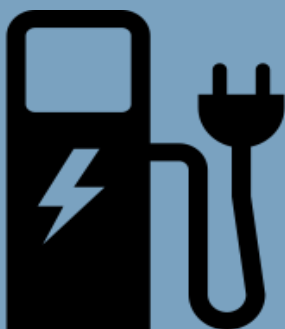
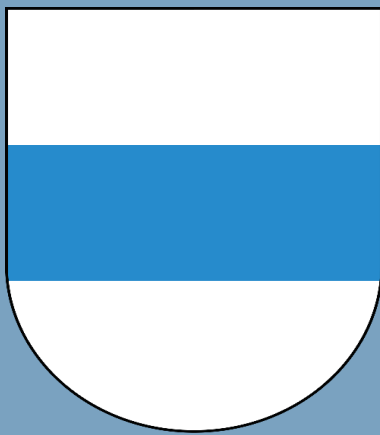


Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz und im Kanton Zug bis 2040 – Update 2021

Kurzbericht
29. März 2021



Elektrofahrzeuge (auch Steckerfahrzeuge genannt) sind:

- BEV Battery Electric Vehicles sind reine Elektrofahrzeuge mit extern aufladbarer Batterie, ohne internen Energieumwandler wie Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle.
- PHEV Plug-in-Hybrid Electric Vehicles haben immer eine extern aufladbare Batterie und können rein elektrisch fahren, typischerweise 20 bis 80 km. Bei «parallelen PHEV» treibt ein Verbrennungsmotor direkt die Antriebsachse an. Bei «seriellen PHEV» treibt nur der Elektromotor die Räder an, ein kleiner, auf die Stromerzeugung optimierter Verbrennungsmotor mit Generator (oder eine Brennstoffzelle) kann zugeschaltet werden, um die Batterie des Elektromotors wieder aufzuladen.
REEV (Range Extended Electric Vehicles) sind serielle Plug-in-Hybride.
- FCEV Fuel Cell Electric Vehicles sind Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge, die aus dem Energieträger Wasserstoff (H₂) in einer Brennstoffzelle Strom für ihren Elektroantrieb erzeugen. Aus Sicht der Fahrzeugtechnologie sind FCEV und PHEV sehr ähnlich. Kann die Batterie auch extern aufgeladen werden, ist das FCEV auch ein PHEV. FCEV brauchen immer eine separate H₂-Tankstelleninfrastruktur. H₂ lässt sich auf verschiedene Wege herstellen – ein FCEV ist dann ein «Elektroauto», wenn H₂ über Elektrolyse aus Strom erzeugt wird (und nicht aus Erdgas).

Keine Elektrofahrzeuge sind:

- HEV Hybrid Electric Vehicles (Hybridfahrzeuge). Wie PHEV verfügen HEV zwar über eine Batterie, welche aber nur als temporärer Energiespeicher verwendet wird und (aus Kosten- und Gewichtsgründen) möglichst klein gehalten wird. Die Batterie lässt sich nicht extern aufladen (nur über den Verbrennungsmotor oder durch die Rückgewinnung von Bremsenergie), d.h. das Fahrzeug fährt ausschliesslich mit Benzin.
- H₂ICE Wird Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor (ICE Internal Combustion Engine) direkt verbrannt, ist es ein Verbrennerauto. Für die Gesamtsicht entscheidend ist, ob das aus erneuerbaren Primärenergien H₂ erzeugt wurde.

Die vorliegenden «Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz und im Kanton Zug bis 2040 – Update 2021» sind eine um spezifische kantonale Aspekte erweiterte Fassung der öffentlichen und unentgeltlichen «Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2021» (EBP, 2021a).

Die Kapitel 1 bis 11 sind gegenüber der öffentlichen Version für die Schweiz unverändert. Im erweiterten Kapitel 12 werden die Parameter und Ergebnisse für den Kanton Zug vorgestellt.

Projektteam

Peter de Haan, Silvan Rosser,
Hendrik Clausdeinken, Felix Ribi, Levin Koller

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

Druck: 8. März 2021
2021-03-29_EBP_EmobSzen_PKW_2021_Kt_ZG.docx

Inhaltsverzeichnis

1.	Marktanteil der Elektro-Personenwagen 2020	4
2.	Sind Plug-in-Hybride eine Übergangstechnologie?	5
3.	Rolle von Wasserstoff bei der Personenwagen	6
4.	Gesamt-Umweltbelastung von Personenwagen	7
5.	Wann sind Plug-in-Hybride nachhaltig?	8
6.	Drei Szenarien zur Elektromobilität in der Schweiz	9
7.	Bottom-up-Modellierung der Elektromobilität	12
8.	Ladebedürfnisse und Ladestationstypen	13
9.	Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz	15
10.	Bedarfsentwicklung Wasserstoff	16
11.	Energienachfrage nach flüssigen Treibstoffen	17
12.	Resultate der 2021er Szenarien für den Kanton Zug	18

1. Marktanteil der Elektro-Personenwagen 2020

Elektrofahrzeuge (Summe von BEV, PHEV und FCEV) waren Ende 2020 bereits für knapp 2% der gesamtschweizerischen Fahrleistung aller Personenwagen verantwortlich. Ende 2019 lag der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung noch bei 1%.

Der Marktanteil der reinen batterieelektrischen Autos (BEV) am Neuwagenmarkt hat sich 2020 gegenüber 2019 wie bereits im Vorjahr verdoppelt auf aktuell über 8%. Im Jahr 2020 legten auch die Plug-in-Hybride (PHEV) kräftig zu und kommen auf einen Anteil am Neuwagenmarkt von knapp 6% (gegenüber 1% im Vorjahr). Im Jahr 2020 wurden in der Schweiz lediglich ein paar dutzend Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) neu zugelassen. Ihr Marktanteil hat sich gegenüber dem Vorjahr zwar verdoppelt, er bleibt aber mit 0.02% noch unbedeutend.

Die weitere Zunahme des Marktanteils der Elektrofahrzeuge in den nächsten Jahren hängt ab von der Verbreiterung des Modellangebots, vom weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur namentlich bei gemieteten Parkplätzen, und von der Politik. Die Verschärfung der Emissionsvorschriften für Neuwagen haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Marktanteil elektrischer Antriebe. Um sich trotz dieser Unsicherheiten orientieren zu können, stellt EBP mit dem Update 2021 erneut drei Szenarien zur künftigen Entwicklung der Elektromobilität in der Schweiz zur Verfügung → mehr dazu im Kapitel 6.

Die Schweiz befindet sich bei der Elektromobilität im europäischen Mittelfeld, deutlich hinter den Spitzenreitern Norwegen, Island, Schweden und Niederlande. Gegenüber dem Vorjahr hat die Elektromobilität in ganz Europa deutlich Marktanteile gewonnen. Zu den Aufsteigern des Jahres gehören Dänemark und Finnland. Sie lagen im letzten Jahr bezüglich Marktanteile noch hinter der Schweiz. 2020 stieg der Elektroanteil in diesen Ländern auf 16, respektive 18% (siehe Abbildung 1). In Norwegen waren 2020 bereits drei von vier neuzugelassenen Personenwagen elektrisch.

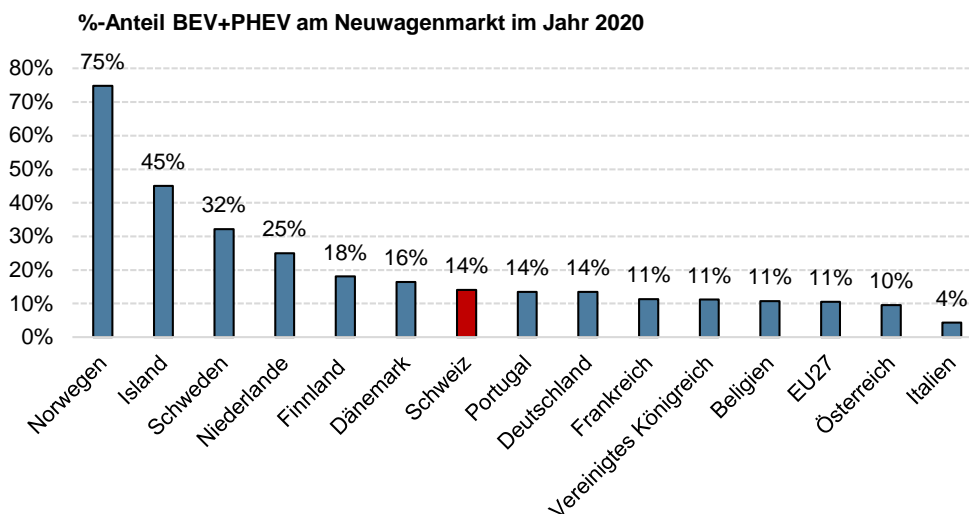


Abbildung 1. Marktanteil der Steckerfahrzeuge am Neuwagenmarkt der Personenwagen in ausgewählten europäischen Ländern im Jahr 2019. Datenquelle: ACEA 2021.

2. Sind Plug-in-Hybride eine Übergangstechnologie?

Plug-in-Hybride geniessen aktuell eine hohe Nachfrage im Markt. Sind sie ein wichtiger Baustein für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs – oder nur eine kurzfristige Übergangstechnologie? PHEV sollen das Beste der «alten» und der «neuen» Autowelt in einem Fahrzeug kombinieren, und damit den Herausforderungen «Reichweite», «Ladedauer» und «Angst vor lückenhafter Ladeinfrastruktur im Ausland» ausweichen.

Doch diese Herausforderungen dürften bereits in wenige Jahren stark an Bedeutung verlieren. Schweiz- und europaweit wird ein flächendeckendes Schnellladenetzen aufgebaut. Bei den Batterien verbessert sich dank technologischem Fortschritt und Skaleneffekten die Energiedichte, bei sinkenden Kosten. Abbildung 2 zeigt die erwartete Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte sowie der spezifischen Batteriekosten bis 2035. Für 2025 sind Batterien mit um 30% höherer Kapazität bei 20% tieferen Kosten zu erwarten, und dieser Trend wird sich weiter fortsetzen.

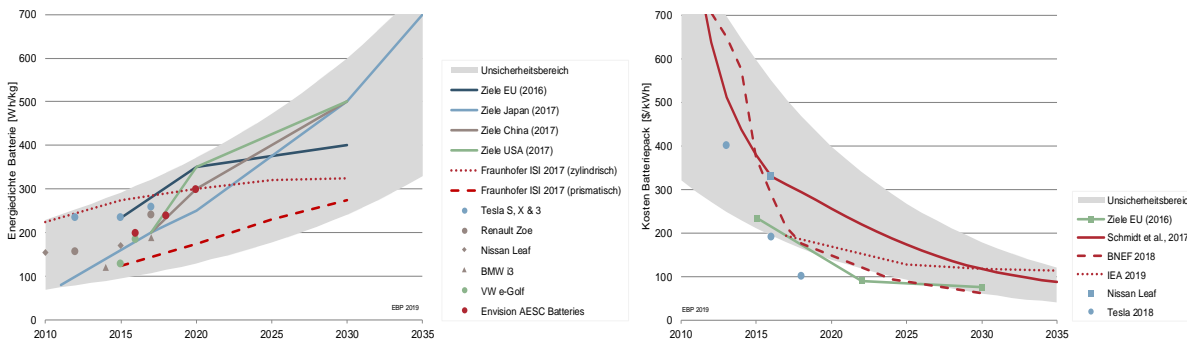


Abbildung 2. Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte (links) und der spezifischen Kosten (rechts) der Batterien bis 2035 (eigene Darstellung EBP).

Bereits 2021 sind mehrere BEV-Fahrzeugmodelle mit einer Reichweite von rund 500 km und Ultra-Schnellladefunktion erhältlich. Dank 800-Volt-Batterien können diese Elektrofahrzeuge mit 220 bis 270 kW Leistung geladen werden. Innerhalb von weniger als 20 Minuten lassen sich theoretisch Reichweiten von 350 km Reichweite (in 5 Minuten bereits 100 km Reichweite) nachladen.

Plug-in-Hybride dürften deshalb, getrieben durch die verschärften CO₂-Emissionsvorschriften, in den nächsten Jahren eine hohe Relevanz behalten. Langfristig werden sie allerdings an Bedeutung verlieren. 2040 werden sich reine BEV bezüglich Reichweite und Ladezeit nicht mehr wesentlich von heutigen Verbrennern unterscheiden.

Plug-in-Hybride sind auch nur begrenzt mit dem Netto-null-Emissionen-Ziel kompatibel. Einen Teil ihrer Fahrleistung legen sie mit Benzin oder Diesel zurücklegen. Für Netto null Emissionen müssten hierfür Biotreibstoffe oder klimaneutrale synthetische Treibstoffen eingesetzt werden. Die Verfügbarkeit biogener Treibstoffe (aus Abfällen) ist stark limitiert. Die Herstellung von klimaneutralen synthetischen flüssigen Treibstoffen aus Strom über Wasserstoff und Kohlenstoff ist sehr energieintensiv und ineffizient.

3. Rolle von Wasserstoff bei der Personenwagen

Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) sind technisch komplexer als BEV und stecken noch in der Pionierphase. Neben der fehlenden Modellauswahl hindert auch die fehlende Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur die Kaufentscheidung. FCEV haben eine höhere Reichweite als batterieelektrische Fahrzeuge, aber eine geringere als heute erhältliche Verbrenner. Die steigenden Reichweiten und Ladeleistungen der BEV engen das «window of opportunity» für Brennstoffzellen-Anwendungen bei den Personenwagen zusehends ein.

Wer grössere Reichweiten und kurze Betankungszeiten wünscht, setzt aktuell noch auf Verbrennungsmotoren. Unter einer Netto-null-Emissionen-Politik würden zunächst die reinen Verbrenner (ICE) durch Verbrennungsmotor-PHEV ersetzt. Anschliessend würden diese PHEV zusehends mit Wasserstoff-Brennstoffzellen statt Verbrennungsmotoren ausgerüstet. FCEV im Sinne von H₂-PHEV könnten bei ambitionierten Klimaschutzvorgaben eine attraktive Lösung sein. Sie erscheinen attraktiver als die Herstellung von «grünen» synthetischen Treibstoffen (Power-to-liquid, PtL) für den Betrieb von PHEV mit Verbrennungsmotoren über das Jahr 2040 hinaus.

In allen drei Szenarien (Kapitel 6) spielt Wasserstoff-Brennstoffzellen-Personenwagen eine untergeordnete Rolle, mit schweizweit 0.4 bis 2.3% der Fahrleistung im Jahr 2040, je nach Szenario. Daraus ergibt sich einen Wasserstoffbedarf von 0.2 bis 1.2 PJ im Jahr 2040 (Abbildung 3).

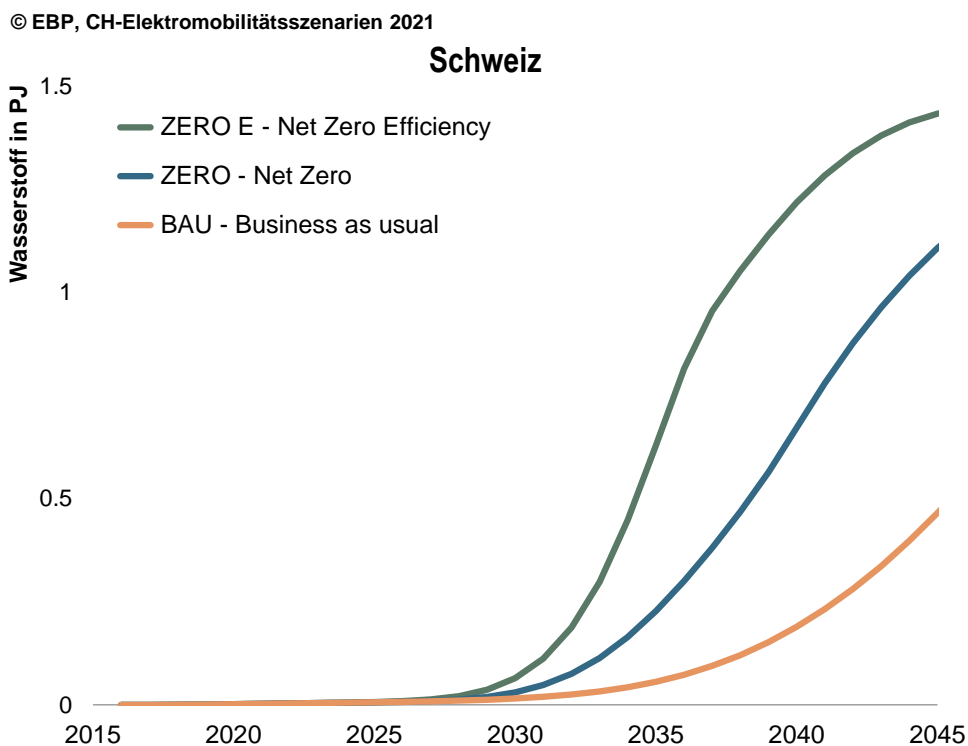


Abbildung 3. Entwicklung des Wasserstoffbedarfs für Personenwagen bis 2045.

4. Gesamt-Umweltbelastung von Personenwagen

Die Umweltbelastung von Strassenfahrzeugen umfasst alle Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus (Bereitstellung, Unterhalt, Betrieb und Recycling/Entsorgung von Infrastruktur, Energie und Fahrzeugen).

Verschiedene Indikatoren. Die Umweltbelastung unserer Mobilität umfasst die Versauerung von Böden und Gewässern, die Toxizität in Böden, Gewässern und für den Menschen, Emissionen (Klimagase, Schädigung der Ozonsicht, ionisierende Strahlung, Lärm, Feinstaub, Smogbildung) sowie die Inanspruchnahme von Ressourcen (Land-, Agrar- und Siedlungsfläche, Metalle, Energie, Süsswasser). Diese so genannten Midpoint-Indikatoren decken zusammen die Gesamt-Umweltbelastung ab. Unten ist exemplarisch der Gesamt-Ausstoss an Treibhausgasen dargestellt. Dabei werden die Emissionen der übrigen Klimagase (z.B. Methan und Lachgas) in CO₂-Äquivalenten umgerechnet.

Technologischer Fortschritt. Klassische Lebenszyklus-Inventare basieren auf Daten, und damit zwangsläufig auf der Vergangenheit. Als Grundlage für politische Entscheide wird versucht, den technologischen Fortschritt abzuschätzen und damit die künftige Umweltbelastung («prospective LCA»).

Einsatzprofile und Strommix. Die Umweltbelastung wird pro gefahrenen Fahrzeugkilometer berechnet. Zur Vergleichbarkeit gehen wir hier bei allen Autos von 160'000 km Lebensfahrleistung aus und davon, dass PHEV 50% aller Kilometer elektrisch zurücklegen. Den Strommix haben wir gemäss BFE (2020b) gewählt. Für die Szenarien ZERO und ZERO-E wird unterlegt, dass die EU ihre Netto-Null-Ziele im Gleichschritt mit der Schweiz erreicht und der europäische Strommix im Jahr 2050 klimaneutral erzeugt wird.

Abbildung 4 vergleicht Benzin- und Elektroautos der Kompaktklasse: Die zusätzliche Belastung durch die Herstellung und Entsorgung der Batterien wird bis 2040 merklich abnehmen. Unter der Annahme, dass die Stromerzeugung bis 2050 in Europa klimaneutral erfolgt, verbleiben die Infrastruktur sowie Bau und Rezyklierung des Fahrzeugs als wichtigste Umweltbelastungen.

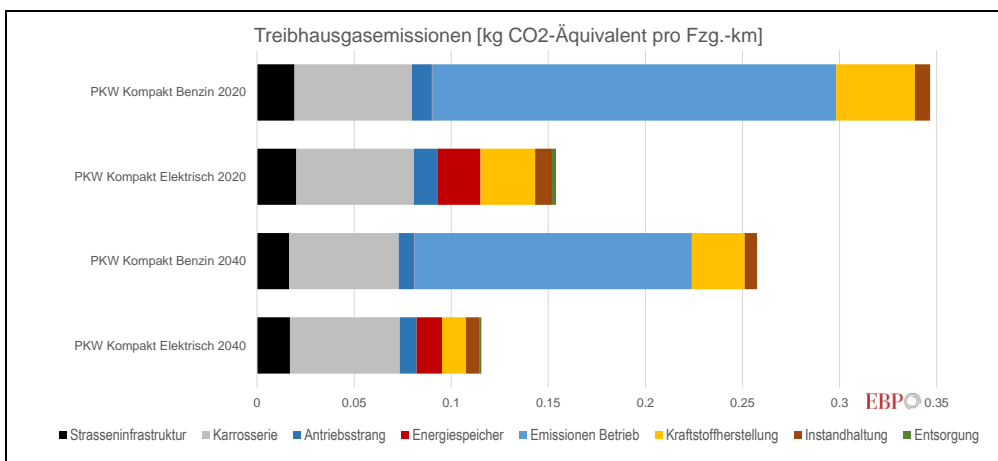


Abbildung 4. CO_{2eq}-Emissionen von Elektro- und Benzin-Personenwagen der Kompaktklasse 2020 und 2040, mit Strommix gemäss ZERO-Szenario. Datenquelle: EBP-Flottenmodell, BFE (2020b), PSI (2021).

5. Wann sind Plug-in-Hybride nachhaltig?

Die CO₂-Emissionsvorschriften für Neuwagen werden laufend verschärft. Im offiziellen WLTP-Testzyklus legen PHEV 69 Prozent der Fahrleistung elektrisch zurück. Entsprechend tief sind die CO₂-Werte. Für Autohersteller stellen Plug-in-Hybrid-Antriebe deshalb eine attraktive Option dar, um den offiziellen CO₂-Ausstoss namentlich von Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse zu reduzieren.

Dank ihrem Elektroantrieb haben PHEV das Potenzial, die Treibhausgasemissionen und die lokale Luftverschmutzung stark zu reduzieren. Das CO₂-Einsparpotenzial hängt direkt davon ab, wie oft sie im realen Einsatz rein elektrisch unterwegs sind. Eine Analyse von ICCT (2020) zeigt für 100'000 PHEV einen elektrischen Fahranteil von lediglich 37 Prozent auf (mit dem Höchstwert von 53 Prozent in Norwegen, wo die Ladeinfrastruktur am stärksten ausgebaut ist).

Die meisten PHEV haben eine vollelektrische Reichweite von 30 bis 60 km und legen 5'000 bis 10'000 km pro Jahr elektrisch zurück (ICCT 2020). Wer vor allem kürzere Strecken fährt und regelmässig lädt (Verfügbarkeit von Ladestationen am Zielort), kann den elektrischen Anteil an der Fahrleistung stark erhöhen. Bei einer elektrischen Reichweite von 80 km können, je nach Häufigkeit der längeren Fahrten, 75 bis nahezu 100 Prozent der Jahresfahrleistung elektrisch zurückgelegt werden.

Für grössere Fahrzeuge benötigen BEV immer grössere Batteriepakete, vor allem wenn hohe Tagesreichweiten gefordert werden. Hier können Plug-in-Hybrid-Antriebe ihre Stärken ausspielen. In Abbildung 5 ist die Treibhausgas-Bilanz für SUV im Jahr 2030 dargestellt, unter der Annahme, dass PHEV 50% der Kilometer elektrisch zurücklegen.

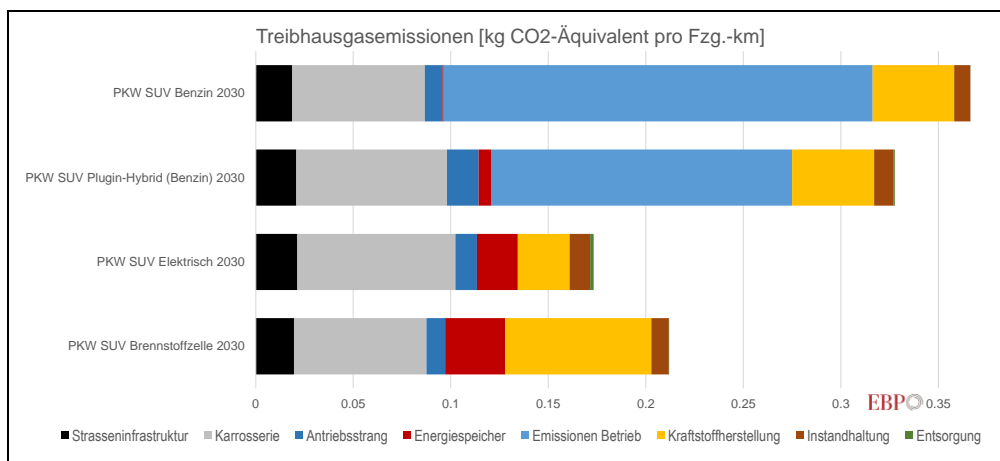


Abbildung 5. CO_{2eq}-Emissionen von SUV im 2030 je nach Antriebsart, mit Strommix gemäss ZERO-Szenario. Datenquelle: EBP-Flottenmodell, BFE (2020b), PSI (2021).

Der Einsatz von PHEV ist ökologisch sinnvoll, wenn ein Auto vor allem kürzere Strecken fährt, aber selten auch längere Reisen, und wann immer möglich geladen wird (mindestens 50% Elektro-Anteil, aber lieber mehr).

6. Drei Szenarien zur Elektromobilität in der Schweiz

Das vorliegende Update konkretisiert die Szenarien der BFE-Energieperspektiven 2050+ (BFE 2021a; BFE 2021b) und liefert detaillierte Informationen zur Zusammensetzung des Personenwagenbestandes (Antriebsarten je Grössenkatgorie), zum Ladeverhalten und Energienachfrage der Elektrofahrzeuge. Die Szenarien liegen für die Schweiz sowie räumlich feinaufgelöst für alle Gemeinden der Schweiz vor (siehe Kapitel 7). Die drei bottom-up gerechneten Szenarien lassen sich wie folgt charakterisieren:

- **BAU (Business As Usual).** Das Szenario BAU geht davon aus, dass das totalrevidierte CO₂-Gesetz per 1.1.2022 in Kraft tritt. Künftige Verschärfungen der EU-Emissionsvorschriften würden in der Schweiz zeitgleich übernommen. Der Bund fördert den Aufbau der privaten Ladeinfrastruktur für Mieter in Mehrfamilienhäusern, die grösseren Kantone führen Bonus-Malus-Systeme auf Grundlage der Energieeffizienz der Neuwagen ein, koordinieren den Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur und setzen bei den Gemeinden die zügige Anpassung der Bauvorschriften zur Auslegung aller neuen Parkplätze auf 100% Elektromobilität durch. Langfristig werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren mehrheitlich durch Elektrofahrzeuge ersetzt. Allerdings wird auch im Jahr 2050 rund 20% der Fahrleistung mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zurückgelegt. Der verbleibende Bedarf an flüssigen Treibstoffen wird auch im Jahr 2050 mit fossilem Benzin und Diesel gedeckt. Strombasierte, synthetische Treibstoffe setzen sich nicht durch. Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge erreichen bei den Personenwagen nur sehr geringe Marktanteile.
- **ZERO (Net Zero).** Das Szenario Netto-Null ZERO-Basisvariante bildet eine Entwicklung des Energiesystems ab, welche mit dem langfristigen Klimaziel von Netto-Null Treibhausgasemissionen in der Schweiz im Jahr 2050 kompatibel ist. Im Szenario ZERO wird das Energiesystem stark elektrifiziert. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren werden bis 2050 komplett durch Elektrofahrzeuge ersetzt. Das Szenario ZERO setzt auch langfristig auf Plug-in-Hybride, welche ab 2045, zur Erreichung des Netto-Null-Ziels, mit strombasierten, synthetischen Treibstoffen betrieben werden. Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge erreichen bei den Personenwagen nur geringe Marktanteile, allerdings mehr als im Szenario BAU.
- **ZERO E (Net Zero Efficiency).** Wie im Szenario ZERO-Basisvariante wird im Jahr 2050 das Klimaziel Netto-Null Treibhausgasemissionen in der Schweiz erreicht. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren werden bis 2050 komplett durch Elektrofahrzeuge ersetzt. Anders als in der ZERO-Basisvariante setzen sich Plug-in-Hybride nur kurzfristig als Übergangstechnologie durch und werden ab 2030 rasch von reinen batterieelektrischen Fahrzeugen abgelöst. Aus Effizienz- und Kostengründen setzen sich strombasierte, synthetische Treibstoffe bei den Personenwagen nicht durch. Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge erreichen bei den Personenwagen wie im Szenario ZERO-Basisvariante nur geringe Marktanteile.

Hohe Relevanz der CO₂-Emissionsvorschriften für Neuwagen

In der Schweiz gelten analog zur EU CO₂-Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge. Erstmals zum Verkehr in der Schweiz zugelassene Personenwagen dürfen ab 2021 nach WLTP im Durchschnitt maximal 118 Gramm CO₂ pro Kilometer (95 gCO₂/km nach NEFZ) ausstossen. In Anlehnung an die EU sollen die CO₂-Zielwerte ab 2025 um 15 %, ab 2030 um 37.5 % tiefer liegen als 2021.

Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCEV) weisen sehr tiefe CO₂-Emissionswerte vor und spielen deshalb bei der Erreichung dieses Emissionsziels in der EU und der Schweiz eine zentrale Rolle. Entsprechend werden Automobilhersteller einen Anreiz zur Markteinführung der Elektrofahrzeuge haben. Die Entwicklung des Fahrzeugangebots in der EU gibt auch das Fahrzeugangebot in der Schweiz vor. Da die höhere Kaufkraft in der Schweiz dazu führt, dass die Schweizer Neuwagen höhere CO₂/km-Werte haben als der Durchschnitt über alle EU-Mitgliedstaaten, wird die Elektromobilität in der Schweiz eine nochmals höhere Bedeutung haben als in der EU.

Insgesamt haben die Emissionsvorschriften einen starken Einfluss auf die Elektromobilitätszenarien, betreffend des angenommenen Angebots, der Preisgestaltung sowie insbesondere auch der Marktdurchdringung im Bereich der Mittel- und Oberklasse. Auch der Anteil der PHEV wird dadurch stark beeinflusst.

Entwicklung von Bevölkerung, Motorfahrzeugbestand und Verkehrsleistung

Das vorliegende Update 2021 berücksichtigt das 2020er-Referenzszenario zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050 (BFS 2020a) sowie das Referenzszenario der Verkehrsperspektiven 2040 (ARE 2016). Auch wird die neue ständige Wohnbevölkerung (BFS 2020b), der Motorfahrzeugbestand (2021a) und die kantonale Verteilung der Erstinverkehrenssetzungen (BFS 2021b) berücksichtigt. Bei den Daten zum Mobilitätsverhalten wird das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017 (ARE 2020) sowie der Mikrozensus Verkehr und Mobilität aus 2015 (BFS / ARE 2017c) verwendet.

Resultate Neuwagenmarkt

Tabelle 1 zeigt den Marktanteil der Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCEV) am Neuwagenmarkt in der Schweiz in den Jahren 2025 und 2035 für alle drei Szenarien.

Szenario	2025	2035
BAU	26 %	63 %
ZERO	28 %	91 %
ZERO-E	39 %	94 %

Tabelle 1: Marktanteile der Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCEV) an den Neuzulassungen.

Resultate Dynamischer Fahrzeugbestand – Fahrleistung

Abbildung 6 illustriert die Marktdiffusion der Elektromobilität (BEV, PHEV und FCEV) in den dynamischen Fahrzeugbestand, also die tatsächliche Fahrleistung, in der Schweiz für die Periode 2015 bis 2050 für alle drei Szenarien.

Ende 2020 machen die Elektrofahrzeuge 2 % (davon 1 % PHEV) der gesamtschweizerischen Fahrleistung im Bereich der Personenwagen aus. Bis im Jahr 2030 steigt der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung je nach Szenario auf 24 bis 36 %. In den beiden Szenarien ZERO und ZERO-E erreicht der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung 2050 100%, im Szenario BAU 84%. Die Plug-in-Hybride machen 2050 in den Szenarien BAU und ZERO rund 20% der Fahrleistung aus, während sie im Szenario ZERO-E, nach einem Höhepunkt im Jahr 2032, bis 2050 ganz von der Strasse verschwinden.

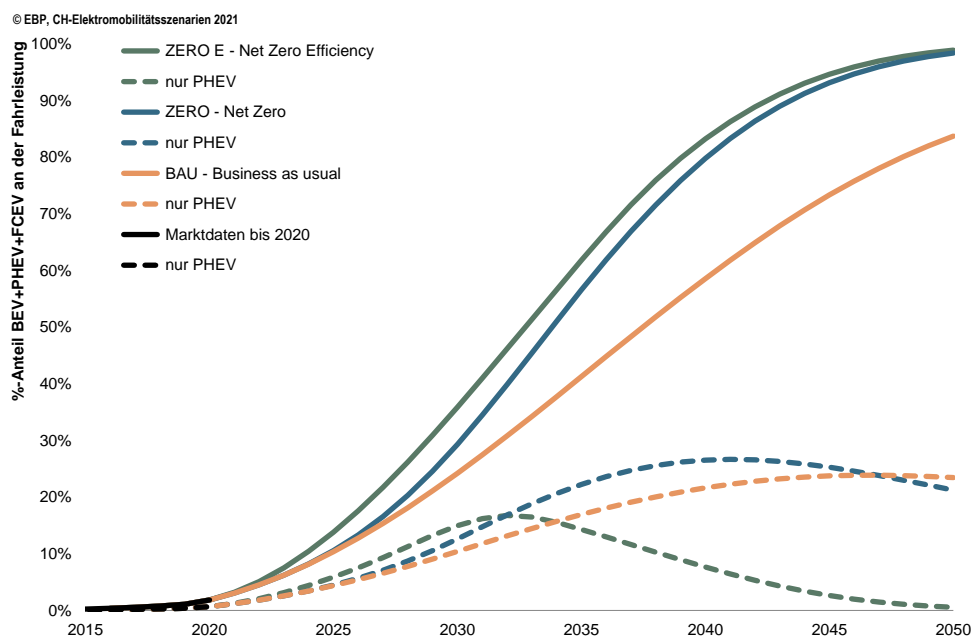


Abbildung 6. Anteil aller Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCEV) sowie einzeln für PHEV-Anteil an der gesamtschweizerischen Fahrleistung.

7. Bottom-up-Modellierung der Elektromobilität

Die Szenarien basieren auf einer detaillierten Modellierung des schweizerischen Neuwagenmarktes für die Jahre 2020 bis 2050. Für jedes Jahr wird eine synthetische Flotte aller Neuwagenmodelle jeglicher Antriebsformen erstellt, mit Leistungsdaten und Neuverkaufspreisen. Die eingesetzte Mikrosimulation «sim.car» wurde erstmals an der ETH Zürich eingesetzt und seither weiterentwickelt (de Haan et al. 2007). Sie verwendet Treue-Raten (Markentreue, Modellsegmenttreue, Treibstofftyptreue und Antriebstyptreue), welche in der BAM-Befragung (EBP 2017a) erhoben werden. Die simulierten Neuwagen-Verkaufszahlen gehen in ein kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell ein (Abbildung 7).

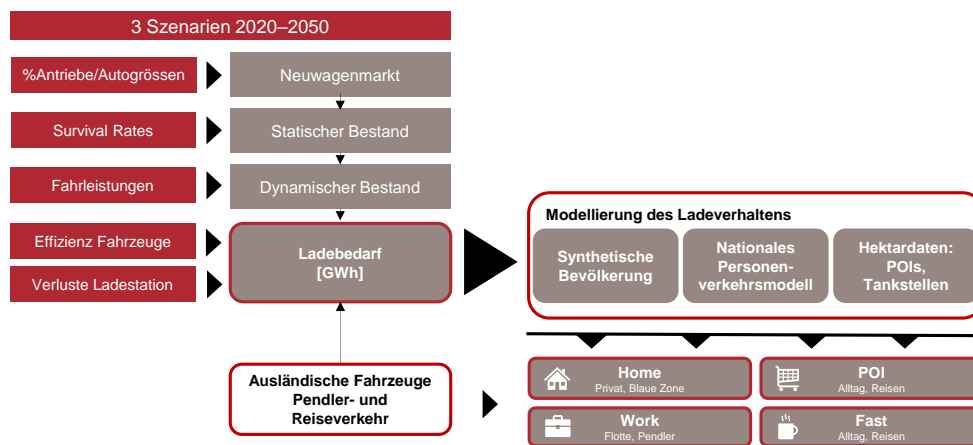


Abbildung 7. Schematischer Ablauf der Bottom-up-Modellierung der Elektromobilitätsszenarien

Unter Berücksichtigung des realen Verbrauchs je Fahrzeugkategorie (Tabelle 2) sowie unter Berücksichtigung von Verlusten (Batterie und Ladevorgänge) wird der Ladebedarf berechnet. Es folgt eine agentenbasierte Modellierung aller Ladevorgänge.

	2020	2030
PHEV Kompaktklasse	14 kWh/100 km	13 kWh/100 km
PHEV Mittelklasse	16 kWh/100km	14 kWh/100 km
PHEV Oberklasse	21 kWh/100 km	19 kWh/100 km
BEV Kleinwagen	14 kWh/100 km	13 kWh/100 km
BEV Kompaktklasse	20 kWh/100 km	18 kWh/100 km
BEV Mittelklasse	24 kWh/100 km	21 kWh/100 km
BEV Oberklasse	27 kWh/100 km	24 kWh/100 km

Tabelle 2: Realer Stromverbrauch neuzugelassener Elektrofahrzeuge je Fahrzeugkategorie im Jahr 2020 und 2030.

8. Ladebedürfnisse und Ladestationstypen

Für zahlreiche Fragestellungen im Bereich Elektromobilität ist nicht die Anzahl der Elektrofahrzeuge oder deren kumulierte Ladebedarf entscheidend, sondern der Ladebedarf des gesamten Verkehrs. Das heisst, wo, wie häufig, wieviel, wie lange und mit welcher Leistung geladen wird. Dazu folgt auf Basis der Elektromobilitätsszenarien eine agentenbasierte Modellierung aller Ladevorgänge (Abbildung 8). Der Bedarf für private und öffentlich zugängliche Ladestationen für Elektrofahrzeuge kann so räumlich fein aufgelöst abgeschätzt und darauf aufbauend ein Ladestationskonzept ausgearbeitet werden (Abbildung 9).



Abbildung 8. Schematische Darstellung der Modellierungsschritte.

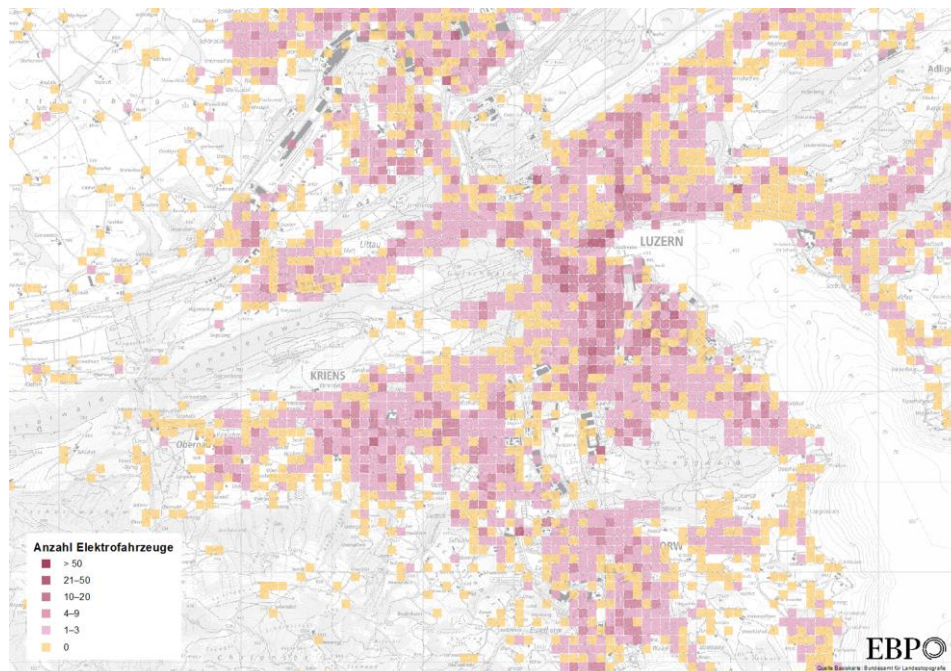


Abbildung 9: Die Szenarien im Hektarraster zeigen, in welchen Haushalten und Unternehmen zukünftig Elektrofahrzeuge geladen werden.

Ladeverhalten

Das Ladeverhalten wird differenziert nach Pendler- und Freizeitverkehr sowie Firmenflottenfahrzeuge. Die Modellierung unterscheidet 32 Fahrzeugtypen nach Fahrzeugkategorie und Aufnahmeleistung. Je nach Fahrzeugkategorie und Nutzertyp unterscheidet sich die Fahrleistung und auch das Ladeverhalten.

Es lassen sich vier unterschiedliche Ladebedürfnisse für Elektrofahrzeuge und vier unterschiedliche Ladestationstypen unterscheiden (Abbildung 10). Die Ladebedürfnisse beschreiben, wo und wie lange geladen wird, z.B. Home Charging am Wohnort oder in unmittelbarer Nähe des Wohnorts mit einer Ladedauer von 1 bis 10 Stunden. Die Ladestationen unterscheiden sich bezüglich Zugangsmöglichkeit, Nutzerkreis und Ladeleistung. Das Home Charging am Wohnort kann entweder an einer privaten Ladestation mit sehr beschränktem Nutzerkreis (ein Elektrofahrzeug) und tiefer Ladeleistung (z.B. 3.7 kW) oder an einer öffentlichen Ladestation in unmittelbarer Nähe des Wohnorts mit höherer Ladeleistung (z.B. 11 kW) stattfinden. Bei der zweiten Variante teilen sich eine Vielzahl von Elektrofahrzeugen eine öffentliche Ladestation.

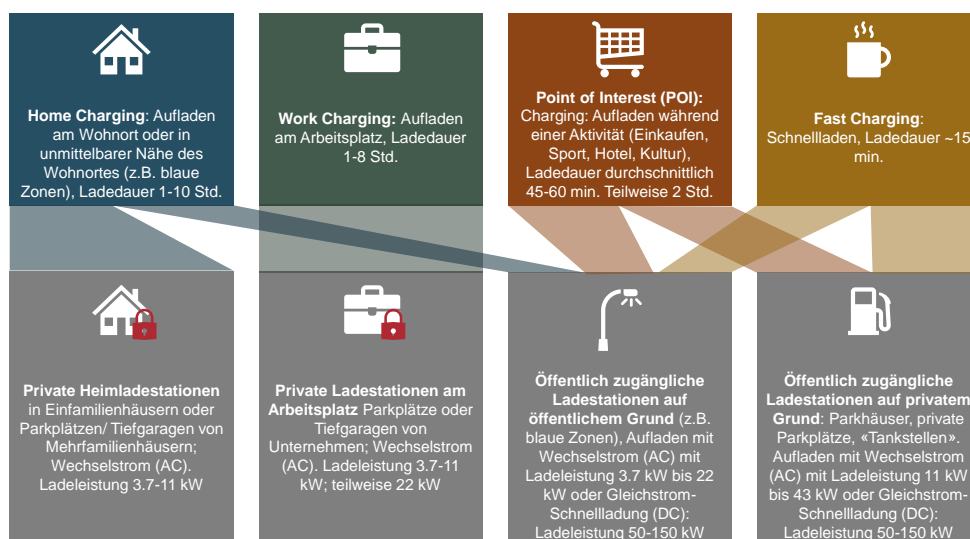


Abbildung 10: Charakteristik der Ladebedürfnisse (oben) und der vier Ladestationstypen (unten).

Im Jahr 2020 erfolgen rund 90% aller Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen an privaten Ladestationen, am Wohnort oder am Arbeitsplatz. Ob das private Laden auch künftig dominieren wird oder häufiger an öffentlichen Ladestationen geladen wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab:

- Batteriekapazität, respektive Reichweite der Elektrofahrzeuge
- Aufnahmeladeleistung der Elektrofahrzeuge
- Verfügbarkeit von Heimplademöglichkeit
- Verfügbarkeit und Preise öffentlicher Ladestationen

Die ersten beiden Punkte sind insbesondere bei Plug-in-Hybriden im Vergleich zu reinen batterieelektrischen Fahrzeugen grundsätzlich verschieden. Mit dem vorliegenden Update liegen detaillierte Grundlagen vor, um das künftige Ladeverhalten in verschiedenen Sensitivitäten zu untersuchen.

9. Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz

Der Strombedarf aller heute in der Schweiz verkehrenden Elektrofahrzeuge beläuft sich schätzungsweise auf rund 210 GWh pro Jahr. Im Jahr 2025 liegt der Stromverbrauch der Elektromobilität bei 1'200 bis 1'600 GWh. Im Jahr 2030 könnten es bereits über 4'000 GWh sein (Abbildung 11).

© EBP, CH-Elektromobilitätsszenarien 2021

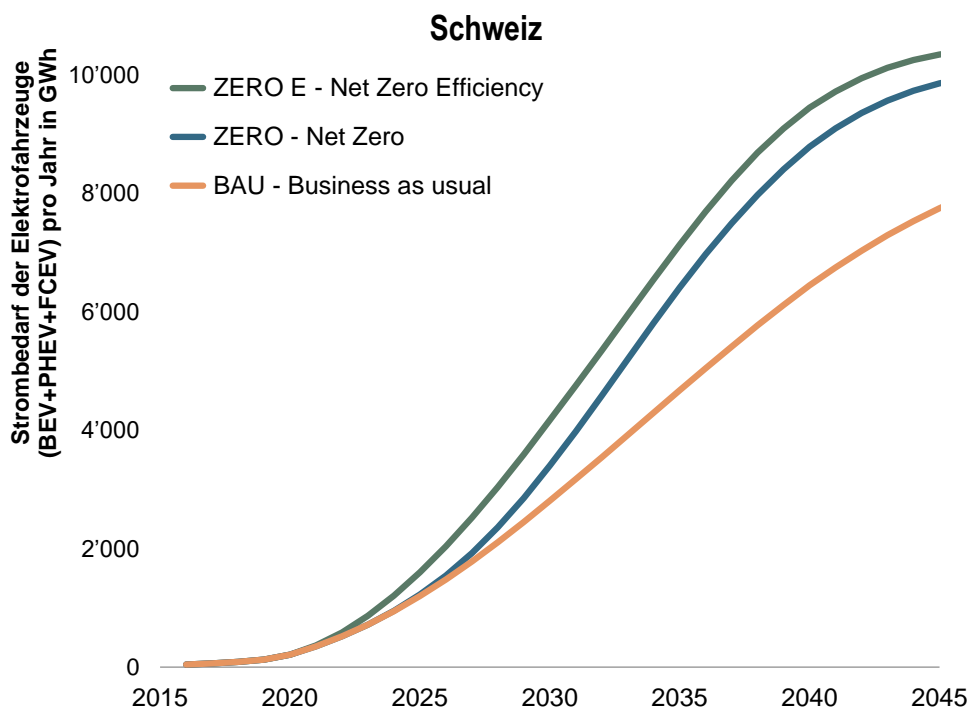


Abbildung 11: Entwicklung des Stromverbrauchs aller Elektrofahrzeuge in der Schweiz bis 2045.

Um den Einfluss der Elektromobilität auf die Verteilnetze zu quantifizieren nutzen wir die agentenbasierte Modellierung einzelner Ladevorgänge im Hektarraster (siehe Kapitel 8). So lassen sich relevante Kenngrößen für Verteilnetzsimulationen und Stresstests berechnen wie Gleichzeitigkeitsfaktoren sowie der maximale Leistungsbedarf auf Hausanschluss-, Trafo- oder Unterwerkebene (Abbildung 12).

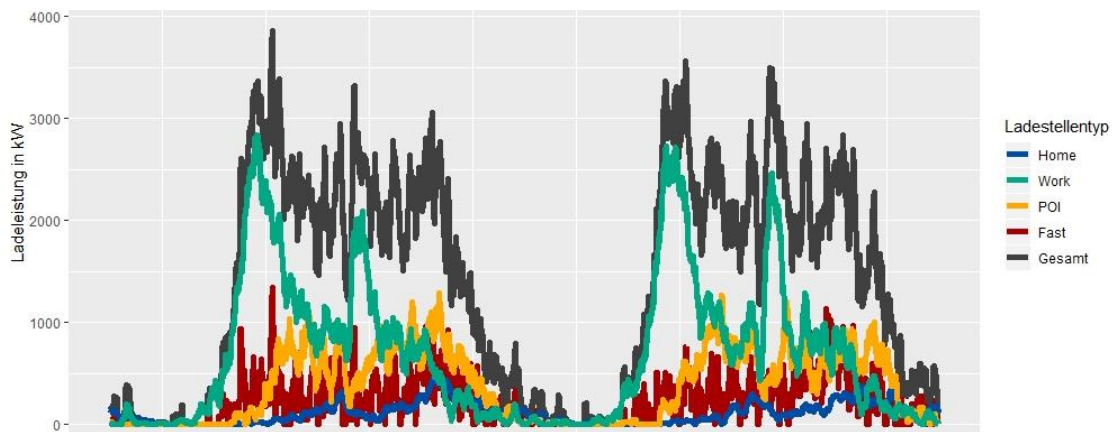


Abbildung 12: Minuten-Ladeprofile je Ladestationstyp für zwei Tage auf Ebene Unterwerk einer Schweizer Stadt im Jahr 2040 bei hoher Marktdurchdringung der Elektromobilität.

10. Bedarfsentwicklung Wasserstoff

Im Personenverkehr wird Wasserstoff – neben dem Einsatz in Range-Extender-Personenwagen (siehe Kapitel 3) – für Langdistanz-Reisebusse eingesetzt werden. Zusätzlich wird Wasserstoff im Nutzfahrzeugbereich zur Anwendung gelangen, vor allem für Lastwagen mit sehr hoher Tagesfahrleistung. Der Einsatz von Wasserstoff im Offroad- und Nonroad-Segment (Baumaschinen, Pistenmaschinen, usw.) wird aber insgesamt grösser sein als die Nachfrage für Strassenfahrzeuge. Zusätzlich wird Wasserstoff ausserhalb des Transport-Sektors eine wichtige Rolle spielen, namentlich für Hochtemperatur-Prozesse in der Industrie.

Hier dargestellt (Abbildung 13) ist der inländische Wasserstoff-Bedarf im ZERO-E-Szenario, ohne die zusätzliche Nachfrage für Transit-LKW, Schiffe und den internationalen Luftverkehr.

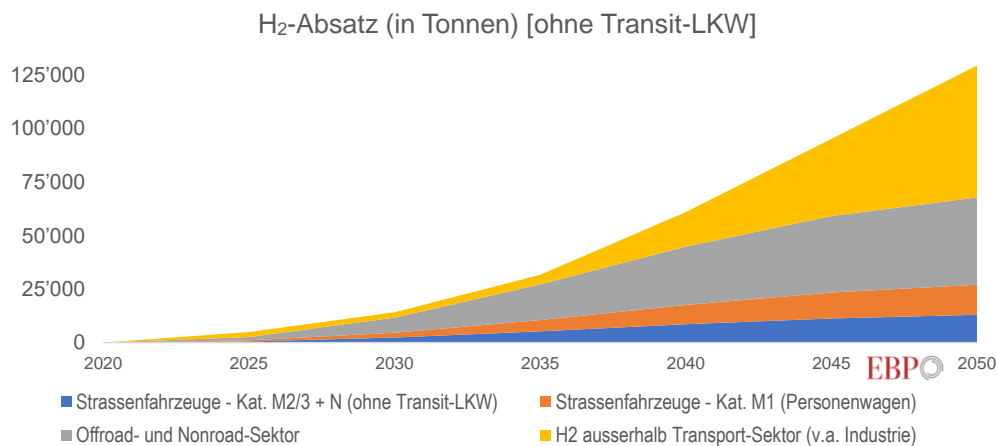


Abbildung 13. Entwicklung des Wasserstoffbedarfs in der Schweiz bis 2050 (im ZERO-E-Szenario) einschliesslich der Offroad- und Nonroad-Bereiche. Quelle: EBP-H₂-Nachfrage-Szenarien.

11. Energienachfrage nach flüssigen Treibstoffen

In allen Szenarien werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren durch Elektrofahrzeuge ersetzt. Durch Effizienzsteigerungen (insbesondere Hybridisierung) sinkt zudem der Energiebedarf der neuzugelassenen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Insgesamt nimmt deshalb die Energienachfrage nach flüssigen Treibstoffen in der Schweiz trotz steigendem Fahrzeugbestand und steigender Fahrleistung deutlich ab.

Im Szenario BAU reduziert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2030 um 15 %, bis 2040 um rund 50 % und bis 2050 um 70 %.

Im Netto-Null-Szenario ZERO verringert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2040 um 65%, bis 2050 um 85%. Der Bedarf entfällt nach 2045 fast ausschliesslich auf die Plug-in-Hybride. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels müssen im Szenario ZERO ab 2045 zunehmend strombasierte, synthetische Treibstoffe eingesetzt werden. 2050 muss ein Restbedarf von rund 5 PJ durch synthetische Treibstoffe gedeckt werden.

Im Szenario ZERO-E reduziert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2030 um 25 %, bis 2040 um 80 % und bis 2050 um 100%. Im Unterschied zum Szenario ZERO sind im ZERO-E nach 2045 praktisch keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren oder Plug-in-Hybride mehr im Bestand, so dass der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen auf null gesenkt werden kann (Abbildung 14).

© EBP, CH-Elektromobilitätsszenarien 2021

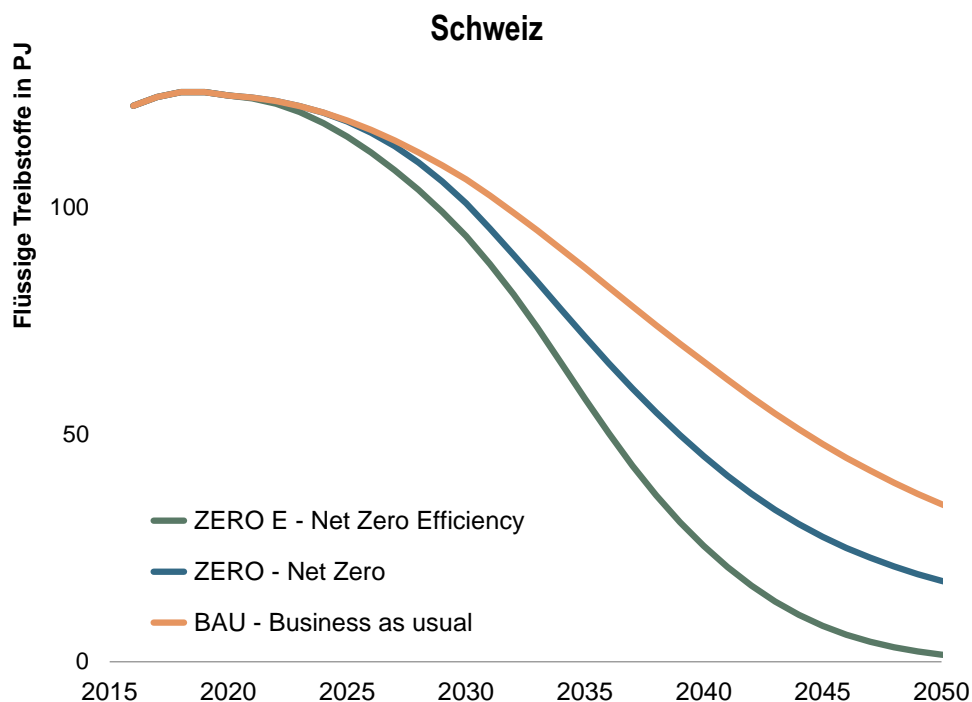


Abbildung 14. Bedarf an flüssigen Treibstoffen im Personenwagenbereich bis 2050.

12. Resultate der 2021er Szenarien für den Kanton Zug

12.1 Prognosen zum Fahrzeugbesitz im Kanton Zug

Die Entwicklung der Anzahl Neuwagen wird auf der Grundlage von historischen Neuzulassungen und der Bevölkerungsentwicklung modelliert.

Die ständige Wohnbevölkerung für den Kanton Zug von 1991 bis 2019 wird den Erhebungen des Bundesamts für Statistik (BFS 2020a) entnommen. Für die Prognose der künftigen Entwicklung des Personenwagenbestands verwenden wir das Referenzszenario («mittleres Szenario») zur Bevölkerungsentwicklung des BFS (2020b).

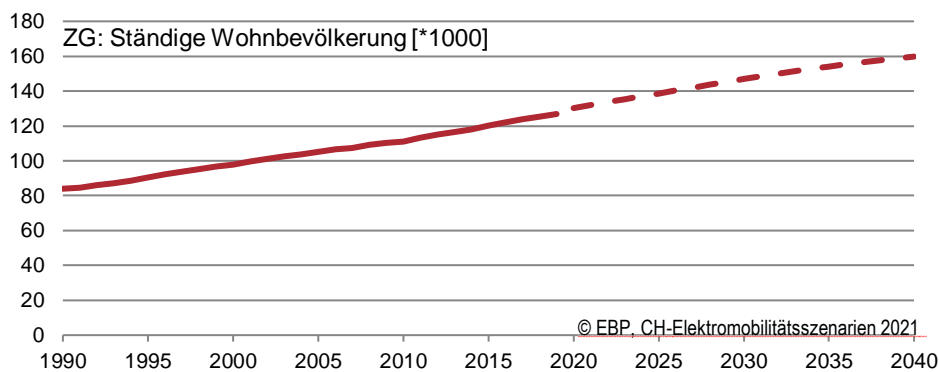


Abbildung 15. Historischer Verlauf und angenommene künftige Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung (Datenquelle: BFS 2020a, BFS 2020b).

Der Motorisierungsgrad von 1990 bis 2020 wird historischen Daten entnommen (Abbildung 16). Für die künftige Entwicklung des Motorisierungsgrads gehen wir (wie bereits in EBP 2017) von einer Zunahme von +0.2% pro Jahr aus, unter Annahme einer Abflachung parallel zur Abschwächung der Zunahme des Pro-Kopf-Strassenverkehrs in den nationalen Perspektiven des Personenverkehrs (ARE 2016). Dies ist eine etwas konservative Annahme.

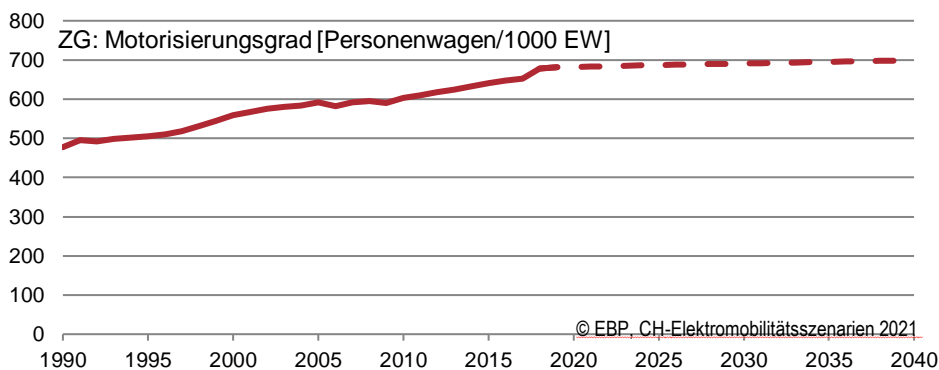


Abbildung 16. Historischer Verlauf und angenommene künftige soziodemographische Entwicklung.

Der Personenwagenbestand von 1990 bis 2020 wird aus BFS (2021a) entnommen. Der zukünftige Personenwagenbestand resultiert aus dem Bevölkerungsstand und dem Motorisierungsgrad (Abbildung 17).

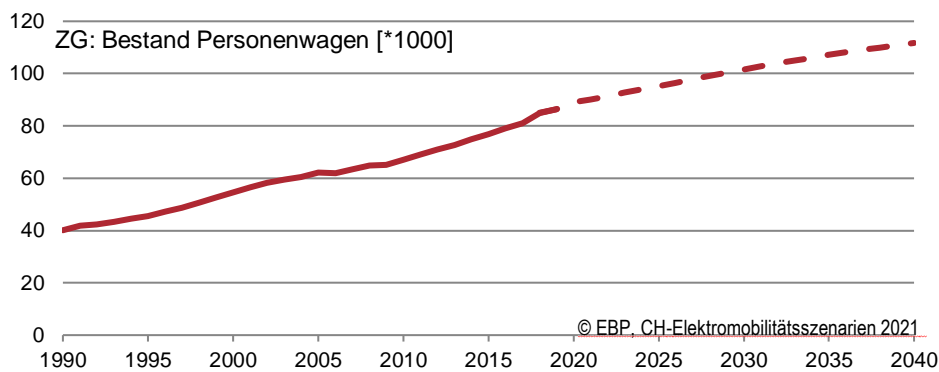


Abbildung 17. Historischer Verlauf und angenommene künftige Entwicklung des statistischen Fahrzeugbestands (nur Personenwagen) im Kanton Zug.

Die historischen Daten 1990–2020 für die Inverkehrsetzung neuer Personenwagen im Kanton Zug werden BFS (2021b) entnommen. Um die zukünftige Entwicklung der Neuzulassungen zu berechnen, wird das mittlere, historische Verhältnis zwischen Neuzulassungen und Fahrzeuggesamtbestand (und damit die mittlere Lebensdauer der Fahrzeuge) für die Zukunft als konstant angenommen (Abbildung 18). Es resultieren die jährlichen Neuzulassungen (Abbildung 19).

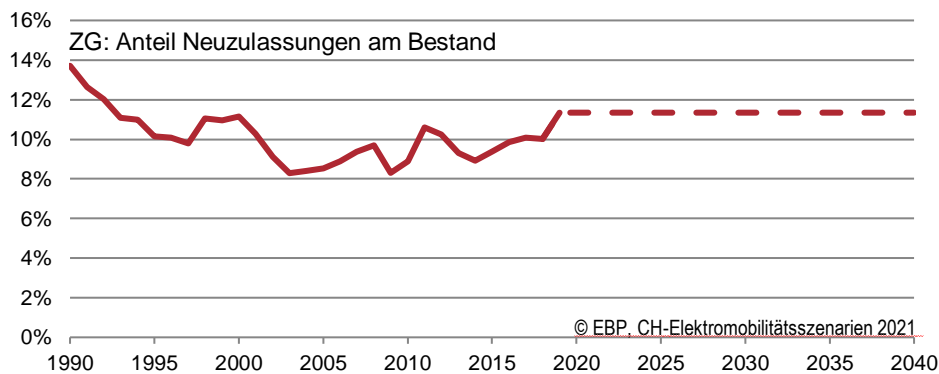


Abbildung 18. Historischer Verlauf und angenommenes künftiges Verhältnis der jährlichen Anzahl an Neuwagen zum Gesamtbestand der Personenwagen im Kanton Zug.

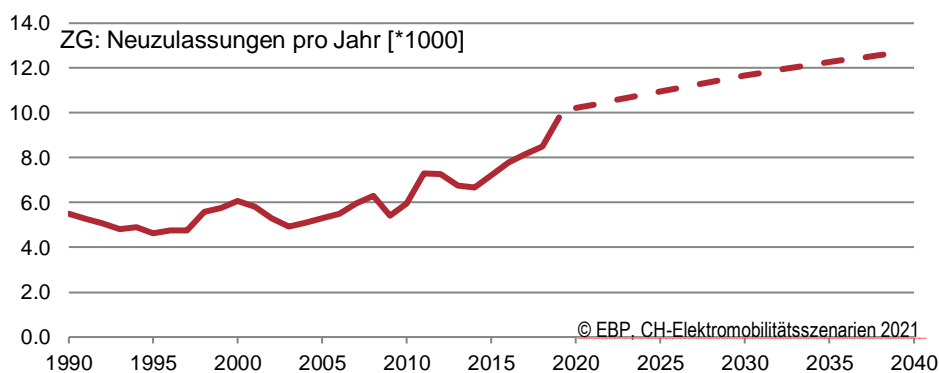


Abbildung 19. Historischer Verlauf und modellierte künftige Entwicklung der Personenwagen-Neuzulassungen im Kanton Zug.

12.2 Faktoren, welche den Elektroauto-Marktanteil im Kanton Zug beeinflussen

Ob der künftige Verlauf des Marktanteils der Elektroautos (inkl. H2-Brennstoffzellenfahrzeuge) in einem Kanton oberhalb oder unterhalb des schweizerischen Durchschnitts liegen wird, hängt von mehreren Faktoren ab aus den Bereichen Soziodemographie, Mobilitätsverhalten und Standortfaktoren.

Tabelle 3 zeigt die Einstufung des Kantons Zug im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt für die Faktoren zu Soziodemographie und Mobilitätsverhalten. Wird ein Faktor als «+» oder «++» eingestuft, wirkt er positiv auf die Elektromobilität, und umgekehrt bei einer Einstufung als «-» und «--». Beispielsweise kann ein gutes ÖV-Angebot zwar für die Kantonsbevölkerung positiv sein, für die Elektromobilität jedoch tendenziell negativ (weil dann viele Haushalte gar kein Auto haben und entsprechend auch nicht auf Elektroautos umsatteln können). Der Kanton Zug ist bei vier Kriterien durchschnittlich, bei zwei Kriterien überdurchschnittlich und bei zwei sehr überdurchschnittlich affin für die Elektromobilität.

Kriterium	Einfluss	Resultat
Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt	Mehr-Auto-Haushalte kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere, weil Elektrofahrzeuge häufig als Zweitauto eingesetzt werden.	0
Anteil Autofahrten länger als 50 km	Wer täglich mehr als 50 km fährt, kauft weniger häufig Elektrofahrzeuge als andere.	0
Ausbildung	Personen mit mindestens einem Fachhochschul-Abschluss kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	+
Motorisierungsgrad	Haushalte mit einem PKW zur ständigen Verfügung kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	0
Carsharing	Carsharing Mitglieder kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere, weil sie für lange Fahrten ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor mieten können und somit die Problematik der Reichweite reduziert wird.	0
Verteilung nach Haushaltstyp	Haushalte ohne Kinder kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	+
Durchschnittsalter PKWs	Je tiefer das Durchschnittsalter, desto schneller die Umwälzung des Personenwagenbestands und die Penetration von neuen Antriebstechnologien.	++
Durchschnittliche Leistung PKWs	Proxy für Kaufkraft. Viele angekündigte PHEV und BEV gehören der Oberklasse und werden starke Leistungen haben (Porsche, Tesla, ...).	++

Tabelle 3. Affinität des Kantons Zug für die Elektromobilität anhand von Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr und MOFIS-Datenbank.

Zusätzlich wurden die Standortfaktoren untersucht, welche einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben. Die kantonsspezifischen Faktoren in den unterschiedlichen Kategorien werden qualitativ geschätzt, im

Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt. Die Tabelle 4 beschreibt die Kriterien und deren Einfluss.

Kriterium	Einfluss	Resultat	Bemerkung
Policy	Wird die Elektromobilität durch die öffentliche Hand gefördert, nimmt diese schneller zu.	+	Die Stadt ist eine Energiestadt (Gold). Zusammen mit WWZ wurden mehrere Ladestationen errichtet. Konkrete Massnahmen (Konzept Elektromobilität, Masterplan Ladeinfrastruktur, Pilotprojekte) wurden jedoch noch nicht umgesetzt.
Bereitschaft für Innovation	Wenn ein grösserer Teil der Bevölkerung Freude und Interesse für Innovation hat, werden neue Technologien schneller eingesetzt.	0	Zug weicht nicht vom schweizerischen Durchschnitt ab.
Existierende Ladeinfrastruktur / Pilotprojekte	Pilotprojekte und bestehende Ladeinfrastruktur können die Verbreitung der Elektrofahrzeuge und die Bereitschaft der Bevölkerung positiv beeinflussen.	0	Zug weicht nicht vom schweizerischen Durchschnitt ab.
Anzahl Pendler	Regelmässige, eher kurze Pendeldistanzen sind geeignet, um mit Elektrofahrzeugen zurückgelegt zu werden.	+	Beim Vergleich der Anzahl Zupendler zur Anzahl Wegpendler, ergibt sich ein klarer Überschuss von Zupendelnden.
Einfluss Qualität ÖV-Netz	Sehr gute ÖV-Netze sind eine gute Alternative zum MIV. Stadtzentren zeigen tiefere Motorisierungsgrade und die Durchdringung von Elektrofahrzeugen kann gehemmt werden.	–	Der Kanton Zug hat ein gutes ÖV-Netz. ÖV-Abonnemente sind im Kanton Zug im schweizerischen Vergleich überdurchschnittlich stark verbreitet (gemäss kantonaler MZ-Auswertung).
Topographie	Grosse Höhenunterschiede können die Reichweite der Elektrofahrzeuge deutlich verringern. Fahrleistungen auf Strassen ohne Höhenunterschiede sind von Vorteil für Elektrofahrzeuge.	0	Der Kanton weicht topographisch gesehen vom schweizerischen Durchschnitt nicht ab.
Klima	Die Leistung der Batterien hängt von der Aussentemperatur ab: Niedrige Temperaturen reduzieren die Reichweite. Die Heizung- und die Klimaanlage verbrauchen ebenfalls Energie und reduzieren die Reichweite.	0	Zug weicht nicht vom schweizerischen Durchschnitt ab.

Tabelle 4. Einfluss weiterer Standortfaktoren auf die Anzahl neuer Elektromobile.

Die Faktoren-Werte für den Kanton Zug führen zu den folgenden Resultaten (im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt):

- Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion: Die max. Diffusionsgeschwindigkeit (Jahr mit dem höchsten Marktanteilszuwachs) wird – **1.8 Jahre** früher erreicht als in der Schweiz insgesamt.
- Längerfristiger PEV-Marktanteil: Bis zum Prognosehorizont wird im Kanton Zug ein um **+ 25.3 %** höherer Anteil des gesamten PKW-Neuwagenmarkts elektrifiziert werden können, vor allem aufgrund der Kaufkraft der Neuwagenkäufer (Kt. ZG: jüngste und am stärksten motorisierte PKW-Flotte aller Kantone).

12.3 Einfluss von ausserkantonalen Fahrzeugen

Die hier prognostizierte Marktpenetration für den Kanton Zug basiert auf die Fahrleistung der im Kanton immatrikulierten Autos. Aufgrund vom Transitverkehr, Pendler und Tourismus kann nicht vereinfacht angenommen werden, dass die Fahrleistungen auf dem Kantonsgebiet ausschliesslich von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen zurückgelegt werden. Ein Teil der Fahrleistung wird von ausserkantonalen Fahrzeugen zurückgelegt und beeinflusst die Nachfrage nach Schnellladung wesentlich – umgekehrt findet ein Teil der Fahrleistung von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen nicht auf dem Territorium des Kantons Zug statt und beeinflusst (in welcher Richtung auch immer) die Nachfrage nach Schnellladung in an den Kanton angrenzenden Gebieten.

Die ausserkantonale Flotte spielt eine Rolle je nach Fragestellung:

- Für *home charging* sind ausschliesslich im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen zu berücksichtigen;
- Auch für Fragen zur Entwicklung der kantonalen Motorfahrzeugsteuer-Erträge ist ausschliesslich die Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen relevant;
- Für *workplace charging* ist grösstenteils die Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen relevant;
- Für *Points of Interest (POI) charging* ist grösstenteils die Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen relevant, bei bestimmten POI (Points of Interest) mit einem höheren Anteil auswärtiger Kunden kann ein entsprechendes Mischverhältnis berücksichtigt werden;

Für *fast charging* ist immer eine Mischung aus Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen und Flotte von ausserkantonalen Fahrzeugen zu berücksichtigen, da Elektroautofahrer in Zukunft hauptsächlich zu Hause aufladen werden – ausser eben, wenn sie nicht zuhause sind, und dann auf «fast charging» angewiesen.

12.4 Resultate für den Kanton Zug

Abbildung 20 zeigt die Marktpenetrationen von Elektrofahrzeugen (Summe der Kategorien BEV und PHEV) für die drei Szenarien bis 2040 im Kanton

Zug, für die im Kanton Zug immatrikulierten Fahrzeuge. Abbildung 21 zeigt die gleichen Daten, jeweils im Vergleich zu jenen für die ganze Schweiz.

Abbildung 22 zeigt die Zusammensetzung des Neuwagenmarkts und des Fahrzeugparks in den verschiedenen Szenarien für den Kanton Zug in Jahresschritten bis 2040. Die Abbildungen auf der linken Seite zeigen die absolute Anzahl an Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) je nach Szenario, die neu zugelassen werden. Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen die prozentualen Anteile von Elektrofahrzeugen an der Gesamtflotte.

Als Fazit lässt sich festhalten, ...

... dass beim Bedarf an Ladeinfrastruktur im Bereich *home charging* und *workplace charging* die Entwicklung im Kanton Zug etwas schneller anläuft als in der restlichen Schweiz. Das führt dazu, dass im Kanton Zug bei sofortigem Handeln spätere Nachrüstungskosten vermieden werden können, während hier der Rückstand in anderen Kantonen bereits grösser ist. Damit im Kanton im Jahre 2040 zwischen 30'000 und 60'000 Elektrofahrzeuge am Wohn- und/oder Arbeitsort eine Wallbox vorfinden können, ist es wichtig, dass Bauherren und Gebäudeeigentümer sofort damit beginnen, im Rahmen von Neubauten, Umbauten und Renovationen alle jeweils betroffenen Parkplätze auf die Elektromobilität vorzubereiten.

... dass ausgewählte Points Of Interest im Bereich des *Points of Interest (POI) charging*, namentlich Hotels und Freizeitanlagen, stark durch die Flotte von ausserkantonalen Fahrzeugen beeinflusst werden.

... dass der Bedarf an *fast charging* im Kanton Zug zum Teil durch die Flotte von ausserkantonalen Fahrzeugen beeinflusst wird.

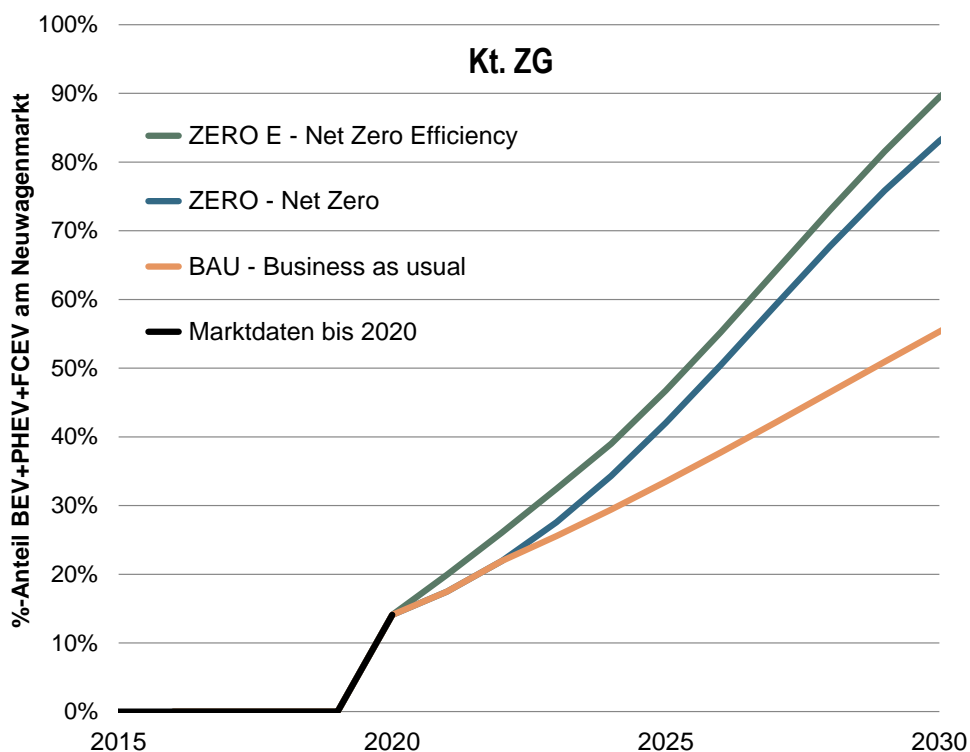


Abbildung 20. Gesamtmarktanteil BEV+PHEV für den Kanton Zug in den drei Szenarien.

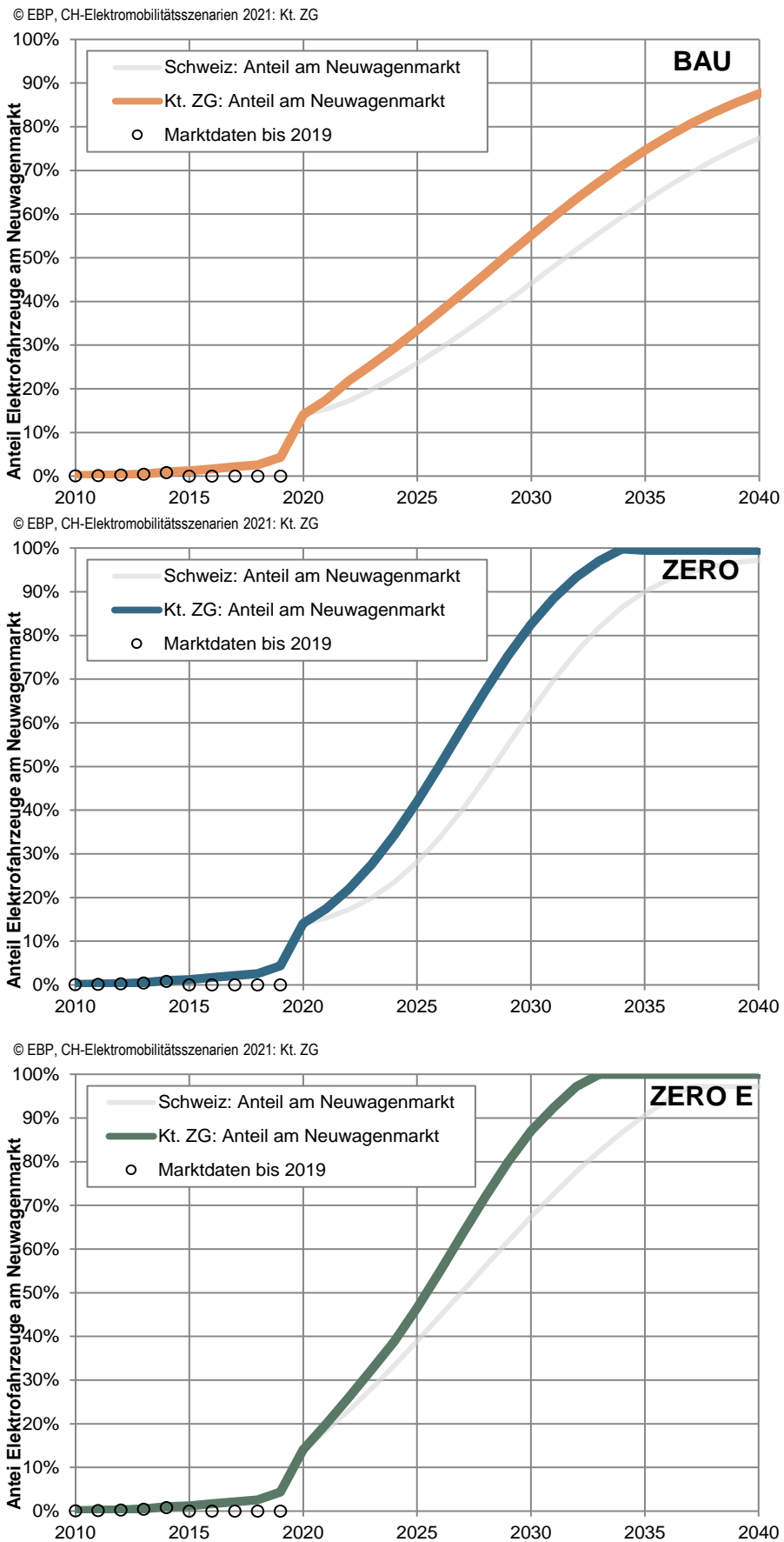
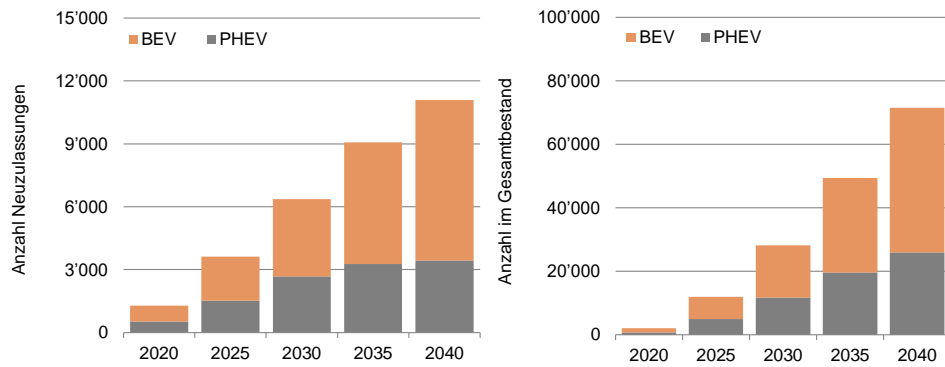
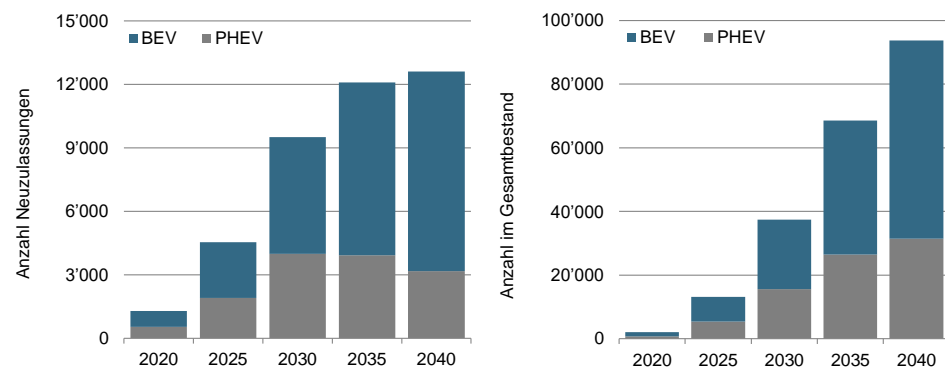


Abbildung 21. Gesamtmarktanteil BEV+PHEV für den Kanton Zug im Vergleich zu den schweizerischen Elektromobilität-Perspektiven.

BAU - Business as usual



ZERO - Net Zero



ZERO E - Net Zero Efficiency

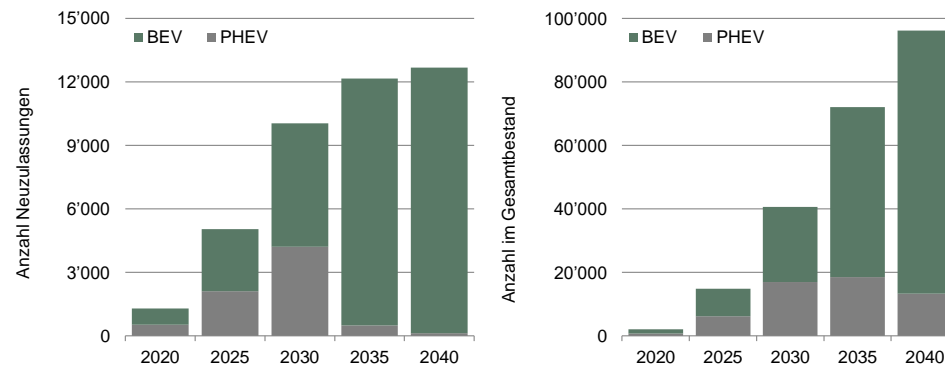


Abbildung 22. Darstellung der BEV+PHEV-Anteil an Neuwagenmarkt und Gesamtbestand der Personenwagen im Kanton Zug.

A1 Literaturverzeichnis

- ARE 2016. Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040. Hauptbericht. INFRAS, EBP und PTV in Auftrag ARE. Bern, 30. August 2016, 169 Seiten. Download von ARE-Website: [PDF](#) (2.4 MB)
- ARE 2020. Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017. [Link](#).
- BAFU 2017. Totalrevision des CO₂-Gesetzes für die Zeit nach 2020 – Entwurf des Bundesrates vom 1.12.2017. Downloadlink von der BAFU-Website: [PDF](#) (3.4 MB)
- BFE 2020a. Energieperspektiven 2050+ Kurzbericht. Prognos im Auftrag BFE. November 2020, 110 Seiten. BFE-Website: [PDF](#)
- BFE 2020b. Energieperspektiven 2050+ Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. Prognos im Auftrag BFE. November 2020, 36 Seiten. BFE-Website: [PDF](#)
- BFS / ARE, 2017c. Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Neuchâtel und Bern.
- BFS 2021a. Bestand der Strassenfahrzeuge nach Fahrzeuggruppe und Fahrzeugart, ab 1990. [Link](#).
- BFS 2021b. Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kantonen und technischen Merkmalen. [Link](#).
- BFS 2020a. Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050. [Link](#).
- BFS 2020b. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton 1991–2019. [Link](#).
- BFS 2017b. Statistik der Unternehmensstruktur. Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Gemeinde, Wirtschaftssektor und Grössenklasse 2011–2015. Downloadlink von der BFS-Website: [Link](#)
- de Haan P, Peters A, Soland M, 2016. Die Effizienzlücke beim Autokauf: Zielgruppenspezifische Gründe und Massnahmen. EBP, Fraunhofer ISI und Universität Zürich für Programm Energie - Wirtschaft - Gesellschaft des Bundesamts für Energie. Zürich, 23. Juni 2016, 106 Seiten. Download von BFE-Website: [PDF](#) (3.0 MB)
- de Haan P, Peters A, Semmling E, Marth H, Kahlenborn W, 2015. Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. EBP, Fraunhofer ISI und adelphi für Umweltbundesamt (UBA). Texte 31/2015, Forschungskennzahl 3711 14 104, ISSN 1862-4804, Desslau-Roßlau, Juni 2015, 112 Seiten. Download von UBA: [PDF](#) (2.6 MB)
- de Haan P, Zah R, Bernath K, Bruns F, 2013. Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. EBP und EMPA im Auftrag des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzungen der Akademien der Schweiz (TA Swiss). Download von vdf-Verlag: [PDF](#) (10.0 MB)
- de Haan P, et al, 2009. Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Eindämmung. ETH Zürich IED-NSSI, für Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie. Zürich, 265 Seiten. Download von ETH-Bibliothek: [PDF](#) (5.1 MB)
- de Haan P, Müller M G, Peters A, Hauser A, 2007. Lenkungsabgaben zur Senkung des CO₂-Ausstosses der PKW-Neuzulassungen: Hintergrund, Mechanismen, Prognosen. Schlussbericht. ETH Zürich für BFE Energiewirtschaftliche Grundlagen. 154 Seiten. Download von BFE: [PDF](#) (1.2 MB)
- EBP 2021a. **Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2021.** Energienachfrage der Elektro- und H2-Personenwagen, 8. März 2021. Download von EBP-Webseite: [Download-Link](#) (1.4 MB; 26 Seiten)

- EBP 2021b. Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz und im Kanton Zug bis 2040 – Update 2021. Kurzbericht im Auftrag Kanton Zug, Sicherheitsdirektion, 29. März 2021.
- EBP 2020. Handlungsspielräume der Städte für eine klimaneutrale Mobilität. Im Auftrag der Städtekonferenz Mobilität. Download von SKM-CVM: [Link](#).
- EBP 2019b. Internationale E-Charta Bodensee – gemeinsam elektrisch unterwegs in der Vierländerregion. Im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz. Download von IBK-Website: [PDF](#) (1.3 MB)
- EBP, Ecoplan und e'mobile 2018. **Förderinstrumente für effiziente Fahrzeuge: Auswirkungen auf Kauf und Nutzung von Autos.** Im Auftrag SVI und ASTRA. [Download-Link mobilityplattform.ch](#) (157 Seiten, 3.4 MB)
- EBP 2018a. **Relevante Faktoren für ein Mobilitätssystem mit geringen Umweltwirkungen.** Im Auftrag Bundesamt für Umwelt (BAFU). Zollikon, 17.12.2018, 47 Seiten. [Download PDF](#) (1.0 MB)
- EBP 2018b. Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau. Im Auftrag des Kantons Thurgau, Abteilung Energie, Frauenfeld. Download von Website des Kt. TG: [PDF](#) (1.5 MB)
- EBP 2018c. Strategie Elektromobilität Bodenseeraum. Im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz. Download von IBK-Website: [PDF](#) (1.3 MB)
- EBP 2018d. Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2018. EBP-Grundlagen zu Energie und Mobilität. Download von der EBP-Website: [PDF](#) (0.8 MB)
- EBP 2017a. Barometer Auto und Mobilität von morgen 2017. EBP-Grundlagenbericht, 4. Oktober 2017, 54 Seiten. Download von EBP-Website: [PDF](#) (2.0 MB)
- EBP 2017b. Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2016. 21. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung (avec résumé en français). 12. Juni 2017, 49 Seiten. Download von BFE-Website: [PDF](#) (1.2 MB).
- EBP 2017c. [Synthetische Bevölkerung Schweiz](#). Untersuchungen der Wohnsituation, des Mobilitäts- und Konsumverhaltens der Schweizer Bevölkerung.
- EBP 2017d. Automatisierte und voll-autonome Fahrzeuge: Akzeptanz verschiedener Anwendungen in der Bevölkerung
- EBP 2017e. Businessplan Ladestellen für die Elektromobilität. Im Auftrag eines nationalen Energieversorgers. EBP-Website: [Link](#)
- EBP 2017f. Wirksame Förderung von Elektrotaxis in Basel-Stadt. Im Auftrag des Kantons Basel-Stadt, Amt für Umwelt und Energie, Basel. EBP-Website: [Link](#)
- EBP, Fraunhofer ISI und UZH 2016. **Die Effizienzlücke beim Autokauf: Zielgruppenspezifische Gründe und Massnahmen.** EBP, Fraunhofer ISI und Universität Zürich im Auftrag Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Energie-Wirtschaft-Gesellschaft, 29. Juni 2016. [Download-Link Researchgate](#) (106 Seiten, 3.0 MB)
- EBP 2016a. Barometer Auto und Mobilität von morgen 2016. Grundlagenbericht Ernst Basler + Partner. Zollikon, 8. Juni 2016, 56 Seiten. Website EBP-Grundlagendokumente: [Link](#); direkter Download des Berichts: [Link](#) (5.4 MB)
- EBP 2016b. Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2015. 20. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung (avec résumé en français). 16. Juni 2016, 50 Seiten. Download von BFE-Website: [PDF](#) (1.2 MB).
- EBP 2016c. Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2016. EBP-Grundlagen zu Energie und Mobilität. Download von der EBP-Website: [PDF](#) (0.6 MB)

- EBP und Ecoplan 2015. **Fehlanreize im Mobilitätsbereich aus Sicht des Energieverbrauchs**. EBP und Ecoplan im Auftrag Bundesamt für Energie (BFE), 30. Sep. 2015, 116 Seiten. [Link](#) (116 Seiten, 1.3 MB)
- EBP 2015a. Barometer Auto und Mobilität von morgen 2015. Grundlagenbericht Ernst Basler + Partner. Zollikon, 30. Juni 2015, 54 Seiten. Website EBP-Grundlagendokumente: [Link](#); direkter Download des Berichts: [Link](#) (3.2 MB)
- EBP 2015b. Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014. 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung (avec résumé en français). 11. Juni 2015, 45 Seiten. Download von BFE-Webseite: [Link](#) (1.4 MB).
- EBP 2015c. **Realverbrauch von Personenwagen im Alltag**: Modellversion 2015. EBP-Hintergrundbericht. Download von Website EBP-Grundlagendokumente: [Download-Link](#) (14 Seiten, 0.7 MB)
- EBP 2015d. Chancen der Elektromobilität für den Kanton Graubünden. Im Auftrag des Kantons Graubünden, Amt für Energie und Verkehr, Amt für Natur und Umwelt, Chur. Direkter Download des Berichts: [Link](#) (1.1 MB)
- EBP 2015e. Elektromobilität Region Basel: Massnahmenkonzept. Im Auftrag des Kantons Basel-Stadt, Amt für Umwelt und Energie, Basel. Direkter Download des Berichts: [Link](#) (1.1 MB)
- EBP 2014a. Barometer Auto und Mobilität von morgen 2014. Grundlagenbericht Ernst Basler + Partner. Zollikon, 30. Mai 2014, 35 Seiten. Website EBP-Grundlagendokumente: [Link](#); direkter Download des Berichts: [Link](#) (1.2 MB)
- EBP 2014b. Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014. 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung (avec résumé en français). 11. Juni 2015, 45 Seiten. Download von BFE-Webseite: [Link](#) (1.4 MB).
- EnergieSchweiz, 2017. Handlungsleitfaden «Elektromobilität für Gemeinden». Erarbeitet von EBP und Synergo im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern. Direktdownload von BFE-Website: [PDF](#) (7.7 MB)
- ICCT 2020. Real-world usage of plug-in-hybrid electric vehicles: fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. [Link](#).
- IEA 2017. Global EV Outlook 2017. International Energy Agency, Frankreich, Juni 2017, 71 Seiten. Downloadlink: [PDF](#) (3.6 MB)
- Moore G A (2014). Crossing the Chasm, 3rd Edition: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream Customers. HarperBusiness, 28. Januar 2014, 288 Seiten, ISBN 978-0062292988
- Perret F, Arnold T, Fischer R, de Haan P, Haefeli U, 2020. Automatisiertes Fahren in der Schweiz: Das Steuer aus der Hand geben? Herausgeber TA-Swiss, Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung. Vdf Verlag, Zürich 2020, ISBN: 978-3-7281-3995-5. Gratis-Download unter <https://vdf.ch/automatisiertes-fahren-in-der-schweiz-das-steuer-aus-der-hand-geben.html>
- Plötz P, Funke S A, Jochem P, Wietschel M, 2017. CO₂ mitigation potential of plug-in HEV larger than expected. Nature scientific reports, Art. 16493 ([Link](#))
- PSI (2021). Calculator-Version 1.3.9, available online <https://calculator.psi.ch/>
- Rogers E M (1995). Diffusion of innovations. 4th edition. ISBN 0-02-874074-2
- Romm J (2006). The car and fuel of the future. Energy policy, 34, Nov. 2006, p. 2609–2614, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.025>
- TA Swiss (2013). Siehe de Haan, Zah et al. (2013)
- TA Swiss (2020). Siehe Perret et al. (2020)
- UBA (Umweltbundesamt) 2015. Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. Download von der Website des UBA: [Link](#)