleich hoch. Höhere Kosten für die Beschaffung und die Ladestation (Weitere Kosten) werden durch die Einsparungen vor allem bei den Energiekosten kompensiert.

4.5 Übersicht und Sensitivitätsanalysen

Die beiden folgenden Tabellen fassen die TCO je Fahrzeugklasse und Antriebsart zusammen. Tabelle 25 zeigt die absoluten TCO und Tabelle 26 die relativen Veränderungen im Vergleich zu ICEV. Die Kosten haben den

Preisstand 2022. Sie berücksichtigen weder Prognosen noch Annahmen zu zukünftigen Entwicklungen.

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	52'385	72'647	131'948	83'543
BEV	49'616	59'638	115'351	77'469
PHEV	-	72'098	135'697	81'800

Tabelle 25: Total Cost of Ownership in CHF (Preisstand 2022).

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.95	0.82	0.87	0.93
PHEV	-	0.99	1.03	0.98

Tabelle 26: Total Cost of Ownership relativ zu ICEV.

Die TCO differenziert nach Kostenart sind in Abbildung 9 dargestellt. Dabei sind auch Spannweiten der Ergebnisse aus Sensitivitätsanalysen ausgewiesen.

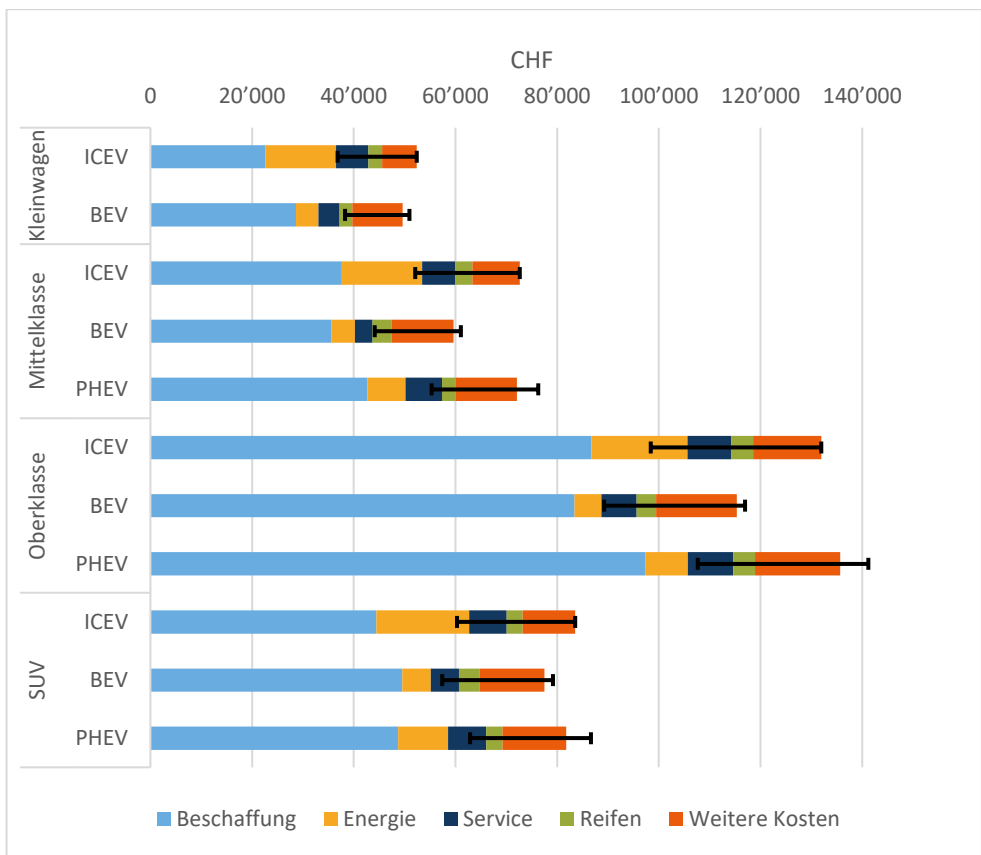


Abbildung 9: Total Cost of Ownership nach Kostenart [CHF]. Die schwarzen Linien zeigen die Spannweite der Resultate der Sensitivitätsanalyse

Die BEV weisen in allen Segmenten niedrigere TCO als die ICEV auf. Zusätzliche Beschaffungskosten und Kosten für die Ladeinfrastruktur daheim

werden durch niedrigere Energie- und Servicekosten überkompensiert. Bei PHEV gleichen sich gegenüber den ICEV die höheren Beschaffungskosten und die Kosten für die Ladeinfrastruktur daheim durch geringere Kosten für Energie und Service in etwa aus.

Mit Sensitivitätsanalysen wurde die Robustheit der Ergebnisse untersucht. Die Ergebnisse sind im Anhang A4 dokumentiert. Zu den einzelnen Sensitivitäten ist folgendes festzuhalten:

- Variation Energiekosten: Diese Annahmen haben einen geringen Einfluss auf die gesamten TCO. Werden nur der Treibstoffpreis ODER der Strompreis variiert, haben die BEV geringere Kosten als die ICEV. Bei tieferem Treibstoffpreis UND höheren Strompreis sind bei Mittelklasse, Oberklasse und SUV die BEV die TCO von BEC weiterhin niedriger als von SUV. Lediglich bei Kleinwagen haben BEV die gleichen Kosten wie die ICEV.
- Variation elektrischer Fahranteil PHEV: Wenn bei PHEV der elektrische Fahranteil halbiert wird, dann steigen ihre TCO gegenüber ICEV. Die TCO von PHEV sind dann leicht höher als die von ICEV.
- Variation Einkaufspreis Mittelklasse BEV: Die TCO der BEV bleiben geringer als die der ICEV.
- Variation Besitzdauer und jährliche Fahrleistung: Für Mittelklasse, Oberklasse und SUV weisen BEV in allen Fällen tiefere oder gleich hohe TCO wie ICEV auf. Lediglich in der Kategorie Kleinwagen sind die TCO von BEV Fahrzeugen um 4% höher als die von ICEV, wenn die Jahresfahrleistung 10'000 statt 15'000 Kilometer und gleichzeitig die Besitzdauer nur 6 statt 8 Jahre betragen. Die Sensibilität der TCO bezüglich Besitzdauer und Fahrleistungen ist bei ICEV stärker als bei BEV.
- Variation Reifenkosten BEV: Keine wesentlichen Änderungen der TCO relativ zu ICEV.

Die TCO-Ergebnisse zeigen sich somit als sehr robust. Für Mittelklasse, Oberklasse und SUV weisen BEV in allen Fällen tiefere oder gleich hohe TCO wie ICEV auf. In der Kategorie Kleinwagen ist dies auch meistens so.

5. Beantwortung der Thesen

In diesem Kapitel werden die sechs eingangs formulierten Thesen geprüft. Jede These wird genauer beschrieben und dann auf Basis der vorhergehenden Kapitel und weiterer Recherchen beantwortet. Alle in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Annahmen gelten auch für die Beantwortung der Hypothesen.

5.1 These 1 – Anschaffungs- und Gesamtkosten

Elektroautos haben einen höheren Kaufpreis als Verbrennerautos, sind aber über die gesamte Besitzdauer gesehen günstiger.

Vergleicht man den Anschaffungspreis von ICEV- und BEV-Modellen des gleichen Herstellers, sind die batterieelektrischen Fahrzeuge im visuellen Preis (Preis gemäss Preisliste; ohne Rabatte) höher. Auch bei einem produktbereinigten Vergleich – Valorisierung der unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale und Leistungen – und nach Abzug der Rabatte zeigt sich, dass die BEV-Modelle aktuell in der Anschaffung noch teurer sind. Aufgrund der tieferen Stromkosten (im Vergleich zum Treibstoff) sowie der tieferen Servicekosten sind BEV-Modelle über die gesamte Besitzdauer betrachtet günstiger als vergleichbare ICEV-Modelle.

Unter Anschaffungspreis wird hier der Kaufpreis verstanden. Der Kaufpreis entspricht dem Listenpreis. Rabatte sind nicht berücksichtigt. Die Kosten über die gesamte Besitzdauer schliessen alle anderen Komponenten der TCO (Beschaffungskosten, Treibstoff- und Energiekosten, Servicekosten, Reifenkosten und weitere Kosten) ein. Entsprechend den obigen Annahmen wird hier die Nutzung über 8 Jahren und 120 000 km zugrunde gelegt.

Antwort

Diese These ist bestätigt.

Der Kaufpreis der BEV ist je nach Fahrzeugklasse bis zu 20% höher als bei ICEV (siehe Tabelle 4). Wenn die Beschaffungskosten der Fahrzeuge inklusive des Restwerts und der Finanzierungskosten betrachtet werden, dann zeigt sich, dass BEV in der Mittel- und Oberklasse um ca. 5% niedriger sind als die von ICEV (siehe Tabelle 7). Bei SUV und Kleinwagen hingegen sind BEV um 12% bzw. 27% teurer als ICEV.

Hinsichtlich der gesamten TCO zeigt sich, dass diese bei BEV je nach Fahrzeugklasse zwischen 5 bis 18% niedriger als die von ICEV sind (siehe Tabelle 26) Gründe dafür sind vor allem die tieferen Energie- und Servicekosten.

5.2 These 2 – Servicekosten BEV

Die Servicekosten bei Elektroautos sind bis zu 70% tiefer als bei Verbrennerautos.

Die Kosten für Service sind beim Elektroauto deutlich tiefer als beim Verbrenner. Das liegt vor allem daran, dass es bei einem vollelektrischen Fahrzeug weniger bewegliche Teile im Antriebsstrang und Motor gibt. Folglich

müssen beim Service eines Elektroautos im Vergleich zum Verbrenner weniger Teile gewartet werden. Bei den BEV-Modellen entfallen Kosten z.B. für Motorenöl, Zündkerzen und Ölfilter. Daraus resultieren Einsparungen von bis zu 70% bei den Servicekosten im Vergleich zu Verbrennern.

Die Servicekosten sind im Kapitel 3.4 definiert. Reifenkosten und ungeplanten Reparaturen sind hier nicht berücksichtigt.

Antwort

Die These ist teilweise bestätigt.

Die Servicekosten sind bei BEV zwar tiefer als bei ICEV. Dies aber nur zwischen 20 und 45% je nach Fahrzeugklasse (siehe Tabelle 13). In den Segmenten Kleinwagen und Mittelklasse sind es rund 40% und in den Segmenten Oberklasse und SUV rund 20%. Diese Aussage ist durch die Eurotax Daten, den Daten von ARVAL und von der AGVS Umfrage bestätigt.

5.3 These 3 – Reifenkosten BEV

Die Reifen für Elektroautos sind teurer als die für Verbrennerautos

Elektroautos weisen aufgrund der Batterie grundsätzlich ein höheres Leergewicht auf und besitzen vom Start weg ein hohes Drehmoment. Beide Elemente können dazu führen, dass Reifen am BEV schneller verschleissen als bei Verbrennern. Wie widerstandsfähig ein Reifen gegen Abrieb ist, hängt stark von der verwendeten Gummimischung ab. Zudem werden idealerweise Reifenmodelle mit geringem Rollwiderstand bevorzugt, damit die Reichweite gewährleistet ist. Alle diese Punkte führen dazu, dass die Kosten für Reifen bei BEV-Modellen teurer sind. Reifenhersteller bieten zunehmend auch Reifen speziell für E-Fahrzeuge an.

Zur Beantwortung der Hypothese sind neben dem Preis der Reifen auch die die gesamten Reifenkosten über den definierten Nutzungszeitraum zu betrachten. Die Kosten hängen somit nicht nur von Reifenmodell, sondern auch von der Anzahl Reifenwechsel über die Jahre ab. Als Reifen werden die Standardreifen für jedes Modell zugrunde gelegt.

Antwort

Die These ist widerlegt.

Zwar zeigten die ARVAL-Daten, dass die Reifenkosten von BEV um ca. 20% höher liegen als die Reifenkosten von ICEV. Dies ist anders als in den Eurotax-Daten, bei denen die Reifenkosten von BEV- und ICEV ähnlich sind. Aufgrund folgender Überlegungen kann die These nicht generell bestätigt werden (vgl. Kapitel 3.5):

- Reifen bei Elektrofahrzeugen werden gemäss Umfrage AGVS nicht häufiger gewechselt. Demnach ist die Laufleistung der Reifen bzw. der Verschleiss kein Argument für höhere BEV-Reifenkosten.
- Aktuell sind die Preise für Reifen, die auf E-Fahrzeuge optimiert sind, deutlich höher als die Preise für Normalreifen. Die Preisaufschläge liegen teils bei ca. 50% (Abrahamczyk 2022). Da das Angebot an entsprechenden Reifen noch klein ist, können die Produzenten noch hohe Preise fordern. Mit zunehmendem Angebot werden die Preise sinken. Da

Elektrofahrzeuge nicht generell spezielle Reifen benötigen, besteht hier auch seitens Käufer die Möglichkeit auf Normalreifen auszuweichen.

5.4 These 4 – Servicekosten PHEV

Die Servicekosten von Plug-in Hybrid Autos sind höher als bei Elektroautos.

Gegenüber einem reinen Elektroauto sind die Wartungskosten beim PHEV höher, da ein zusätzlicher Wartungsaufwand am Verbrennungsmotor anfällt.

Die Servicekosten sind im Kapitel 3.4 dargestellt. Reifenkosten und ungeplante Reparaturen sind also nicht berücksichtigt.

Antwort

Die These ist bestätigt.

PHEV sind Elektrofahrzeuge mit zusätzlichen Komponenten. Deshalb sollten die Servicekosten auch höher als diejenigen von BEV sein. Dies zeigt sich eindeutig in der Tabelle 13. Die Servicekosten von PHEV sind höher als die von BEV und auch höher als ICEV. Mittelklasse-PHEV sind im Service fast doppelt so teuer wie Mittelklasse-BEV. In der Oberklasse und bei SUV beträgt der Unterschied rund 30 bzw. 35%.

5.5 These 5 – Reparaturkosten

Die Reparaturkosten sind bei BEVs höher.

Elektroautos haben ca. 10x weniger bewegliche Teile im Antriebsstrang, aber eine komplexere Elektronik, die mehr Updates und Reparaturkosten erfordert. Dazu gehören die Ausbildung und spezielle Werkzeuge für die Garagisten sowie der aufgrund der Sicherheitsstandards reduzierte Platz in der Werkstatt. Zudem können bei der Beschädigung der Batterie hohe Kosten entstehen. Diese kann sogar zu einem Totalschaden führen, wenn sie strukturell mit der Fahrzeugkarosserie verbunden ist. Dies führt zu höheren Reparaturkosten bei BEV-Modellen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.

Als Reparaturkosten verstehen wir alle ungeplanten Werkstattarbeiten. Service- und Reifenkosten werden hier nicht betrachtet. Die Kosten für den Ersatz der Batterie sind Teil der Reparaturkosten, solange sie nicht von der Garantie gedeckt sind.

Reparaturkosten

Reparaturkosten schliessen alle ungeplanten Werkstattarbeiten, die der Besitzer bezahlen muss, ein. Das heisst, dass Reparaturkosten, die von der Garantie gedeckt sind, nicht berücksichtigt werden. Unfälle werden bei den Reparaturkosten nicht berücksichtigt.

Für die Reparaturkosten liegen keine Datengrundlagen vor. Die Hypothese wurde mittels der Umfrage bei Garagisten untersucht.

Antwort

Die These kann weder verifiziert noch falsifiziert werden.

In der Umfrage wurden zwei Fragen gestellt:

1. «Werden bei Elektroautos höhere Kosten (z.B. Pauschal Material, Stundensatz) verrechnet (z.B. um Kosten für Ausbildung und spezielle Werkzeuge zu decken)?».

60% haben mit «nein» geantwortet. 40% der Antwortenden schätzen die zusätzlichen Kosten bei BEV zwischen 10 bis 40%.

2. «Sind die Kosten (Arbeit inkl. Pauschalen, Verbrauchsmaterial, Ersatzteile) für Elektrofahrzeuge insgesamt teurer als bei ICE (z.B., weil die Ersatzteile teuer sind, oder weil die Batterie zusätzlich getestet werden muss, oder weil einzelne Batteriezellen ersetzt werden müssen)?»

Zwei Drittel haben mit «nein» geantwortet und ein Drittel mit «Ja».

Da die Reparaturkosten sehr von der Art des Defekts abhängen, sind die Kosten zufallsabhängig. Eine pauschale Aussage, dass die Reparaturkosten bei BEV teurer sind als bei ICEV, kann so nicht gemacht werden. Die Hypothese kann weder bestätigt noch widerlegt werden.

5.6 Hypothese 6 – Batteriekapazität und Restwert BEV

Beim Kauf eines gebrauchten Elektroautos stellt die Leistungsfähigkeit der Batterie und der Restwert des Autos ein Risiko dar.

Tesla Model S, BMW i3, Nissan Leaf oder Renault Zoe sind nur einige der Elektroauto-Modelle, die seit fast zehn Jahren auf dem Schweizer Markt zu finden sind. Der Kauf eines gebrauchten Elektroautos mit einem recht hohen Kilometerstand bringt besondere Risiken. Die Unsicherheiten betreffen vor allem die Leistungsfähigkeit der Akkus und die Entwicklung des Restwerts des Fahrzeugs.

Hier wird ein Fahrzeug betrachtet, das bereits 4 Jahre alt ist und schon 60'000 km gefahren ist. Wir nehmen an, dass das Auto weiterhin 4 Jahre und 60'000 km im Einsatz bleiben soll. Das spezifische Risiko beim Kauf eines gebrauchten BEV setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

- Performance der Batterie: Eine Verschlechterung der Performance liegt hier vor, wenn das Auto nach acht Jahren eine Reichweite von 80% im Vergleich mit der anfänglichen Reichweite nicht erreichen kann.
- Risiko bezüglich des Restwerts des Fahrzeugs.

Für die Beantwortung dieser Hypothese wird davon ausgegangen, dass der Besitzer ein normales und aufmerksames Ladeverhalten zeigt. Dies bedeutet, dass das Auto in der Schweiz gefahren wird (und nicht in extremen Klimazonen), schnellladen wird bei nicht mehr als 20% der Ladevorgänge angewendet und die Batterie bleibt an den meisten Tagen zwischen 20 und 80 Prozent geladen.

Batteriegarantie

Die heutige Standardgarantie der Batterie umfasst bis zu 160'000 km oder bis zu 8 Jahre Nutzungsdauer (je nachdem, was zuerst eintritt). Nach dieser Zeit muss die Batterie mindestens noch 70% der anfänglichen Batteriekapazität haben. Viele Hersteller und Modelle bieten aber eine längere Garantie an, so zum Beispiel: Tesla Model S und X 8 Jahre oder 240'000 km,

Mercedes-Benz EQS 10 Jahre oder 250'000 km, Lexus UX 300e 10 Jahre und 160'000 km.

Die Garantie umfasst damit mindestens bis 8 Jahre und 160'000 km. Es ist zudem davon auszugehen, dass die tatsächliche Dauer länger als die garantierte Dauer ist.

Batteriealterung

Eine Geotab Studie hat die Batteriealterung von über 6'300 Elektrofahrzeuge analysiert (Geotab, 2020). Die grosse Datenbank untersucht die Alterung der Batterien nicht aus einer theoretischen oder experimentellen Sicht, sondern mit realen Daten.

Dabei zeigt sich, dass die Alterung nicht perfekt linear ist: Geotab ermittelt einen anfänglich flachen Abfall, danach eine lineare Alterung und am Ende der Nutzungsdauer nochmals einen steilen Fall. Die Batteriekapazität sinkt um ca. 2.3% pro Jahr. Im Durchschnitt haben die Fahrzeuge nach 6 Jahren noch 87.9% der anfänglichen Batteriekapazität. Eine schematische Alterung der Batterien ist in Abbildung 10 gezeigt.

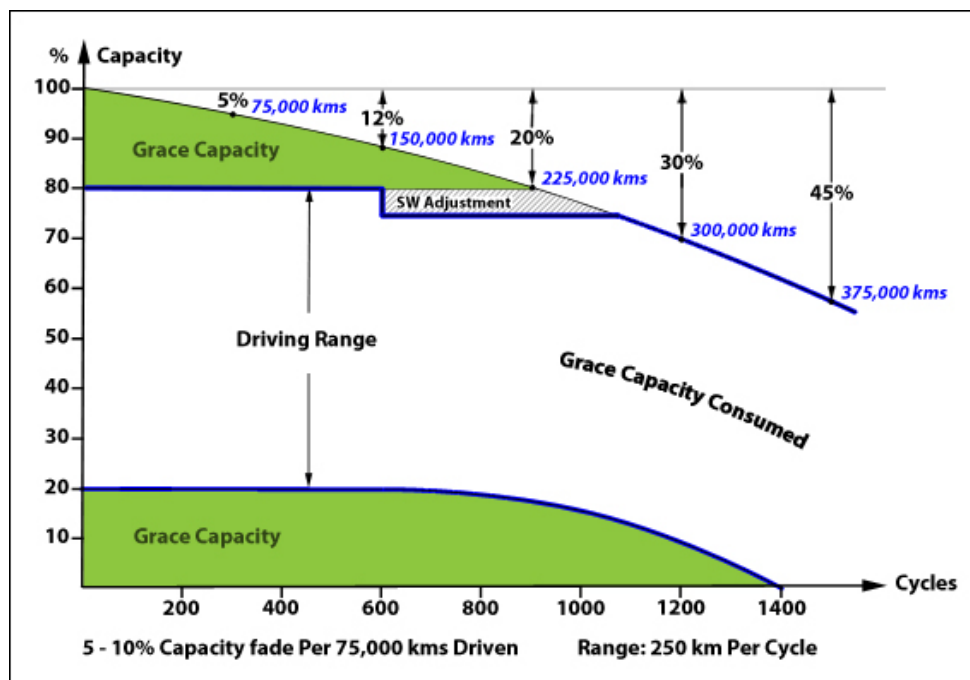


Abbildung 10: Batteriealterung (Quelle Battery University 2022).

Die Studie analysiert ebenfalls die Hauptfaktoren für die Alterung der Batterie. Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Die Kilometerleistung hat weniger Einfluss als das kalendarische Alter.
- Eine hohe Aussentemperatur und ein schlechtes Kühlungssystem beschleunigen die Alterung.
- Schnellladen, häufige Ladezustände über 80% oder unter 20%, sowie ein hoher Ladezustand in der Standzeit beschleunigen die Alterung. Dies wird auch von anderen Studien bestätigt (Battery University 2021) (Guo 2021) (Keil 2015) (SGS 2015).

Darüber hinaus zeigt die Recherche noch die folgenden Ergebnisse:

- Der TCS geht davon aus, dass die Batterien eine Lebensdauer von 300'000 bis 450'000 km haben (TCS 2022b).
- Tesla hat 2015 seine Batterien auf verschiedenen Fahrzeugen getestet. Nach 160'000 km war noch eine Batteriekapazität zwischen 80 und 85 % verfügbar.
- Die Batterien müssen, gemäss heutiger Schätzungen, erst nach 10 bis 20 Jahren ersetzt werden (EVBOX 2021). Bei einem sehr guten Ladeverhalten kann man die Verluste nach 15 Jahren auf 10% reduzieren (Battery University 2022) (Guo 2021).
- Die Firma «Reego» führt Batteriechecks für Tesla Modelle durch. Die Datenbank verfügt über 80 analysierte Fahrzeuge. Der tiefste Wert lag bei 84% der anfänglichen Batteriekapazität. Dieser Wert wurde bei einem Tesla Model S gelesen, das 7 Jahre alt war und eine Kilometerleistung von 200'000 km hatte. Fahrzeuge mit 120'000 km weisen eine Batteriekapazität zwischen 87 und 90% auf.

Alle zitierten Quellen bestätigen, dass ein Auto mit 8 Jahren und 120'000 gefahrenen Kilometer noch eine Batteriekapazität von mindestens 80% haben wird. Die meisten Batterien sind nach dieser Besitzdauer im Bereich von 82 bis 87%. Wenn die Nutz- und Ladeverhältnisse besonders gut sind, sogar über 90%.

Restwert

Der Restwert nach acht Jahren und 120'000 Kilometer ist in der Tabelle 6 dargestellt. Entsprechend der Datengrundlagen haben BEV nach acht Jahren Besitzdauer einen höheren Restwert als ICEV- oder PHEV (ausser im Segment Kleinwagen). Die Entwicklung des Restwerts für Kleinwagen und Mittelklasse ist in der Abbildung 2 ersichtlich. Auch hier erkennt man keine wesentlichen Unterschiede zwischen BEV- und ICEV. Weitere Quellen bestätigen ebenfalls, dass Elektroautos deutlich wertstabiler als Verbrenner sind (Autobild 2022) (AGVS 2021).

Fazit

Die These ist widerlegt.

Beim Kauf eines gebrauchten Elektroautos gibt es weder ein erhöhtes Risiko bezüglich des Restwerts noch das Risiko über die Batterie.

6. Fazit: Ergebnisübersicht TCO und geprüfte Thesen

Die BEV weisen in allen Segmenten niedrigere TCO als die ICEV auf. Zusätzliche Beschaffungskosten und Kosten für die Ladeinfrastruktur daheim werden durch niedrigere Energie- und Servicekosten überkompensiert. Bei PHEV gleichen sich gegenüber den ICEV die höheren Beschaffungskosten und die Kosten für die Ladeinfrastruktur daheim durch geringere Kosten für Energie und Service in etwa aus. Die TCO-Ergebnisse erweisen sich bei Sensitivitätsanalysen als sehr robust.

Die zu prüfenden Thesen werden wie folgt beantwortet:

«Elektroautos haben einen höheren Kaufpreis als Verbrennerautos, sind aber über die gesamte Besitzdauer gesehen günstiger.»

Diese These ist bestätigt.

Der Kaufpreis der BEV ist je nach Fahrzeugklasse bis zu 20% höher als bei ICEV. Wenn die Beschaffungskosten der Fahrzeuge inklusive des Restwerts und der Finanzierungskosten betrachtet werden, dann zeigt sich, dass BEV in der Mittel- und Oberklasse um ca. 5% niedriger sind als die von ICEV. Bei SUV und Kleinwagen hingegen sind BEV um 12% bzw. 27% teurer als ICEV. Hinsichtlich der gesamten TCO zeigt sich, dass diese bei BEV je nach Fahrzeugklasse zwischen 5 bis 18% niedriger als die von ICEV sind. Gründe dafür sind vor allem die tieferen Energie- und Servicekosten.

«Die Servicekosten bei Elektroautos sind bis zu 70% tiefer als bei Verbrennerautos.»

Die These ist teilweise bestätigt.

Die Servicekosten sind bei BEV zwar tiefer als bei ICEV. Dies aber nur zwischen 20 und 45% je nach Fahrzeugklasse. In den Segmenten Kleinwagen und Mittelklasse sind es rund 40% und in den Segmenten Oberklasse und SUV rund 20%. Diese Aussage ist durch die Eurotax Daten, den Daten von ARVAL und von der AGVS Umfrage bestätigt.

«Die Reifen für Elektroautos sind teurer als die für Verbrennerautos.»

Die These ist widerlegt.

Aufgrund folgender Überlegungen kann die These nicht generell bestätigt werden und ist deshalb widerlegt: Reifen werden bei BEV gemäss Umfrage AGVS nicht häufiger als bei ICEV gewechselt. Demnach ist die Laufleistung der Reifen bzw. der Verschleiss kein Argument für höhere BEV-Reifenkosten. Zwar sind aktuell die Preise für Reifen, die auf E-Fahrzeuge optimiert sind, deutlich höher als die Preise für Normalreifen. Da Elektrofahrzeuge aber nicht generell spezielle Reifen benötigen, besteht hier auch seitens Käufer die Möglichkeit auf Normalreifen auszuweichen.

«Die Servicekosten von Plug-in Hybrid Autos sind höher als bei Elektroautos»

Die Hypothese ist bestätigt.

PHEV sind Elektrofahrzeuge mit zusätzlichen Komponenten. Die Servicekosten von PHEV sind dementsprechend auch höher als die von BEV und auch höher als ICEV. Mittelklasse-PHEV sind im Service fast doppelt so teuer wie Mittelklasse-BEV. In der Oberklasse und bei SUV beträgt der Unterschied rund 30 bzw. 35%.

«Die Reparaturkosten sind bei BEVs teurer.»

Die These kann weder verifiziert noch falsifiziert werden.

Reparaturkosten schliessen alle ungeplanten Werkstattarbeiten, die der Besitzer bezahlen muss, ein. Das heisst, dass Reparaturkosten, die von der Garantie gedeckt sind, nicht berücksichtigt werden. Unfälle werden bei den Reparaturkosten nicht berücksichtigt. Da die Reparaturkosten sehr von der Art des Defekts abhängen, sind die Kosten zufallsabhängig. Eine pauschale Aussage, dass die Reparaturkosten bei BEV teurer sind als bei ICEV, kann so nicht gemacht werden

«Beim Kauf eines gebrauchten Elektroautos stellt die Leistungsfähigkeit der Batterie und der Restwert des Autos ein Risiko dar.»

Die These ist widerlegt

Risiken können in Bezug auf den Restwert des Fahrzeugs und der Alterung der Batterie gesehen werden. Die Analysen zeigen, dass BEV bezüglich des Restwerts sehr stabil sind. Ausserdem stellt die Alterung der Batterie bei normalen Ladeverhalten kein besonderes Risiko dar. Die Garantie deckt auch die Alterung der Batterie in der Regel bis 8 Jahre und 160'000 Kilometer. So können Risiken grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden, werden aber in der Regel als vergleichbar gering eingestuft.

A1 Literaturverzeichnis

Abrahamczyk (2022): So teuer sind Reifen fürs E-Auto, [Tiefschlag für Stromer-Fahrer: So teuer sind Reifen fürs Elektroauto \(t-online.de\)](#), 19.05.22, basierend auf Wutzer, Armin (2022): Elektro ist teuer, in Automobilwoche, 18.05.22. [Reifen für Elektroautos sind deutlich teurer als herkömmliche Reifen | Automobilwoche.de](#)

AGVS (2021): Auto Gewerbe Verband Schweiz. [Experten sagen, wie sich die Restwerte entwickeln](#). 2021.

Avenergy (2022): <https://www.avenergy.ch/de/preise-statistiken/preise>

Autoschweiz (2021): <https://www.auto.swiss/#statistics>

Autobild (2022): [Diese E-Autos sind die neuen Restwert-Könige](#).

Battery University (2022): [Battery University, Battery Aging in an Electric vehicle](#), 2022.

BFS (2015): Bundesamt für Statistik. *Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015*.

BFS (2019): <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/leistungen.html>

Comparis (2013): <https://www.comparis.ch/comparis/press/medienmitteilungen/artikel/2013/carfinder/autokauf/auto-verhandeln-beim-kauf>

Comparis (2016): <https://www.comparis.ch/comparis/press/medienmitteilungen/artikel/2016/auto/av-ranking-kantone/kantonales-av-ranking>

Comparis (2022): <https://www.comparis.ch/autoversicherung/berechnen>

Geotab (2020): Geotab, [What can 6'000 electric vehicles tell us about EV battery health](#), 2020.

EBP (2022): EBP, [Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022](#)

EICom (2022): Eidgenössische Elektrizitätskommission

EU (2017): EU-Kommission. [Verordnung 2017/1151](#). 2017

Eurotax (2022): Car Cost Expertool (unveröffentlicht, lizenzierter Datengriff für die EBP Schweiz AG)

EVBOX (2021): [How long do electric car batteries last?](#)

Globalpetrolprices (2022): Benzinpreise Schweiz, [Schweiz Benzinpreise, 24-Oktober-2022 | GlobalPetrolPrices.com](#), abgerufen am 28.10.22

Guo (2021): Jia Guo et al. [Lithium-Ion Battery Operation, Degradation, and Aging Mechanism in Electric Vehicles: An Overview](#). 2021

Helion (2022): <https://em.offerten-rechner.ch/partnerselection>

Keil (2015): Peter Keil, Andreas Jossen. [Aging of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Impact of Regenerative Braking.](#) 2015

ICCT (2020): [International Council on Clean Transportation. Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles.](#) 2020

SGS (2015): SGS Group, [Alter reduziert Reichweite: Wie lange lebt die Batterie im Elektrofahrzeug?](#). 2015.

SIA 2060 (2020): Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden*

TCS (2022): TCS, Kilometerkosten 2022, Ittigen, 10.01.22

TCS (2022b): TCS, [Wie lange halten Batterien von Elektroautos, und was geschieht mit ihnen danach?](#) 2022.

Transport and Environment (2017). Well to wheel efficiency comparison, 2017-

UN (2014): United Nations. [Addendum 15: Global technical regulation No. 15: Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure.](#) 2014

A2 Befragung Garagisten

Die Resultate für die gezielte Befragung der Garagisten sind in der Tabelle 27 zusammengefasst. Die Umfrage wurde in Zusammenarbeit mit AGVS durchgeführt. Es wurden 21 Garagisten angefragt und 9 haben beantwortet.

Kategorie	Frage	Resultate
Servicekosten	Stimmt der Unterschied bei Kleinwagen und Mittelklassefahrzeugen mit Ihren Erfahrungen für private Fahrzeughalter überein (BEV rund 40% günstiger)?	78% Ja 22 % Nein
	Wenn nein, was ist Ihr Erfahrungswert für den Unterschied bei den Servicekosten zwischen ICE und BEV (Kleinwagen und Mittelklasse)?	Range 45 bis 60 % günstiger
	Stimmt der Unterschied bei Oberklasse und SUV für private Fahrzeughalter mit Ihren Erfahrungen überein (Servicekosten sind 20% günstiger bei BEV als bei ICE)?	57% Ja 43 % Nein
	Wenn nein, Was ist Ihr Erfahrungswert für den Unterschied bei den Servicekosten zwischen ICE und BEV (Oberklasse und SUV)?	Range 30 bis 45 % günstiger
Reifenkosten	Nach wie vielen Kilometern werden, bei privaten Fahrzeughaltern, die Reifen im Durchschnitt gewechselt, für Benzin-/Dieselfahrzeuge?	Mittelwert 27'000 km. Range 19'000 km bis 35'000 km.
	Nach wie vielen Kilometern werden, bei privaten Fahrzeughaltern, die Reifen im Durchschnitt gewechselt, für rein batterieelektrische Fahrzeuge?	Mittelwert 25'000 km. Range 18'000 km bis 40'000 km.
Reparaturkosten	Werden bei Elektroautos höhere Kosten (z.B. Pauschal Material, Stundensatz) verrechnet (z.B. um Kosten für Ausbildung und spezielle Werkzeuge zu decken)?	Nein: 60% Kosten für BEV sind 10 bis 20% teurer: 20% Kosten für Bev sind 20 bis 40 teurer: 20%
	Sind die Kosten (Arbeit inkl. Pauschalen + Verbrauchsmaterial + Ersatzteile) für Elektrofahrzeuge insgesamt teurer als bei ICE (z.B., weil die Ersatzteile teuer sind, oder weil die Batterie zusätzlich getestet werden muss, oder weil einzelne Batteriezellen ersetzt werden müssen)?	Ja: 33% Nein: 66%

Tabelle 27: Resultate der gezielten Befragung an Garagisten

A3 Ergebnisse je Fahrzeugmodell

Die Ergebnisse je Fahrzeugmodell sind in der Tabelle 28 (Kleinwagen), Tabelle 29 (Mittelklasse), Tabelle 30 (Oberklasse) und Tabelle 31 (SUV) gegeben. Die vollständigen Namen der Fahrzeugmodelle sind in Tabelle 2 gegeben. Die Kostenarten sind im Kapitel 3 ausführlich beschrieben. Alle Werte sind in CHF.

Kleinwagen							
ICE	Modell	Opel Corsa	VW Polo	Fiat 500	Renault Clio	Peugeot 208	Mittelwert
	Beschaffung	27'982	21'805	20'604	18'648	23'926	22'593
	Energie	12'240	13'920	14'400	13'680	15'360	13'920
	Service	7'006	6'317	5'150	7'142	6'049	6'333
	Reifen	2'998	2'326	2'430	2'998	2'998	2'750
	Weitere Kosten	7'194	6'970	6'295	6'599	6'886	6'789
	Total	57'421	51'337	48'878	49'068	55'219	52'385
BEV	Modell	Opel Corsa-e	VE e-up	Fiat 500e	Renault Zoe	Peugeot e-208	Mittelwert
	Beschaffung	32'025	24'922	24'245	30'825	31'325	28'668
	Energie	4'388	4'526	3'836	4'664	4'416	4'366
	Service	4'190	3'929	3'912	5'257	3'464	4'150
	Reifen	2'326	2'068	2'326	2'998	2'998	2'543
	Weitere Kosten	10'355	9'548	9'582	10'026	9'924	9'887
	Total	53'286	44'993	43'901	53'772	52'127	49'616

Tabelle 28: Ergebnisse je Fahrzeugmodell im Segment Kleinwagen. Alle Werte in CHF.

Mittelklasse							
ICE	Modell	Skoda Octavia	Alfa Giulia	VW Golf	Renault Megane	MB A-Klasse	Mittelwert
	Beschaffung	30'740	48'559	37'125	29'573	42'373	37'674
	Energie	11'280	19'440	14'160	15'120	18'720	15'744
	Service	5'904	6'551	6'261	6'688	7'139	6'509
	Reifen	2'326	5'687	2'507	3'360	3'283	3'433
	Weitere Kosten	8'834	10'101	8'950	8'634	9'918	9'288
	Total	59'085	90'338	69'002	63'376	81'433	72'647
BEV	Modell	Citroen C4	Polestar 2	VW ID.3	Tesla Model 3	Renault Megane E-Tech	Mittelwert
	Beschaffung	30'602	41'222	35'711	35'952	34'361	35'569
	Energie	4'582	4'720	5'354	3'919	4'775	4'670
	Service	3'719	3'303	4'417	3'770	2'088	3'459
	Reifen	2'921	4'601	3'205	4'308	3'421	3'691
	Weitere Kosten	11'762	12'706	12'102	12'383	12'288	12'248
	Total	53'585	66'551	60'788	60'332	56'932	59'638
PHEV	Modell	Toyota Prius	DS 4	VW Golf	Renault Megane E-Tech	MB A-Klasse	Mittelwert
	Beschaffung	42'818	43'041	41'901	39'481	46'008	42'650
	Energie	6'046	8'173	6'725	8'309	8'430	7'536
	Service	6'460	5'832	9'127	7'276	7'066	7'152
	Reifen	2'817	2'869	2'326	2'326	3'283	2'724
	Weiter Kosten	12'271	11'781	12'094	11'704	12'325	12'035
	Total	70'412	71'696	72'172	69'096	77'111	72'098

Tabelle 29: Ergebnisse je Fahrzeugmodell im Segment Mittelklasse. Alle Werte in CHF.

Oberklasse					
ICE	Modell	MB S-Klasse	BMW 5er	Volvo S90	Mittelwert
	Beschaffung	109'961	64'197	86'157	86'771
	Energie	22'080	15'840	18'720	18'880
	Service	10'820	8'938	6'075	8'611
	Reifen	5'170	3'489	4'213	4'291
	Weitere Kosten	14'628	12'642	12'915	13'395
	Total	162'657	105'105	128'080	131'948
BEV	Modell	MB EQS	BMW I4	Tesla S	Mittelwert
	Beschaffung	109'947	55'324	85'013	83'428
	Energie	5'851	4'444	5'520	5'272
	Service	7'860	6'449	6'462	6'924
	Reifen	3'826	3'489	4'308	3'874
	Weitere Kosten	16'874	14'998	15'688	15'853
	Total	144'358	84'704	116'991	115'351
PHEV	Modell	MB S-Klasse	BME 5er	Volvo S90	Mittelwert
	Beschaffung	119'458	80'788	92'000	97'415
	Energie	9'824	8'587	6'400	8'270
	Service	10'842	10'193	5'867	8'967
	Reifen	5'170	3'489	4'213	4'291
	Weiter Kosten	18'378	16'073	15'808	16'753
	Total	163'672	119'130	124'287	135'697

Tabelle 30: Ergebnisse je Fahrzeugmodell im Segment Oberklasse. Alle Werte in CHF.

SUV								
ICE	Modell	Ford Kuga	Audi Q5	Audi Q3	BMW X3	VW Tiguan	Skoda Kodiaq	Mittelwert
	Beschaffung	32'754	53'776	47'157	55'202	38'291	39'474	44'442
	Energie	19'757	20'400	20'640	13'920	20'160	14'640	18'253
	Service	5'815	7'902	7'735	8'828	7'426	6'700	7'401
	Reifen	3'283	2'792	2'869	3'774	3'283	2'869	3'145
	Weitere Kosten	12'026	10'219	10'001	10'433	9'551	9'582	10'302
	Total	73'635	95'089	88'402	92'156	78'712	73'265	83'543
BEV	Modell	KIA EV6	Audi Q4	Audi Q4	BMW Ix3	VE ID.4	Skoda Enyaq	Mittelwert
	Beschaffung	40'512	50'790	65'964	46'644	42'693	50'790	49'566
	Energie	4'582	6'403	5'106	4'692	6'403	6'403	5'598
	Service	4'779	5'851	7'054	4'800	4'735	5'851	5'512
	Reifen	3'826	4'097	4'213	4'097	4'097	4'097	4'071
	Weitere Kosten	12'509	12'897	13'386	12'303	12'342	12'897	12'722
	Total	66'207	80'038	95'724	72'537	70'269	80'038	77'469
PHEV	Modell	Ford Kuga	Audi Q5	Audi Q3	BMW X3	VW Tiguan	Peugeot 3008	Mittelwert
	Beschaffung	35'894	59'385	45'207	60'600	44'519	46'787	48'732
	Energie	7'997	9'959	9'271	10'016	13'037	8'485	9'794
	Service	5'815	7'871	7'614	9'228	8'301	6'181	7'501
	Reifen	3'283	2'792	3'283	3'774	2'869	3'386	3'231
	Weiter Kosten	12'312	13'241	12'207	13'086	12'099	12'302	12'541
	Total	65'300	93'247	77'582	96'704	80'825	77'141	81'800

Tabelle 31: Ergebnisse je Fahrzeugmodell im Segment SUV. Alle Werte in CHF.

A4 Sensitivitätsanalysen

A4.1 Übersicht

Für die Berechnung der TCO wurden viele Annahmen getroffen. Es stellt sich die Frage, wie stark die Resultate von den Annahmen abhängig sind. Um die Frage zu beantworten, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Die Sensitivitätsanalysen sind in 5 Kategorien unterteilt. Die Tabelle 32 gibt eine Übersicht über die Analysen und die jeweilige Variation der Parameter. Alle anderen Parameter wurden jeweils wie in der Hauptrechnung unterstellt.

Kategorie	Variation	Sensitivität	Hauptrechnung
Energiekosten	Tieferer Treibstoffpreis	1.70 CHF/Liter	2.00 CHF/Liter
	Höherer Energiepreis	0.30 CHF/kWh	0.23 CHF/kWh
	Tieferer Treibstoffpreis und höherer Strompreis	1.70 CHF/Liter 0.30 CHF/kWh	2.00 CHF/Liter 0.23 CHF/kWh
Elektroanteil PHEV	Elektrischer Fahranteil bei PHEV	Halb so gross wie WLTP	Gemäss WLTP
Kaufpreis	Kaufpreis BEV Mittelklasse	Kaufpreis +15% gegenüber Eurotax	Gemäss Eurotax
Benutzung	Tiefere jährliche Fahrleistung	10'000 km	15'000 km
	Kürzere Besitzdauer	6 Jahre	8 Jahre
	Tiefere jährliche Fahrleistung und kürzere Besitzdauer	10'000 km und 6 Jahre	15'000 km und 8 Jahre
Reifenkosten	Teurer Reifen bei BEV	BEV Reifenkosten 20% teurer.	Keine Differenzierung Korrektur nach Antriebstechnologie

Tabelle 32: Übersicht Sensitivitätsanalysen

A4.2 Energiekosten

Für diese Sensitivitätsanalyse wurden die Energiekosten variiert. Einerseits wurde einen tieferen Treibstoffpreis angenommen und andererseits wurde mit einem teureren Strompreis gerechnet. Zudem wurden die Annahmen kombiniert. Nachfolgend sind die relativen Veränderungen der TCO gegenüber den ICEV dargestellt.

Ergebnisse Treibstoffpreis 1.70 CHF/Liter

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.99	0.85	0.89	0.96
PHEV	—	1.02	1.05	1.00

Ergebnisse Strompreis 0.30 CHF/kWh

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.97	0.84	0.89	0.95
PHEV	—	1.01	1.04	1.00

Ergebnisse Treibstoffpreis 1.70 CHF/Liter und Strompreis 0.30 CHF/kWh

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.01	0.87	0.91	0.98
PHEV	—	1.04	1.06	1.02

Fazit

Die Abbildung 11 zeigt die Variationsmargen gegenüber der Hauptrechnung.

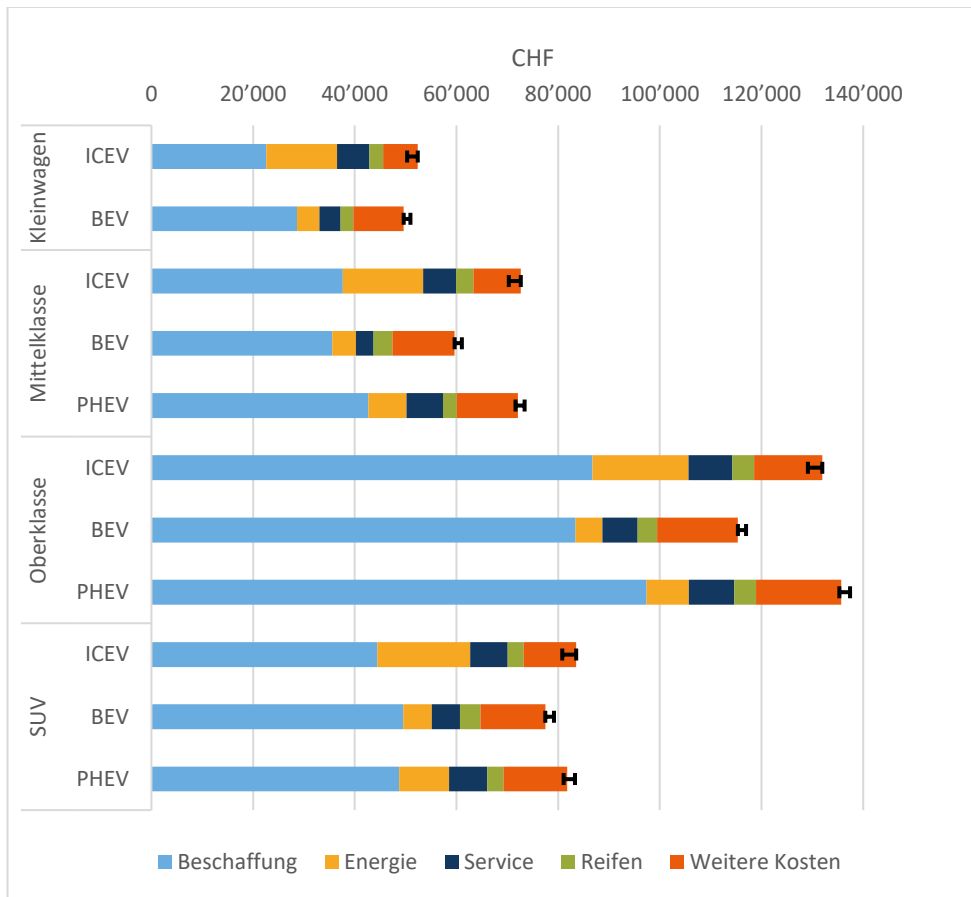


Abbildung 11: Total Cost of Ownership mit Sensitivität Energiepreise.

Die Annahmen haben einen geringen Einfluss auf die gesamten TCO. Werden nur der Treibstoffpreis ODER der Strompreis variiert, haben die BEV geringere Kosten als die ICEV. Bei tieferem Treibstoffpreis UND höheren Strompreis sind bei Mittelklasse, Oberklasse und SUV die BEV die TCO von BEV weiterhin niedriger als von SUV. Lediglich bei Kleinwagen haben BEV die gleichen Kosten wie die ICEV.

A4.3 Elektrischer Fahranteil PHEV

Wie im Kapitel 3.3.3 erwähnt, haben neue internationale Studien gezeigt, dass der reale elektrische Fahranteil von PHEV nur halb so gross wie der elektrische Fahranteil laut WLTP Testzyklus (ICCT 2020). Der reale elektrische Fahranteil ist halb so gross. Für diese Sensitivitätsanalyse wurde der Treibstoffverbrauch und Stromverbrauch von PHEV Fahrzeuge so korrigiert, dass der elektrische Fahranteil nur die Hälfte von elektrischen Fahranteil gemäss WLTP entspricht.

Die nachfolgende Tabelle und die Abbildung 12 zeigen die Ergebnisse gegenüber der Hauptrechnung.

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.95	0.82	0.87	0.93
PHEV	—	1.05	1.07	1.04

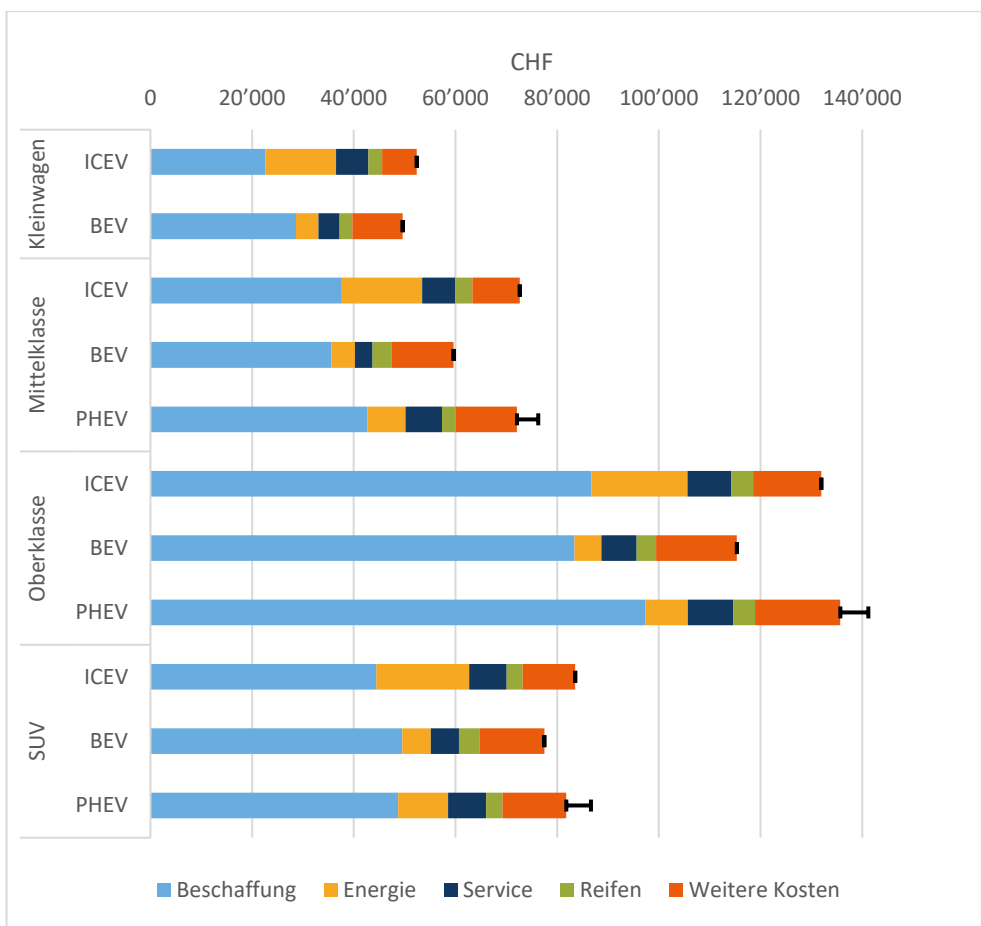


Abbildung 12: Total Cost of Ownership mit Sensitivität elektrischer Fahranteil bei PHEV.

Fazit ist, dass die TCO von PHEV dann leicht höher als die von ICEV sind.

A4.4 Kaufpreis BEV Mittelklasse

Der Kaufpreis von BEV-Fahrzeugen ist bei Kleinwagen um 21%, in der Oberklasse um 7% und bei SUV um 14% teurer als der von ICEV. Nur in der Mittelklasse ist der Preis für BEV niedriger (0.3% weniger). Für diese Sensitivitätsanalyse wurde der Kaufpreis für alle Mittelklasse BEV um 15.3% erhöht, damit der durchschnittliche Mittelklasse BEV Kaufpreis 15% höher als der von ICEV ist.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sensitivität. Abbildung 13 zeigt die Spannweite der Ergebnisse bei BEV gegenüber der Hauptrechnung.

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.95	0.90	0.87	0.93
PHEV	—	0.99	1.03	0.98

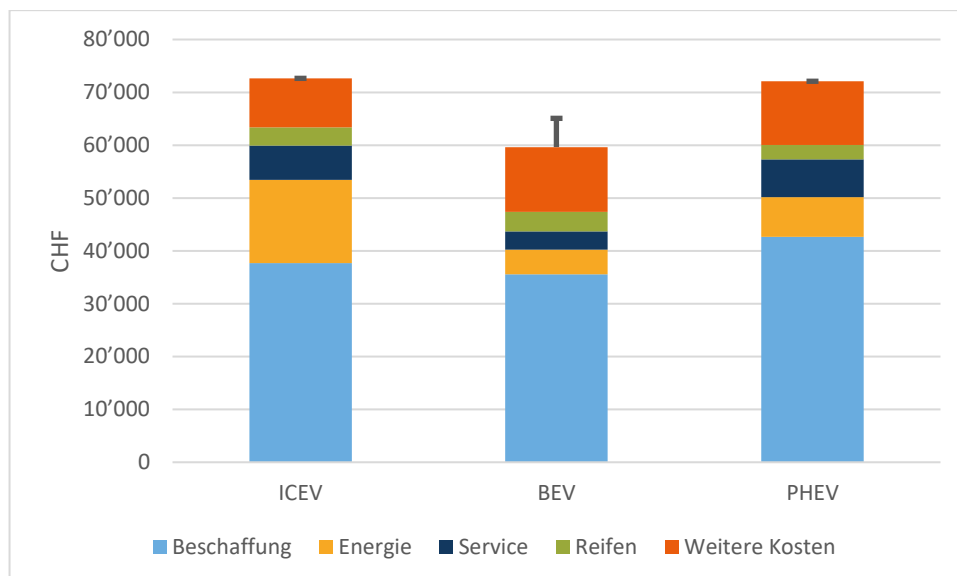


Abbildung 13: Total Cost of Ownership Mittelklasse Fahrzeuge mit Sensitivität Kaufpreis 15% höher bei BEV.

Fazit: Die TCO der BEV bleiben geringer als die der ICEV.

A4.5 Besitzdauer und jährliche Fahrleistung

Für die Hauptrechnung wurde eine jährliche Fahrleistung von 15'000 km und eine Besitzdauer von 8 Jahren (insgesamt 120'000 km) angenommen. Für diese Sensitivitätsanalyse wurden 3 neue Fälle berechnet: Fahrleistung 10'000 km und Besitzdauer 8 Jahre (insgesamt 80'000 km), Fahrleistung 15'000 km und Besitzdauer 6 Jahre (insgesamt 90'000 km) und Fahrleistung 10'000 km und Besitzdauer 6 Jahre (insgesamt 60'000 km).

Ergebnisse jährliche Fahrleistung 10'000 km

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.00	0.84	0.90	0.94
PHEV	—	1.04	1.08	1.02

Ergebnisse Besitzdauer 6 Jahre

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.98	0.81	0.88	0.91
PHEV	—	1.02	1.07	1.01

Ergebnisse jährliche Fahrleistung 10'000 km und Besitzdauer 6 Jahre

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.04	0.85	0.91	0.95
PHEV	—	1.06	1.09	1.04

Fazit

Die Abbildung 14 zeigt die Variationsmargen gegenüber der Hauptrechnung.

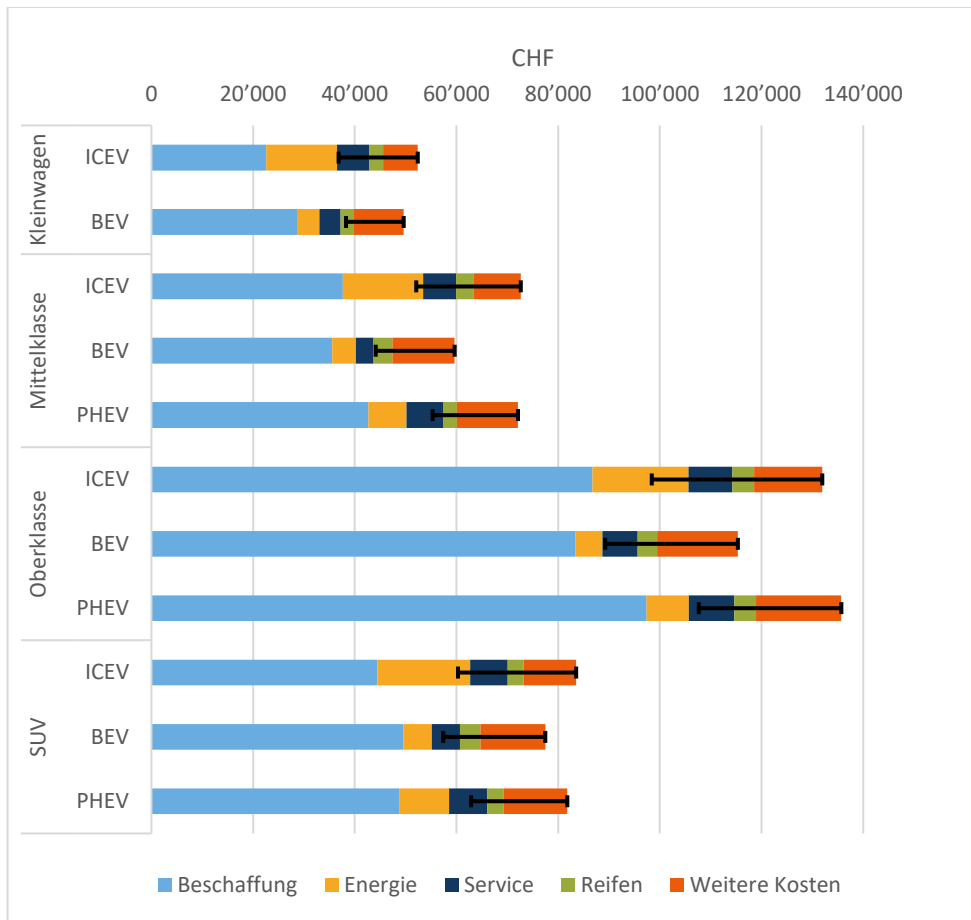


Abbildung 14: Total Cost of Ownership mit Sensitivität Besitzdauer und Fahrleistung.

Für Mittelklasse, Oberklasse und SUV weisen BEV in allen Fällen tiefere oder gleich hohe TCO wie ICEV auf. Lediglich in der Kategorie Kleinwagen sind die TCO von BEV Fahrzeugen um 4% höher als die von ICEV, wenn die Jahresfahrleistung 10'000 statt 15'000 Kilometer und gleichzeitig die Besitzdauer nur 6 statt 8 Jahre betragen. Die Sensibilität der TCO bezüglich Besitzdauer und Fahrleistungen ist bei ICEV stärker als bei BEV.

A4.6 Reifenkosten

Die Eurotax Daten zeigen keine wesentlichen Unterschiede bei den Reifenkosten zwischen ICEV und BEV. Jedoch zeigen die ARVAL Daten, dass bei BEV die Reifenkosten 20% höher als bei ICEV sind.

Im Kapitel 3.5 wurde erläutert, dass wir die Reifenkosten aus Eurotax für alle Fahrzeuge verdoppelt haben und auf eine zusätzliche Korrektur für BEV verzichtet haben.

In diesem Exkurs zeigen wir, wie die Reifenkosten und die TCO sich ändern, wenn wir eine zusätzliche Korrektur der Reifenkosten bei BEV machen. Die BEV Reifenkosten werden zusätzlich um 20% erhöht.

Die Reifenkosten sind in der Tabelle 33 und in der Tabelle 34 gezeigt.

Reifen	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	2'750	3'433	4'291	3'145
BEV	3'052	4'429	4'649	4'885
PHEV	—	2'724	4'291	3'231

Tabelle 33: Reifenkosten in CHF.

Reifen	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICEV	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	1.11	1.29	1.08	1.55
PHEV	-	0.79	1.00	1.03

Tabelle 34: Reifenkosten relativ zu ICEV.

Mit dieser zusätzlichen Korrektur sind die Reifenkosten für BEV in allen Fahrzeugsegmente teurer als ICEV und PHEV. Die Differenz zwischen BEV und ICEV liegt zwischen 8 und 55%.

Die TCO für die Sensitivität sind in der Tabelle 35 und der Tabelle 36 dargestellt. Die Reifenkosten stellen nur 3 bis 5% der gesamte TCO dar. Die zusätzliche Korrektur erhöht die TCO der BEV leicht, aber sie bringt keine wesentliche Änderung bei den TCO Verhältnissen. Auch mit den höheren Reifenkosten sind die TCO bei BEV tiefer als die von ICEV- und PHEV in allen Fahrzeugsegmenten.

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	52'385	72'647	131'948	83'543
BEV	50'124	60'376	116'126	78'283
PHEV	—	72'098	135'697	81'800

Tabelle 35: Total Cost of Ownership in CHF – Sensitivität Reifenkosten BEV +20%.

TCO gesamt	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse	SUV
ICE	1.00	1.00	1.00	1.00
BEV	0.96	0.83	0.88	0.94
PHEV	—	0.99	1.03	0.98

Tabelle 36: Total Cost of Ownership relativ zu ICEV - Sensitivität Reifenkosten BEV +20%.

Fazit: Keine wesentlichen Änderungen der TCO relativ zu ICEV.

Die Abbildung 15 zeigt die Variationsmargen gegenüber der Hauptrechnung.

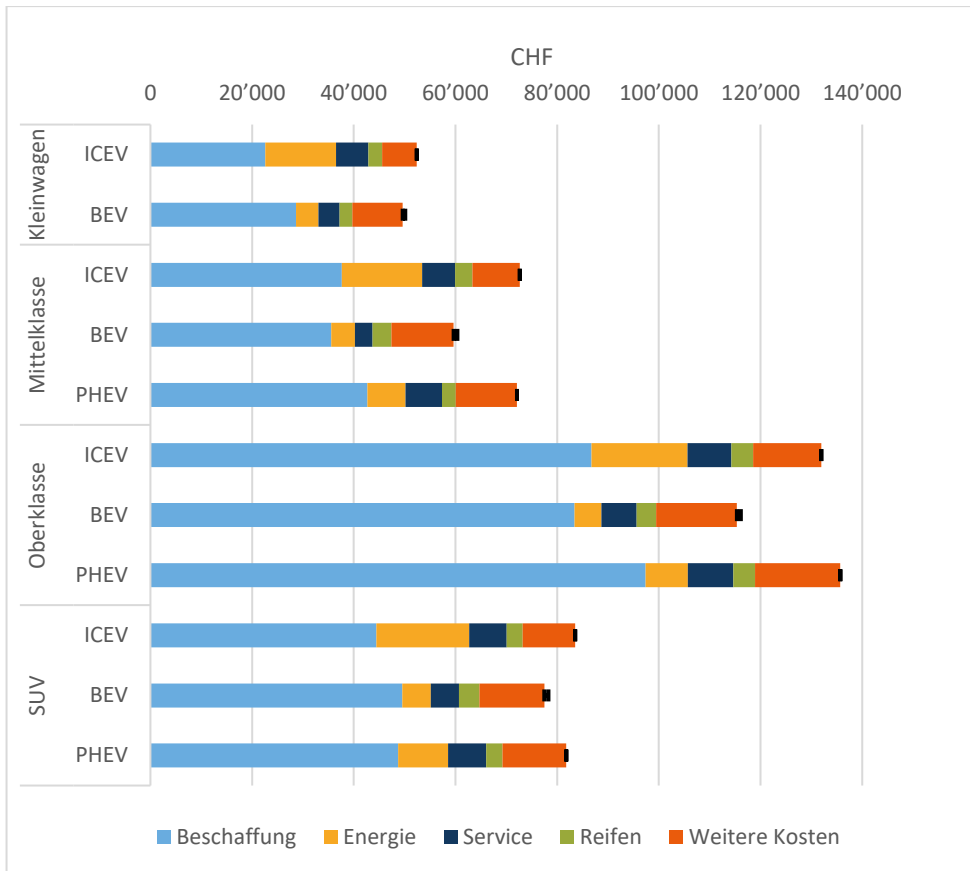


Abbildung 15: Total Cost of Ownership mit Reifenkosten.