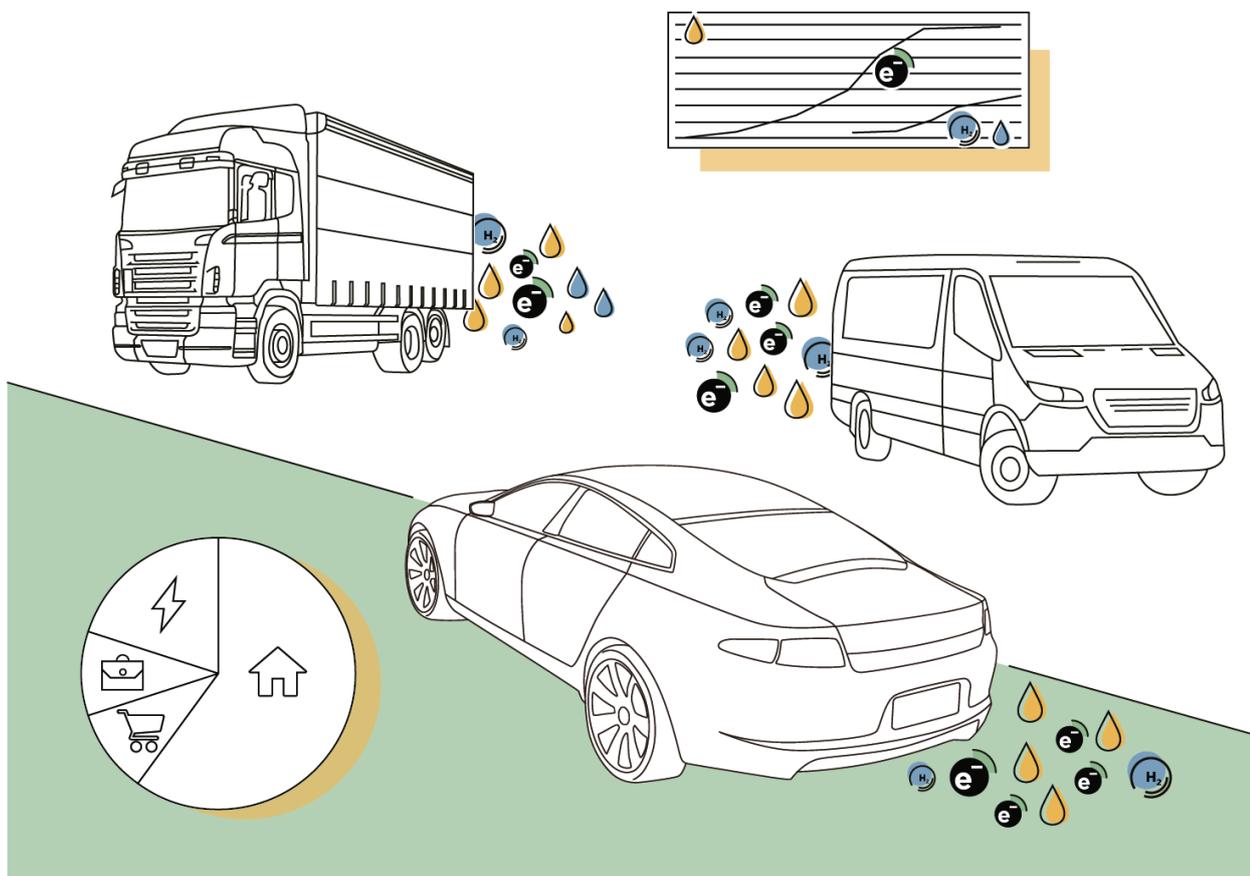


Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022

Regionalized scenarios for passenger cars, light commercial vehicles, heavy commercial vehicles, and buses
May 16, 2022



Bei diesem Dokument handelt es sich um einen öffentlich zugänglichen, kostenlosen Bericht. Er beschreibt die Systemgrenzen, Annahmen, Datenquellen und das zugrundeliegende diffusionstheoretische Modell der *Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022*.

Die dem Bericht zugrundeliegenden Daten bietet EBP online zum Kauf an. Sie liefern eine marktführende Datengrundlage für zukunftsweisende Entscheidungen, unterstützen die datenbasierte Erarbeitung von Geschäftsmodellen oder Massnahmenplänen zur Erreichung der Netto-Null-Klimaziele im Bereich der Elektro- und Wasserstoffmobilität.

Erhältlich sind bis zu drei verschiedene, kombinierbare Datenpakete zu den Themen Verkehr, Energie und Ladewelten:

- Auf schweizerischer, kantonaler oder kommunaler Ebene
- Für bis zu vier verschiedene Fahrzeugkategorien (Personenwagen, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, sowie Busse)
- Für die drei Szenarien «Business As Usual», «ZERO – E» und «ZERO – Hydrogen Focus»
- Mit Prognosen bis ins Jahr 2050

Interessiert? Bestellen Sie auf Ihre Bedürfnisse abgestimmten Daten unter ebp.ch/ehm-scenarios.



Autoren

Peter de Haan, Silvan Rosser, Lukas Lanz, Felix Ribl, Michele Chamberlin, Alessio Mina

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich, Schweiz
Telefon +41 44 395 13 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Version 16. Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Mobilitätstrends in der Schweiz	4
2.	Marktanteil nach Antriebstechnologie im Jahr 2021	5
3.	Die batterie-elektrische Mobilität kommt sowieso...	7
4.	Plug-in-Hybride als Übergangstechnologie	9
5.	Rolle von Wasserstoff im Strassenverkehr	10
6.	Szenarien zur Entwicklung der Marktanteile bis 2050	11
7.	Der Szenariorahmen: Entwicklung von Verkehrsleistung und Fahrzeugbestand	14
8.	Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz	16
9.	Bedarfsentwicklung Wasserstoff	17
10.	Bedarfsentwicklung flüssiger Treibstoffe	19
11.	Gesamt-Umweltbelastung von Personenwagen	20
12.	Bottom-up-Modellierung des Strassenverkehrs	22
13.	Spezifische Szenarien für alle Kantone, Städte und Gemeinden der Schweiz	27
14.	Einsatz der Szenarien für Kantone, Städte, Energieanbieter und Parkhäuser	28

1. Mobilitätstrends in der Schweiz

Der Mobilitätssektor verursacht heute mit 40 % die meisten inländischen Treibhausgasemissionen (BFE 2020a, Boulouchos et al. 2021). Damit die Schweiz ihr Ziel der Klimaneutralität bis 2050 erreichen kann, sind deshalb grundlegende Veränderungen im Mobilitätssektor notwendig. Es ist zu erwarten, dass der batterie-elektrische Antrieb dabei die zentrale Rolle spielt. Noch nicht genau absehbar ist, in welchem Umfang und bei welchen Fahrzeugkategorien auch der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb Marktanteile gewinnt.

Boulouchos et al. (2021) gehen davon aus, dass die kostengünstigste Variante für Personenwagen (PW) einen Mix aus verschiedenen Antriebstechnologien, darunter auch Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEV), sein wird. Sie nehmen an, dass batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicles – BEV) für die meisten Anwendungen im Personenwagenbereich ausreichen und für Fahrzeuge mit anspruchsvollem Einsatzprofil Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge eingesetzt werden. Kober et al. (2019) gehen davon aus, dass sich der Batterieantrieb bei kürzeren Distanzen und leichten Fahrzeugen durchsetzen wird. Gemäss den Energieperspektiven 2050+ (BFE 2022) wird ein Mix aus verschiedenen Antriebstechnologien bei schweren Nutzfahrzeugen erwartet. Neben batterie-elektrischen Antrieben, spielen auch Plug-in-Hybride (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV), Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge und auch synthetische Treibstoffe (e-Fuels) eine Rolle.

Jöhrens et al. (2022) und Patt (2021) kommen zum gleichen Schluss, dass sich BEV auch bei Lastwagen für längere Distanzen durchsetzen werden und FCEV ein Nischenprodukt bleiben wird. Momentan spricht auch die Neuzulassungsrate bei schweren Nutzfahrzeugen dafür: In Europa und der Schweiz werden auch in der Kategorie der schweren Nutzfahrzeuge doppelt so viele batterie-elektrische Lastwagen als Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lastwagen zugelassen (Basma und Rodriguez 2021).

Batterieelektrischen Fahrzeugen, Plug-in-Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen werden das zukünftige Bild des Strassenverkehrs prägen. Sie alle sind effizienter im Vergleich zum Verbrennungsmotor und damit Teil der Energiewende im Verkehr. Wird der notwendige Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen, ist die Elektromobilität der Schlüssel für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs und zur Erreichung von Netto-Null.

Batterie-elektrische Fahrzeuge sind besonders vorteilhaft, weil sie den mit erneuerbaren Energien erzeugte Strom direkt nutzen, ohne weitere Umwandlungsschritte und den damit verbundenen Verlusten. Batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV) benötigen daher am wenigsten erneuerbaren Strom. Bereits deutlich mehr erneuerbaren Strom benötigen Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV), dann folgen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und E-Fuels mit einem deutlich höheren Strombedarf. Nach heutigem Wissenstand sind die batterie-elektrischen Fahrzeuge aber

nicht nur bezüglich der Energieeffizienz die beste Option, sondern auch volkswirtschaftlich die günstigste Variante zur Dekarbonisierung des Strassenverkehrs. Bereits heute sind die Gesamtkosten über 200'000 Kilometer über die ganze Lebensdauer des Autos bei batterie-elektrischen Personenwagen tiefer als bei einem vergleichbaren Verbrenner.

2. Marktanteil nach Antriebstechnologie im Jahr 2021

Bei den Personenwagen waren Elektrofahrzeuge (Summe von BEV, PHEV und FCEV) Ende 2021 bereits für knapp 3 % der gesamtschweizerischen Fahrleistung verantwortlich. Ende 2020 lag der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung noch bei 2 %.

Der Marktanteil der reinen batterieelektrischen Autos (BEV) am Neuwagenmarkt aller Personenwagen hat sich 2021 gegenüber 2020 wie bereits im Vorjahr stark erhöht auf aktuell über 13 % (gegenüber 8 % im Vorjahr). Im Jahr 2021 legten auch die Plug-in-Hybride (PHEV) zu, wenn auch mit weniger dynamischem Wachstum: Sie kommen auf einen Anteil am Neuwagenmarkt von rund 9 % (gegenüber 6 % 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 leicht erhöht, er bleibt aber mit 0.03 % noch unbedeutend (siehe Abbildung 1).

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. Dies gilt neben Personenwagen je länger je mehr auch für Fahrzeuge des Nutzverkehrs und für Busse. Der Anteil der Neuwagen mit alternativen Antrieben war zwar 2021 in all diesen Fahrzeugkategorien noch sehr klein: bei den leichten Nutzfahrzeugen betrug er 2.1 % (BEV: 2.1 % / PHEV 0 % / FCEV: 0 %), bei den schweren Nutzfahrzeugen betrug er 1.2 % (BEV: 0.8 % / PHEV 0 % / FCEV: 0.4 %) und bei den Bussen betrug er 3.6 % (BEV: 3.6 % / PHEV 0 % / FCEV: 0 %) (siehe Abbildung 1). Das Angebot von marktfähigen CO₂-armen Fahrzeugen steigt jedoch auch in diesen Fahrzeugkategorien rapide und es ist mit einer Zunahme der Marktanteile zu rechnen. Um sich trotz dieser Unsicherheiten orientieren zu können, stellt EBP mit dem Update 2022 erneut drei Szenarien zur künftigen Entwicklung der Elektromobilität in der Schweiz zur Verfügung – erstmals auch für leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Busse (→ mehr dazu im Kapitel 6).

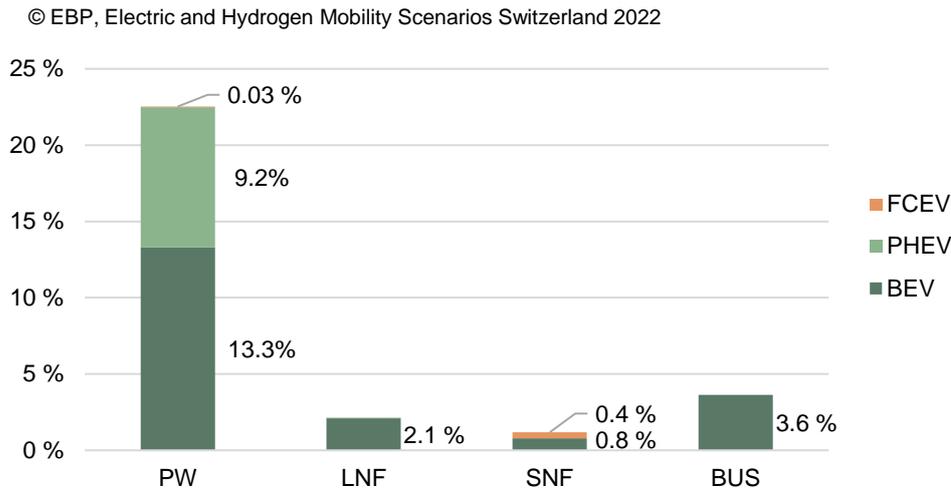


Abbildung 1 Marktanteil der alternativen Antriebe (BEV, PHEV und FCEV) je Fahrzeugkategorie in der Schweiz im Jahr 2021. Datenquelle: Motorfahrzeuginformationssystem der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (MOFIS).

Die Schweiz befindet sich bei der Elektromobilität im vorderen europäischen Mittelfeld, deutlich hinter den Spitzenreitern Norwegen, Island, Schweden und Dänemark. Gegenüber dem Vorjahr hat die Elektromobilität in ganz Europa deutlich Marktanteile gewonnen. Zu den Aufsteigern des Jahres gehört insbesondere Deutschland. Deutschland lag im letzten Jahr bezüglich Marktanteile noch hinter der Schweiz. 2020 stieg der Elektroanteil nun auf rund 26 % (siehe Abbildung 2). In Norwegen waren 2020 bereits fünf von sechs neuzugelassenen Personenwagen elektrisch.

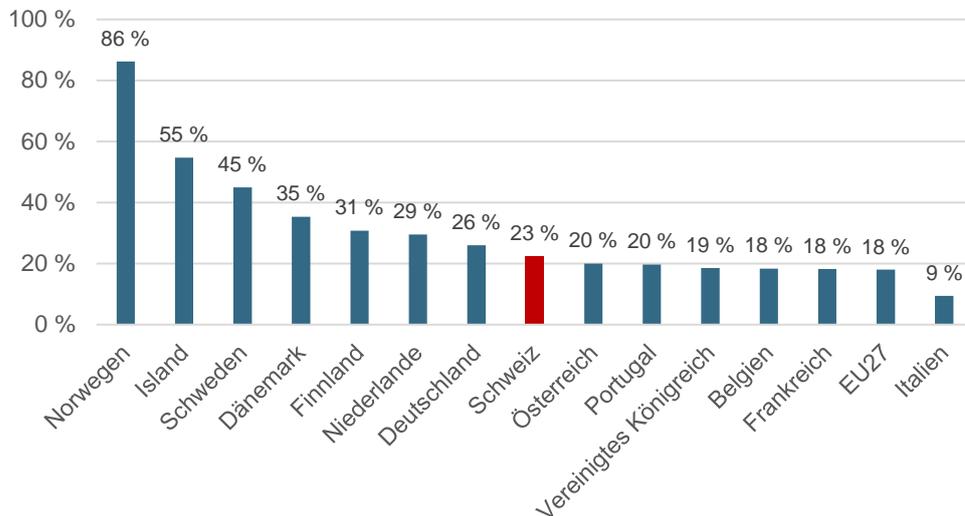


Abbildung 2 Marktanteil der Steckerfahrzeuge (BEV + PHEV) am Neuwagenmarkt der Personenwagen in ausgewählten europäischen Ländern im Jahr 2021. Datenquelle: ACEA 2022.

3. Die batterie-elektrische Mobilität kommt sowieso...

Das Herzstück jedes Elektrofahrzeugs – die Batterie – hat sich in den letzten rund 10 Jahren enorm entwickelt. Eine Batterieeinheit von einem Kilogramm konnte im Jahr 2021 bis zu dreimal mehr Strom speichern als noch im Jahr 2010. Im Gleichschritt hat sich auch die Reichweite der Elektrofahrzeuge entwickelt. Die meisten heute neu in Verkehr gesetzten, rein elektrischen Personenwagen haben daher auch eine reale Reichweite von mehr als 400 Kilometer. Eine Vollladung der Batterie alle ein bis zwei Wochen würde im Prinzip ausreichen.

Auch in den nächsten Jahren ist mit einer weiteren, deutlichen Verbesserung bei der gewichtsbezogenen Energiedichte der Lithium-Ionen-Batterien zu rechnen. Bereits in 10 Jahren werden gleich grosse Batterien rund zwei Drittel mehr Strom speichern können. Die meisten rein elektrischen Personenwagen, die im Jahr 2035 neu in Verkehr gesetzt werden, bieten dann reale Reichweiten von mehr als 600 Kilometer und werden sich in Punkto Reichweite kaum noch von den heutigen Verbrennerfahrzeugen mehr unterscheiden.

Nicht nur die Energiedichte, sondern auch die Kosten für Lithium-Ionen-Batterien haben eine enorme Entwicklung hinter sich. So lagen die spezifischen Batteriekosten im Jahr 2021 90 % unter dem Wert von 2010. Inflationsbedingt dürften die Preise im Jahr 2022 allerdings sogar leicht höher liegen als 2021 (Bloomberg, 2022). Trotzdem ist in den nächsten 10 Jahren im Idealfall nochmals mit einer Halbierung der spezifischen Kosten zu rechnen.

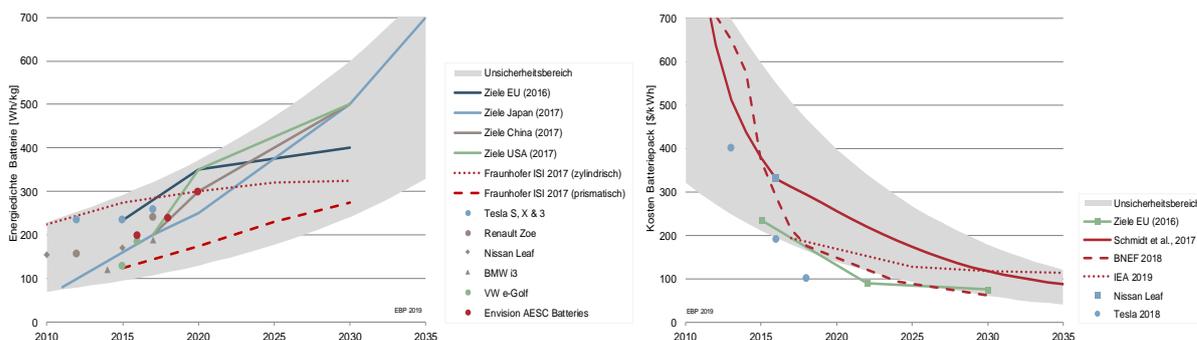


Abbildung 3 Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte (links) und der spezifischen Kosten (rechts) der Batterien bis 2035 (eigene Darstellung EBP).

Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass die batterie-elektrischen Fahrzeuge für immer mehr Anwendungsfälle attraktiv werden – auch in solchen, die vor wenigen Jahren noch unvorstellbar waren. Inzwischen wird der batterie-elektrische Antrieb nicht nur bei den Personenwagen und den leichten Nutzfahrzeugen als dominierende Technologie angenommen, sondern auch bei Linienbussen. Selbst bei Reisebussen und Lastwagen dürften die allermeisten Anwendungsfälle mit batterie-elektrischen Fahrzeugen realisierbar sein. Entsprechend sind in der Schweiz im Jahr

2021 auch doppelt so viele batterie-elektrische als Wasserstoff-Brennstoffzellen-betriebene Lastwagen neu zugelassen worden.

Zahlreiche Hersteller haben inzwischen einen eindeutigen Kurs Richtung batterie-elektrische Zukunft eingeschlagen mit entsprechender Ausweitung der Modellpalette auf alle Segmente und gleichzeitig ihren Verbrenner-Ausstieg angekündigt. So planen beispielsweise Audi, Fiat, Ford, Hyundai, Mini, Opel, Volvo und VW zwischen 2030 und 2035 (einige auch früher) ihre letzten Verbrenner zu verkaufen.

Bereits heute sind rein elektrische Personenwagen trotz höheren Anschaffungskosten bezüglich der Gesamtkosten über 200'000 Kilometer (die ganze Lebensdauer des Autos) betrachtet günstiger als ein Mittelklassewagen mit Benzinmotor (EnergieSchweiz, 2022). Die Kostenparität bei den Gesamtkosten (TCO – Total Cost of Ownership) ist bereits erreicht. Die Kostenparität beim Kaufpreis dürfte je nach Fahrzeugklasse zwischen 2025 und 2030 fallen (ICCT, 2021).

4. Plug-in-Hybride als Übergangstechnologie

Plug-in-Hybride (PHEV) geniessen aktuell eine hohe Nachfrage im Markt. Sind sie ein längerfristiger Baustein für die Dekarbonisierung des Strassenverkehrs – oder nur eine kurzfristige Übergangstechnologie? In der Schweiz und Europa wird ein flächendeckendes Schnellladenetzen aufgebaut. Die Energiedichte der Batterien steigt dank technologischem Fortschritt, gleichzeitig nehmen die Batteriepreise pro kWh ab (Abbildung 3). Damit engt sich das «Fenster» ein, wo es Sinn machen kann, anstelle eines schweren Batteriepakets eine kleinere Batterie zusammen mit einem seriellen Hybridantrieb und einem Benzintank einzubauen.

PHEV dürften, getrieben durch die verschärften CO₂-Emissionsvorschriften für Automobilimporteure, in den nächsten Jahren eine hohe Relevanz behalten. Langfristig werden sie allerdings an Bedeutung verlieren. Einen geringen CO₂-Ausstoss im Alltag haben PHEV dann, wenn sie im Alltagseinsatz fast nur elektrisch verkehren. Wird jedoch mehr mit Verbrennungsmotor gefahren als im WLTP-Zulassungsprüfzyklus implizit unterlegt, fallen die CO₂-Emissionen im Alltag zwei bis vier Mal höher aus (Plötz et al. 2020). Eine Analyse von ICCT (2020) zeigt für 100'000 PHEV einen elektrischen Fahranteil von lediglich 37 % auf (mit dem Höchstwert von 53 % in Norwegen, wo die Ladeinfrastruktur am stärksten ausgebaut ist).

Plug-in-Hybride sind auch nur begrenzt mit dem Netto-null-Emissionen-Ziel kompatibel. Für Netto null Emissionen müssten klimaneutrale biogene oder synthetische Treibstoffe 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.

In Abbildung 4 ist die Treibhausgas-Bilanz für SUV im Jahr 2030 dargestellt (Annahme, dass PHEV 50 % der Kilometer elektrisch zurücklegen). Kurz- bis mittelfristig sind PHEV dann ökologisch sinnvoll, wenn der Verbrenner nur bei wenigen Langstreckenfahrten zum Einsatz kommt. Der Fortschritt der Batterietechnologie wird PHEV bis ca. 2045 obsolet machen.

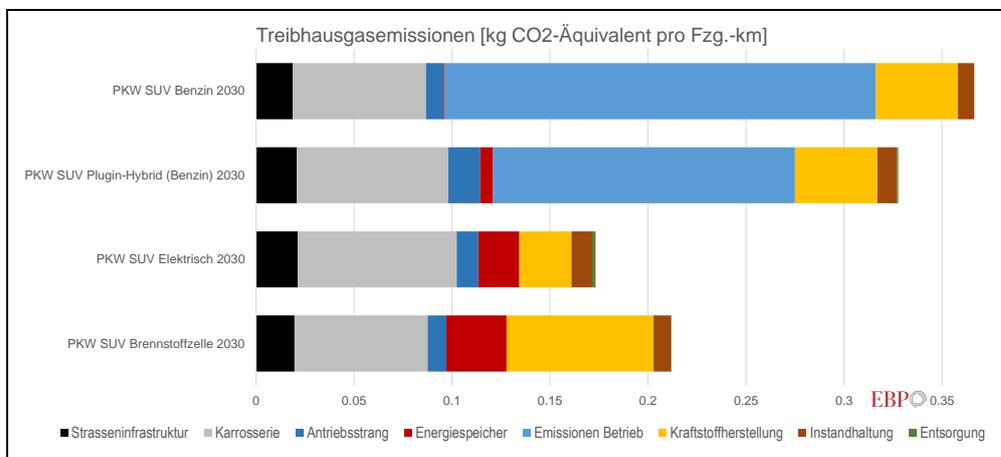


Abbildung 4 CO_{2eq}-Emissionen von SUV im Jahr 2030 je nach Antriebsart, mit Strommix gemäss ZERO-E-Szenario. Datenquelle: EBP-Flottenmodell, BFE (2020b), PSI (2021).

5. Rolle von Wasserstoff im Strassenverkehr

Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) sind technisch komplexer als BEV. Als Basismodell für FCEV-Antriebsvarianten wird in Zukunft in der Regel ein BEV-Modell verwendet werden. Wasserstoff hat eine höhere Energiedichte als Batterien, aber eine geringere als Flüssigtreibstoffe. FCEV haben deshalb eine höhere Reichweite als batterie-elektrische 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. Bei schweren Motorwagen (Schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse) mit ihrem hohen spezifischen Energiebedarf und hoher Tagesfahrleistung können FCEV aber klare Vorteile aufweisen, wenn das bei BEV erforderliche Nachladen tagsüber betrieblich aufwändig oder nicht gewährleistet ist.

Bei den Lieferwagen, Lastwagen und Bussen werden zuerst die Fahrzeuge mit geringeren Reichweiten-Anforderungen durch reine BEV ersetzt. Wer auf grössere Reichweiten und kurze Betankungszeiten angewiesen ist, wird in nächster Zeit noch auf Verbrennungsmotoren setzen. Unter einer Netto-Null-Emissionen-Politik würden diese reinen Verbrenner (ICE) entweder durch FCEV mit kleinerer Batterie und grosser H₂-Reichweite ersetzt oder durch mit Wasserstoff-Brennstoffzellen (statt Verbrennungsmotoren) ausgerüsteten PHEV. Solche H₂-PHEV, mit grösserer Batterie und einem geringeren Einsatz von H₂, könnten bei ambitiösen 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. Denn solche PtL-Technologien brauchen pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer zwei- bis viermal so viel Energie wie BEV-Antriebe (Kober et al 2019, S. 28).

In allen drei Szenarien spielen 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. Relevant kann der Einsatz von Wasserstoff bei Lastwagen und Bussen werden. Diese Potenziale werden im Szenario ZERO – Hydrogen Focus aufgezeigt (siehe Kapitel 6).

6. Szenarien zur Entwicklung der Marktanteile bis 2050

Die Entwicklung der Marktanteile je Antriebstechnologie bis ins Jahr 2050 wird für Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge und Busse (jeweils differenziert für je vier Grössenklassen) anhand von drei Szenarien beschrieben. Die Szenarien liegen für alle Fahrzeugkategorien für die Schweiz sowie räumlich feinaufgelöst für alle Kantone und Gemeinden der Schweiz vor (siehe Kapitel 14).

In welchem Jahr wie viele Fahrzeuge mit alternativem Antrieb zugelassen werden, hängt stark von den CO₂-Emissionsvorschriften für neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge ab. Die Schweiz orientiert sich dabei an den Vorgaben der EU. Aktuell gilt in der EU und in der Schweiz ein Zielwert von 95 gCO₂/km für Personenwagen und von 147 gCO₂/km für leichte Nutzfahrzeuge. Neu in Verkehr gesetzte schwere Nutzfahrzeuge müssen aktuell keine CO₂-Zielwerte einhalten. Ab 2025 gelten in der EU für alle Fahrzeugkategorien Zielwerte, die 15 % unter dem Wert des Jahres 2021, respektive 2019/2020 bei schweren Nutzfahrzeugen liegen. Diese Zielwerte werden dann ab 2030 weiter verschärft.

	2020–2024	2025–2029	Ab 2030
Personenwagen	95 gCO ₂ /km	–15 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021	–37,5 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021
Leichte Nutzfahrzeuge	147 gCO ₂ /km	–15 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021	–31 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021
Schwere Nutzfahrzeuge	Kein Zielwert	–15 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2019/20	–30 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2019/20

Tabelle 1 Aktuelle geltende Emissionsvorschriften für neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge.

Die EU-Kommission hat im Rahmen des Klimapakets «Fit for 55» im Juli 2021 allerdings eine deutliche Verschärfung der aktuell geltenden Zielwerte für 2025 und 2030 vorgeschlagen. Anfang Mai 2022 hat auch der Umweltausschuss des Europäischen Parlaments für eine entsprechende Verschärfung gestimmt. Es ist damit zu rechnen, dass Autohersteller ihre durchschnittlichen Flottenemissionen bis zum Jahr 2025 im Vergleich zu 2021 um 20 %, bis 2030 um 55 % und bis 2035 um 100 % senken müssen. Für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge gelte damit ab 2035 ein faktisches Verbrenner-Verbot. Bei den schweren Nutzfahrzeugen zeichnet sich ein verschärftes Reduktionsziel von minus 50 % bis 2030 ab und ein faktisches Verbrenner-Verbot zwischen 2035 und 2040.

	2025–2029	Ab 2030	Ab 2035
Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge	–20 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021	–55 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021	–100 % ggü. EU-Durchschnitt im Jahr 2021

Tabelle 2 Vorschlag des EU-Umweltausschusses zur Verschärfung der CO₂-Vorschriften.

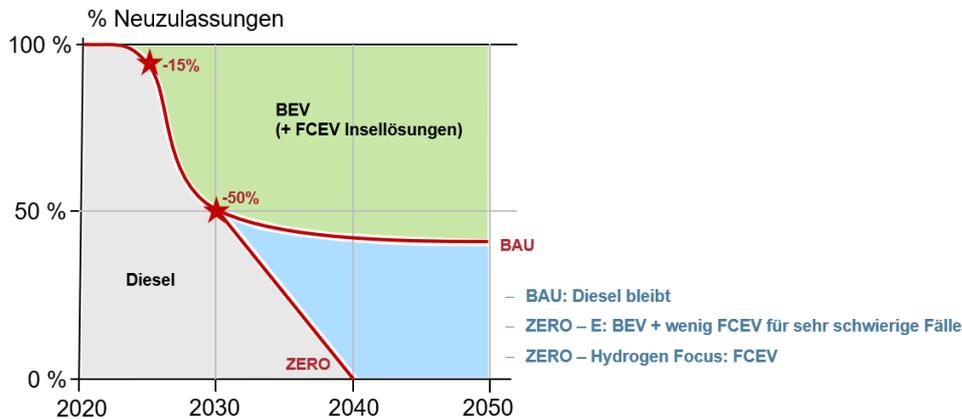


Abbildung 5 Grundprinzip der drei EBP-Szenarien für schwere Nutzfahrzeuge.

Da sich die CO₂-Emissionsvorschriften der EU auf den Neuwagenmarkt und nicht auf die tatsächlich gefahrenen Kilometer beziehen, gehen wir davon aus, dass sich die heute geltenden, aber auch die vorgeschlagene Verschärfung der CO₂-Emissionsvorschriften bis 2030 in allen Fahrzeugkategorien allein mit batterie-elektrischen Neuzulassungen erreichbar ist. Für mehr als die Hälfte aller schweren Nutzfahrzeugen sind batterie-elektrische Fahrzeuge hinsichtlich Einsatzprofile (insbesondere Kurzstrecken-Güterverkehr) technisch möglich und neben dem Diesel die günstigste Option zur Dekarbonisierung. Zur Erreichung des verschärften Zielwertes im Jahr 2030 muss noch kein Langstrecken-LKW elektrifiziert sein. Entsprechend dürfte das Ziel im Jahr 2030 bei den schweren Nutzfahrzeugen praktisch ausschliesslich mit batterie-elektrischen Fahrzeugen zu erreichen sein. Erst nach 2030 werden auch die anspruchsvollen Anwendungsfälle substituiert werden müssen – sofern die Emissionsvorschriften auch bei den schweren Nutzfahrzeugen bis 2040 auf 0 gCO₂/km gesenkt werden. Auch bei diesen schwierigen Anwendungsfällen dürfte sich nach 2030 hauptsächlich der batterie-elektrische Antrieb durchsetzen, da bis dahin erneut mit einer deutlichen Verbesserung hinsichtlich Energiedichte und Reichweite zu rechnen ist. Allerdings könnten sich nach 2030 in diesem «schwer zu elektrifizierenden» Segment auch Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge durchsetzen – allerdings nur, wenn die Kosten für Wasserstoff bis dahin deutlich gesenkt werden können und eine Tankinfrastruktur für den Güterverkehr europaweit bereitsteht. Wasserstoff wird im schweren Strassengüterverkehr langfristig gegenüber dem batterie-elektrischen Antrieb nur dann konkurrenzfähig, wenn Europa grünen Wasserstoff in grossem Stil importieren kann und Wasserstoff zu einer «Global Commodity» wird (European Commission, 2020).

Die drei bottom-up gerechneten Szenarien lassen sich wie folgt charakterisieren:

- **BAU (Business As Usual).** Das Szenario BAU orientiert sich an den heute geltenden CO₂-Emissionsvorschriften für neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge (Tabelle 1) sowie an den technologischen Entwicklungen der verschiedenen Antriebstechnologien. Die Reduktionsziele werden in allen Fahrzeugkategorien hauptsächlich mit batterie-elektrischen Fahrzeugen erreicht. Nach 2030 werden die CO₂-Emissionsvorschriften nicht weiter verschärft. Das Szenario ist nicht kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel 2050. Die Bedeutung der konventionellen Verbrennungsmotoren nimmt langfristig ab, allerdings bleiben die «schwer zu elektrifizierenden» Segmente primär Plug-in-Hybride und Dieselfahrzeuge.
- **ZERO – E.** Das Szenario ZERO – E orientiert sich am aktuellen Vorschlag des EU-Umweltausschusses (Tabelle 2) zur Verschärfung der CO₂-Emissionsvorschriften und hinterlegt ein faktisches Verbrennerverbot für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge ab 2035 und für schwere Nutzfahrzeuge ab 2040. Das Szenario ist kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel 2050. Der batterie-elektrische Antrieb ist die Schlüsseltechnologie zur Dekarbonisierung des Strassenverkehrs und dominiert den Markt in allen Fahrzeugkategorien und Grössenklassen deutlich. Plug-in-Hybride spielen bei den Personenwagen nur kurzfristig eine relevante Rolle und verschwinden nach 2040 wieder vom Markt. Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge werden nur in Nischenanwendungen eingesetzt.
- **ZERO – Hydrogen Focus.** Das Szenario ZERO – Hydrogen Focus orientiert sich am aktuellen Vorschlag des EU-Umweltausschusses (Tabelle 2) zur Verschärfung der CO₂-Emissionsvorschriften und hinterlegt ein faktisches Verbrennerverbot für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge ab 2035 und für schwere Nutzfahrzeuge ab 2040. Das Szenario ist kompatibel mit dem Netto-Null-Ziel 2050. Der batterie-elektrische Antrieb dominiert kurz- und mittelfristig den Markt in allen Fahrzeugkategorien und Grössenklassen deutlich. Nach 2030 wird Wasserstoff zu einer kostengünstigen «Global Commodity». Fahrzeugsegment mit Dieselantrieb (insbesondere Langstrecken-Güterverkehr und Reisebusse), die bis dann noch nicht durch den batterie-elektrischen Antrieb dominiert werden, werden zunehmend durch Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge substituiert.

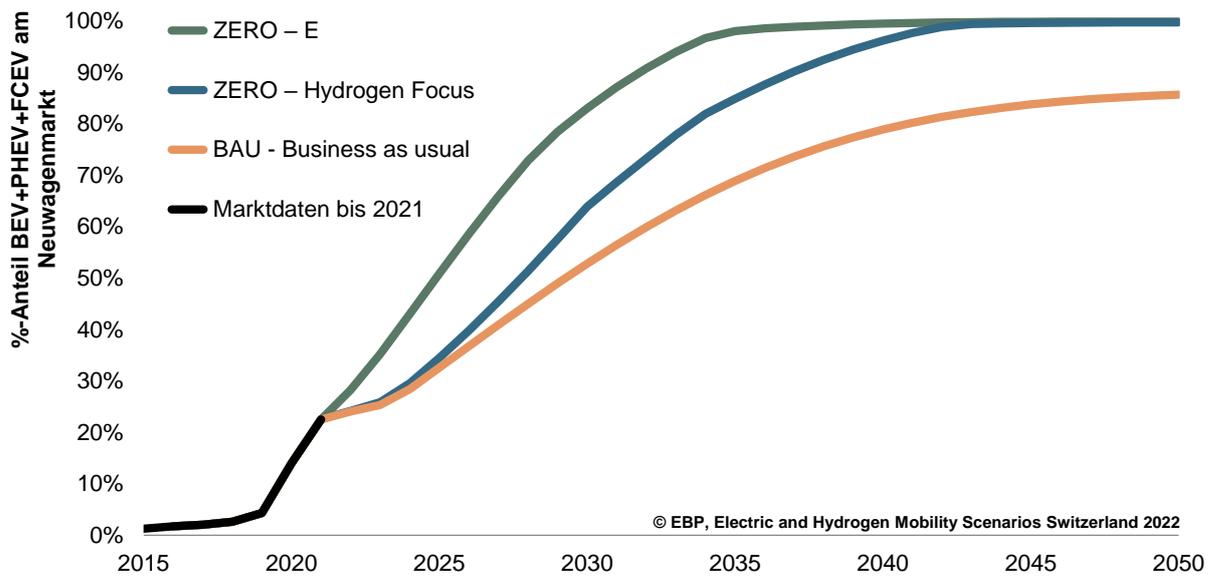


Abbildung 6 Drei Szenarien zur künftigen Entwicklung der Marktanteile für BEV, PHEV, FCEV.

7. Der Szenariorahmen: Entwicklung von Verkehrsleistung und Fahrzeugbestand

Das vorliegende Update 2022 berücksichtigt das 2020er-Referenzszenario zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020–2050 (BFS 2020a). Im Unterschied zu den Energieperspektiven 2050+ des Bundes, die noch auf den alten Verkehrsperspektiven 2040 basieren, berücksichtigen die Szenarien auch bereits das Basisszenario der aktuellen Verkehrsperspektiven 2050 (ARE 2022). Auch wird die neue ständige Wohnbevölkerung (BFS 2020b), der Motorfahrzeugbestand (BFS 2021a) und die kantonale Verteilung der Erstinverkehrsetzungen (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.

Das Modell berücksichtigt die verkehrliche Entwicklung des Strassenverkehrs in der Schweiz bis 2050 und leitet daraus die Entwicklung des Fahrzeugbestands über ein Kohortenmodell ab. Das Kohortenmodell bildet die Lebensdauer und Dynamik einzelner Jahrgänge des Bestands anhand empirischer Daten ab und modelliert damit die Umwälzung des Bestands in Abhängigkeit des Alters der Fahrzeuge. Durch eine Umlegung auf jeweils vier Grössenklassen wird damit in jeder Fahrzeugkategorie die jährliche Grösse des Neuwagenmarkts ermittelt. Über differenzierte Daten zu spezifischen Fahrleistungen pro Fahrzeug werden zudem aus dem Fahrzeugbestand die jährlichen Fahrleistungen der Flotte berechnet.

Abbildung 7 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. Bis im Jahr 2030 steigt der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung über alle Fahrzeugkategorien gesehen je nach Szenario auf 25

bis 39 %. In den beiden Szenarien ZERO – E und ZERO – Hydrogen Focus erreicht der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung 2050 beinahe 100 %, mit unterschiedlicher Zusammensetzung. In ZERO – Hydrogen Focus spielen PHEV und insbesondere FCEV eine grössere Rolle: Bei SNF und BUS steigt der Fahrleistungsanteil von Wasserstoff-Brennstoffzellen in diesem Szenario bis auf 30 bzw. 41 %. Im Szenario BAU erreicht der Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrleistung 2050 nur 75 %, hauptsächlich getrieben durch die Fahrzeugkategorien LNF, SNF und BUS, wo die Verbrennungsfahrzeuge auch 2050 noch 49, 52 bzw. 43 % ausmachen. Plug-in-Hybride haben insbesondere im Szenario ZERO – E die Funktion einer Übergangstechnologie und verschwinden nach einem Höhepunkt im Jahr 2032 bis 2050 gänzlich von der Strasse.

© EBP, Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022

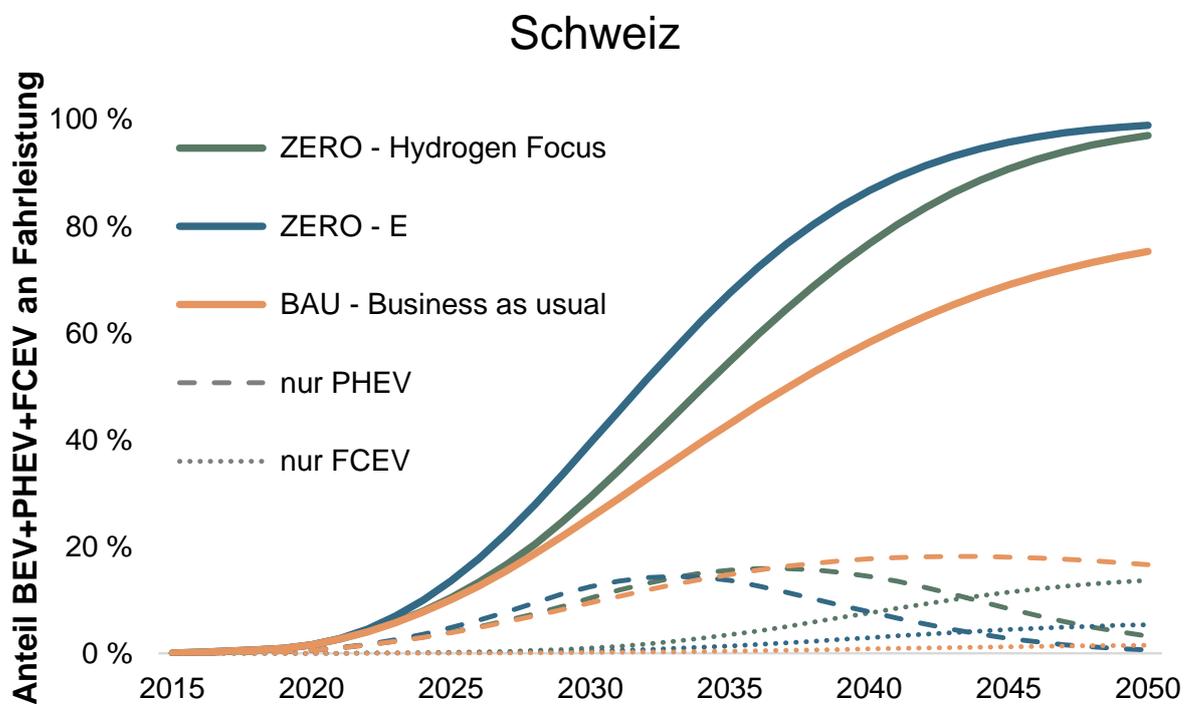


Abbildung 7 Anteil aller Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCEV aller Fahrzeugkategorien) sowie einzeln für PHEV und FCEV an der gesamtschweizerischen Fahrleistung.

8. Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz

Der Strombedarf aller heute in der Schweiz verkehrenden Elektrofahrzeuge beläuft sich schätzungsweise auf rund 400 GWh pro Jahr, über 90 % davon fällt auf die Fahrzeugkategorie der Personenwagen. Im Jahr 2025 dürfte der Stromverbrauch der Elektromobilität bereits bei 2'200 GWh liegen, wobei über 85 % des Bedarfs von den Personenwagen kommt. Im Jahr 2035 steigt der Strombedarf im Szenario ZERO – E bereits über 11'000 GWh sein. Im Jahr 2040 benötigen im Szenario ZERO – E allein die elektrisch angetriebenen Personenwagen mehr als 10'000 GWh Strom pro Jahr (Abbildung 8).

© EBP, Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022

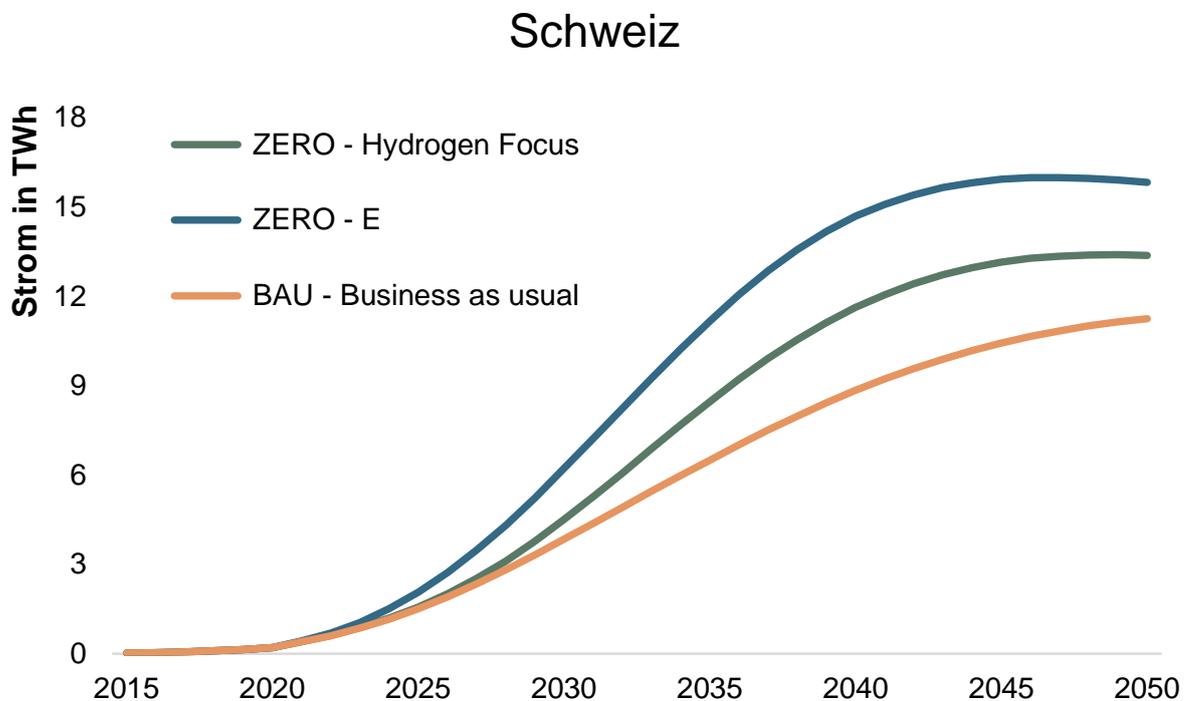


Abbildung 8 Entwicklung des Stromverbrauchs für Personenwagen, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und Busse in der Schweiz bis 2050.

Um den Einfluss der Elektromobilität auf die Verteilnetze zu quantifizieren, nutzen wir die agentenbasierte Modellierung einzelner Ladevorgänge im Hektarraster (siehe Kapitel 12). So lassen sich relevante Kenngrößen für Verteilnetzsimulationen und Stresstests berechnen wie Gleichzeitigkeitsfaktoren sowie der maximale Leistungsbedarf auf Hausanschluss-, Trafo- oder Unterwerkebene (Abbildung 9).

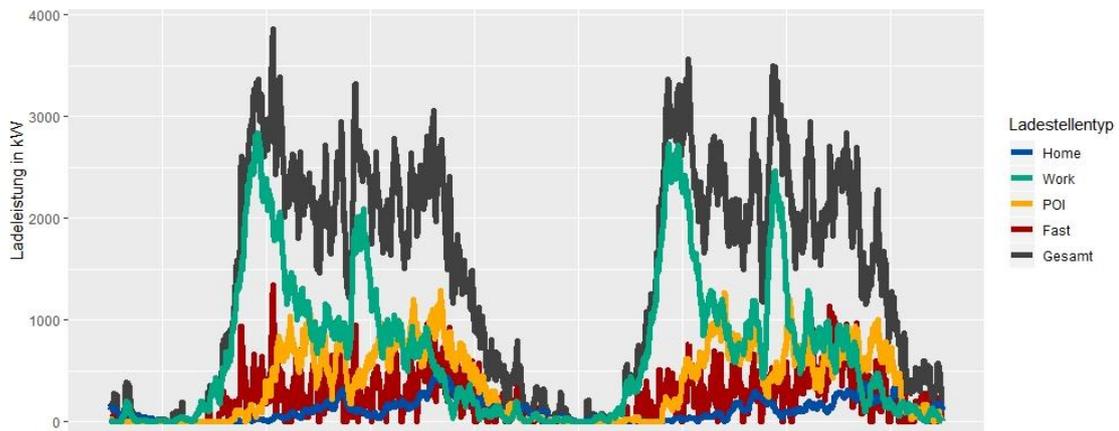


Abbildung 9 Minuten-Ladeprofile je Ladestationstyp für zwei Tage auf Ebene Unterwerk einer Schweizer Stadt im Jahr 2040 bei hoher Marktdurchdringung der Elektromobilität.

Bis im Jahr 2050 dürften in der Schweiz bis zu 40 GW installierte Ladeleistung am Stromnetz hängen – ein Vielfaches der heutigen Jahreshöchstlast. Aufgrund der Ungleichzeitigkeiten ergibt sich allerdings eine deutlich geringere gleichzeitige Maximallast der Elektromobilität. Je nach Lademanagement und Ladeverhalten dürfte der maximale Leistungsbedarf der Ladeinfrastruktur für Personenwagen im Jahr 2050 schweizweit 2 bis 3.5 GW betragen.

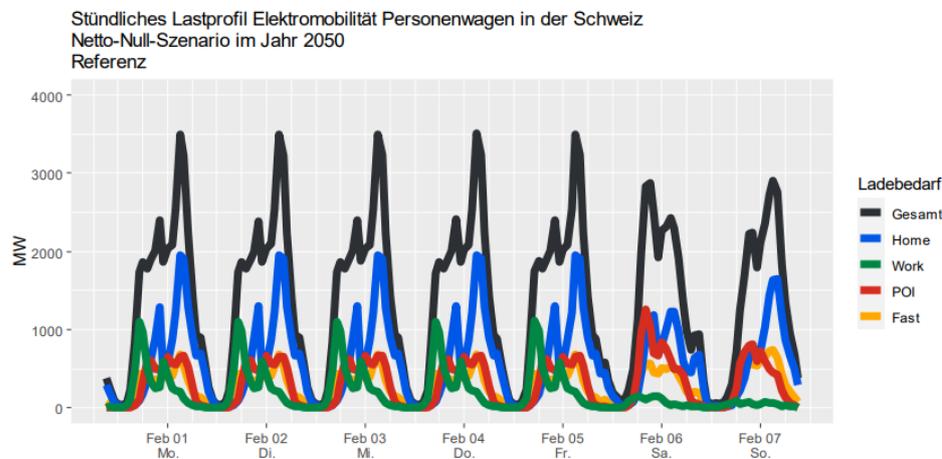


Abbildung 10 Aggregiertes stündliches Ladeprofil in der Schweiz im Jahr 2050 (ohne Smart Charging).

9. Bedarfsentwicklung Wasserstoff

Im Personenverkehr wird Wasserstoff – neben dem Einsatz in Range-Extender-Personenwagen (siehe Kapitel 5) – für Langdistanz-Reisebusse eingesetzt werden. Zusätzlich wird Wasserstoff im Nutzfahrzeugbereich zur Anwendung gelangen, vor allem für Liefer- und Lastwagen mit sehr hoher Tagesfahrleistung.

Hier dargestellt (Abbildung 11) ist der gesamte inländische Wasserstoff-Bedarf des Strassenverkehrs in den drei Szenarien, ohne die allfällig zusätzliche Nachfrage für Transit-LKW, Schiffe und den internationalen Luftverkehr, sowie für das Offroad und Nonroad-Segment (Baumaschinen, Pistenmaschinen, usw.) und für andere Anwendungen ausserhalb des Transportsektors (z. B. Hochtemperaturprozesse in der Industrie).

© EBP, Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022

Schweiz

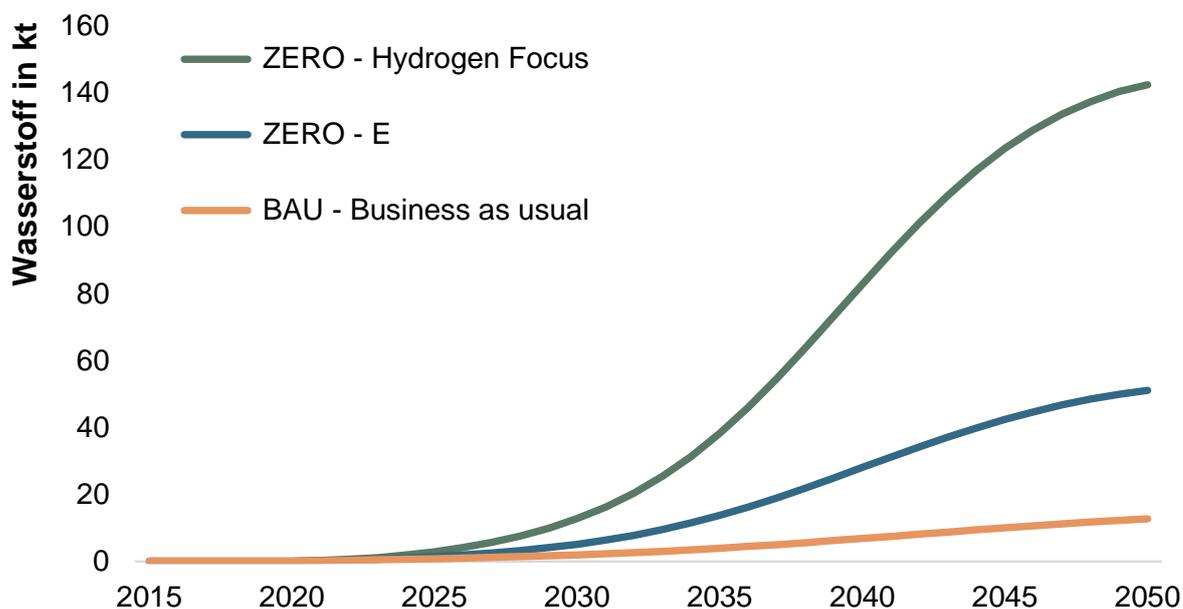


Abbildung 11 Entwicklung des Wasserstoffbedarfs für Personenwagen, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und Busse in der Schweiz bis 2050.

10. Bedarfsentwicklung flüssiger Treibstoffe

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 leicht steigender Fahrzeugbestand und Fahrleistung deutlich ab. In den Szenarien wird die Entwicklung der Nachfrage nach flüssigen Treibstoffen separat für Benzin und Diesel modelliert.

Im Szenario BAU reduziert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2030 um 20 %, bis 2040 um rund 54 % und bis 2050 um 73 %. Insbesondere wird diese Entwicklung durch die Abnahme des Absatzes flüssiger Treibstoffe bei Personenwagen getrieben – bis 2050 nimmt der Absatz bei den PW um 83 % ab, während er beispielsweise bei LNF und SNF nur 44 bzw. 41 % abnimmt.

Im Netto-Null-Szenario ZERO – Hydrogen Focus verringert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2030 um 24 %, 2040 um 75 %, bis 2050 um 97 %. Während in den frühen Jahren wie bei Szenario BAU die Fahrzeuge des Nutzverkehrs und Busse noch bedeutend weniger ihres Absatzes verlieren als die Personenwagen, sinkt der Absatz in diesem Szenario bis 2050 schliesslich doch in allen Fahrzeugkategorien auf maximal 3 % des heutigen Absatzes. Der Bedarf entfällt nach 2045 fast ausschliesslich auf Plug-in-Hybride. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels müssen im Szenario ZERO – Hydrogen Focus ab 2045 zunehmend strombasierte, synthetische Treibstoffe eingesetzt werden. 2050 muss ein Restbedarf von 165'000 m³ Benzin und Diesel durch synthetische Treibstoffe gedeckt werden.

Im Szenario ZERO – E reduziert sich der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2030 um 32 %, bis 2040 um 84 % und bis 2050 um 99 %. Im Unterschied zum Szenario ZERO – Hydrogen Focus reduziert sich im ZERO – E der Absatz flüssiger Treibstoffe noch rascher und deutlicher, in allen Fahrzeugkategorien. So sind nach 2045 praktisch keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren oder Plug-in-Hybride mehr im Bestand, auch bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen, so dass der Bedarf nach synthetischen Treibstoffen verglichen mit dem zweiten Netto-Null-Szenario um nochmals 55 % gesenkt werden kann (knapp 72'000 m³, siehe Abbildung 12).

© EBP, Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022

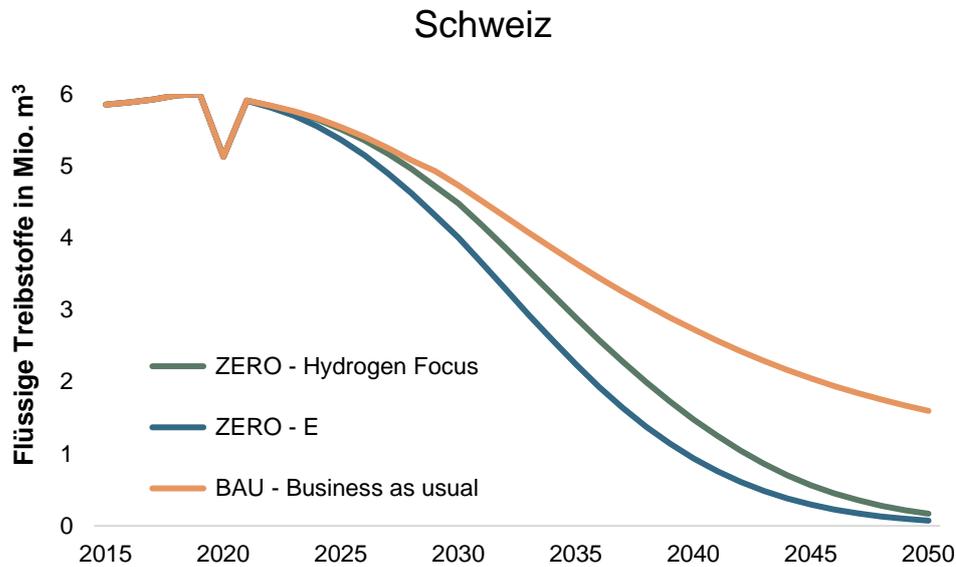


Abbildung 12 Bedarf an flüssigen Treibstoffen für Personenwagen, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und Busse in der Schweiz bis 2050.

11. 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 «Midpoint-Indikatoren» decken die Gesamt-Umweltbelastung ab. In Abbildung 14 wird exemplarisch der Gesamt-Ausstoss an Treibhausgasen dargestellt. Dabei werden die 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-E und ZERO-Hydrogen Focus

wird unterlegt, dass die EU ihre Netto-Null-Ziele erreicht und der europäische Strommix im Jahr 2050 klimaneutral erzeugt wird.

Abbildung 13 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.

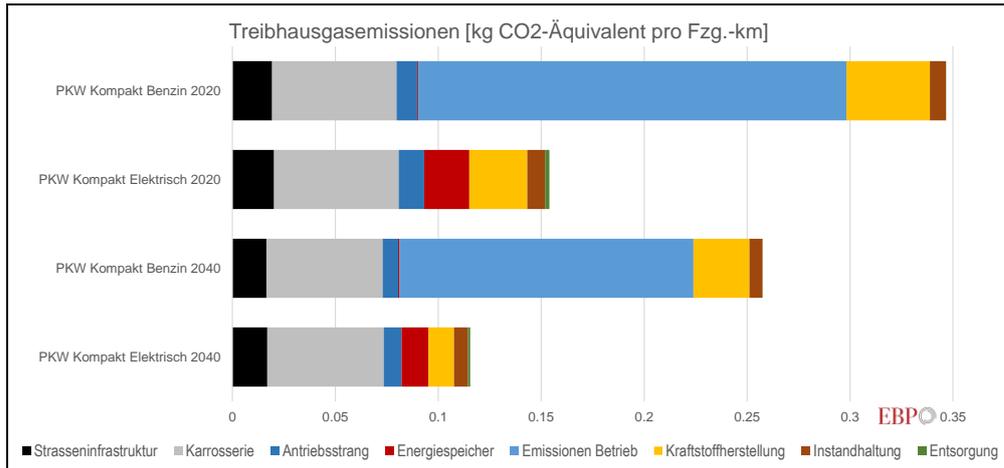


Abbildung 13 CO_{2eq}-Emissionen von Elektro- und Benzin-Personenwagen der Kompaktklasse 2020 und 2040, mit Strommix gemäss ZERO-E-Szenario. Datenquelle: EBP-Flottenmodell, BFE (2020b), PSI (2021).

Treibhausgasemissionen [CO₂ eq.] aus dem gesamten Lebenszyklus; Szenario ZERO - E

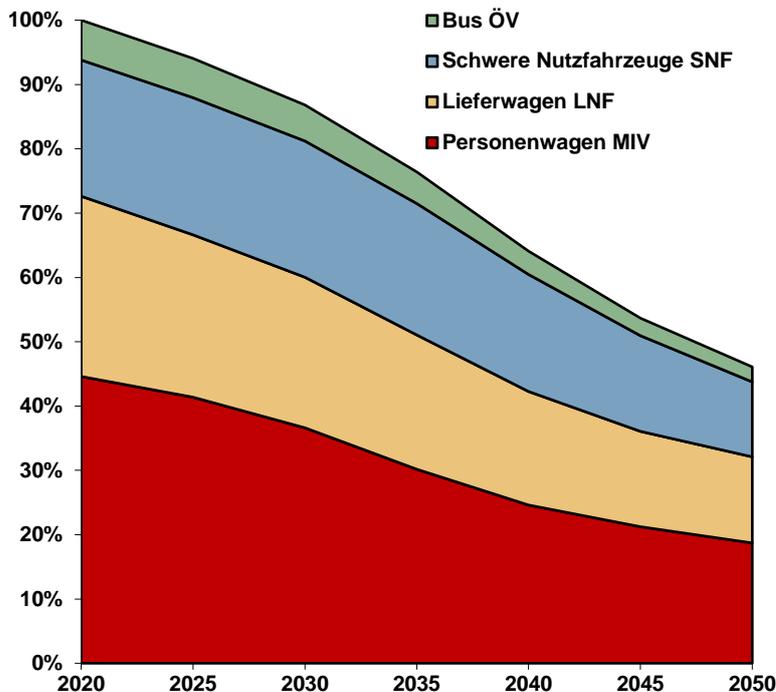


Abbildung 14 Entwicklung der Gesamtreibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus in einer Schweizer Gemeinde. Auch mit einem Fahrzeugbestand mit nahezu 100 % Elektrofahrzeuge (Szenario ZERO – E), lassen sich aufgrund der Vorkettenemissionen rund 50 % der Gesamtemissionen nicht vermeiden.

12. Bottom-up-Modellierung des Strassenverkehrs

Die EBP-Modelllandschaft der Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland basiert auf einer Reihe von Modellen und Datengrundlagen des Bundes. Die Modelle werden einerseits für die ganze Schweiz sowie mit Hilfe der EBP synPop auch für alle Gemeinden und Kantone gerechnet.

Sim.car

Detaillierte 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, 2007). Sie verwendet Treue-Raten (Markentreue, Modellsegmenttreue, Treibstofftyptreue und Antriebstyptreue), welche in der BAM-Befragung erhoben werden (EBP, 2017a).

EBP synPop

Eine zentrale Bedeutung kommt der EBP synPop zu. Die EBP synPop ist eine synthetische Population der Schweiz, welche alle Haushalte, Unternehmen und Gebäude der Schweiz sowie eine Hochrechnung der Stichproben des Mikrozensus Mobilität und Verkehr sowie der Haushaltsbudgeterhebung für alle Haushalte in der Schweiz erlaubt. Unter Bezug des jeweils neusten Datenstamms sämtlicher Strassenfahrzeugbestandes (IVZ vom ASTRA) und der neusten Verkehrsmodellierung NPVM (ARE) ist für jede Gemeinde der Fahrzeugbestand sowie die Fahrleistung (aus dem MZMV und NPVM) bekannt (siehe Abbildung 15). Durch die gemeindespezifische Fortschreibung der Wohnbevölkerung, des Modalsplits, der Fahrleistung pro Fahrzeug sowie der Fahrzeugbelegung kann der Motorisierungsgrad (Anzahl Fahrzeuge pro 1'000 Einwohner) und so die Entwicklung der Neuzulassungen und des Fahrzeugbestandes je Gemeinde bis 2050 modelliert werden.

EBP ist bestrebt, immer die neusten Echtdatensätze und Prognosen seitens der Bundesämter zu verwenden. Der Grunddatensatz der Bevölkerung und der Haushalte sowie aller Gebäude wird vom BFS bezogen (STATPOP, STATENT, GWS). Angefügt wird auch das kommunale Steueraufkommen (Seco).

Die synthetische Bevölkerung von EBP ist auf Mobilität und Konsumverhalten spezialisiert, weist hier mehr Detailtiefe auf und wurde im Rahmen von Projekten zur Prognose des Lade- und Ladestationsbedarfs für die Elektromobilität schon mehrfach eingesetzt.

Bei synthetischen Bevölkerungen entsteht der Mehrwert nicht bereits durch die blosse Verwendung möglichst grosser Echtdatensätze – synthetische Bevölkerungen haben dann einen relevanten Mehrwert, wenn die verschiedenen Datensätze, unter Verwendung anderer Analyseergebnisse, mit Zuordnungs-Algorithmen möglichst sinnstiftend kombiniert werden (Beispiel: Welcher Autobesitz wird den einzelnen Haushalten und Firmen

zugeordnet, und wie wird der heutige Personenwagen-Bestand je Gemeinde möglichst realitätsnah auf die einzelnen Haushalte/Firmen verteilt, unter Berücksichtigung örtlicher Faktoren, Typ, Einkommenskategorie und Konsummuster des Haushalts).

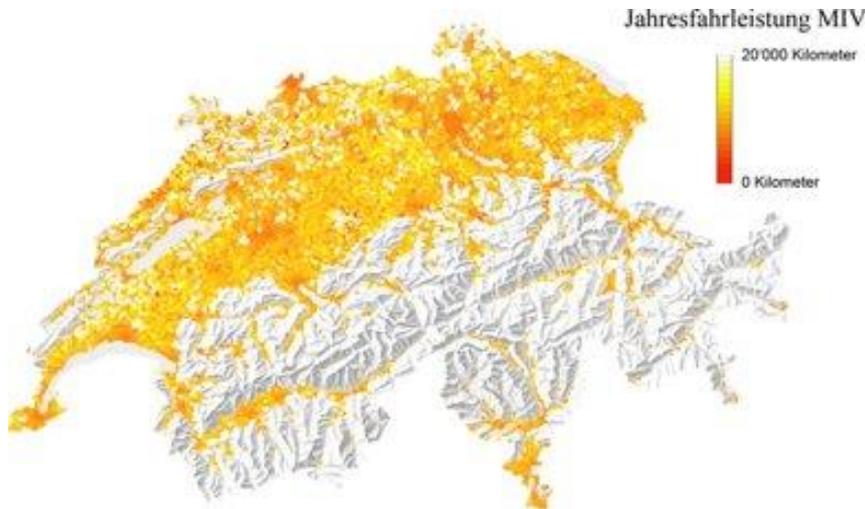


Abbildung 15 Jahresfahrleistung MIV aggregiert je Parzelle (100 x 100 m) der EBP synPop.

Kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell

Modellierung der Flottenumwälzung und der Fahrleistung je Fahrzeuge anhand typischer Überlebensraten und spezifischer Fahrleistungen der Fahrzeuge in Abhängigkeit der Fahrzeuggrösse, Antriebstechnologie und insbesondere des Fahrzeugalters.

Ladewelten und Modellierung einzelner Ladevorgänge mit NPVM

Jedem Elektrofahrzeug wird in Abhängigkeit des Nutzertyps, des Fahrzeugtyps und je nach Verfügbarkeit einer Heimpladestation ein spezifisches Ladeverhalten zugewiesen. Dies erlaubt eine konsistente Modellierung von Ladewelten. Zum einen kann eine erhöhte Durchdringung von Heimpladern (Verschiebung hin zu mehr Heimpladepunkten und weniger öffentlichen Ladepunkten) und zum anderen ein vermehrt öffentliches Laden (Verschiebung hin zu mehr öffentlichen Ladepunkten und weniger Heimpladepunkten) abgebildet werden. Dabei werden vier unterschiedliche Ladebedürfnisse für elektrische Personenwagen und vier unterschiedliche Ladestationstypen unterschieden (Abbildung 16).

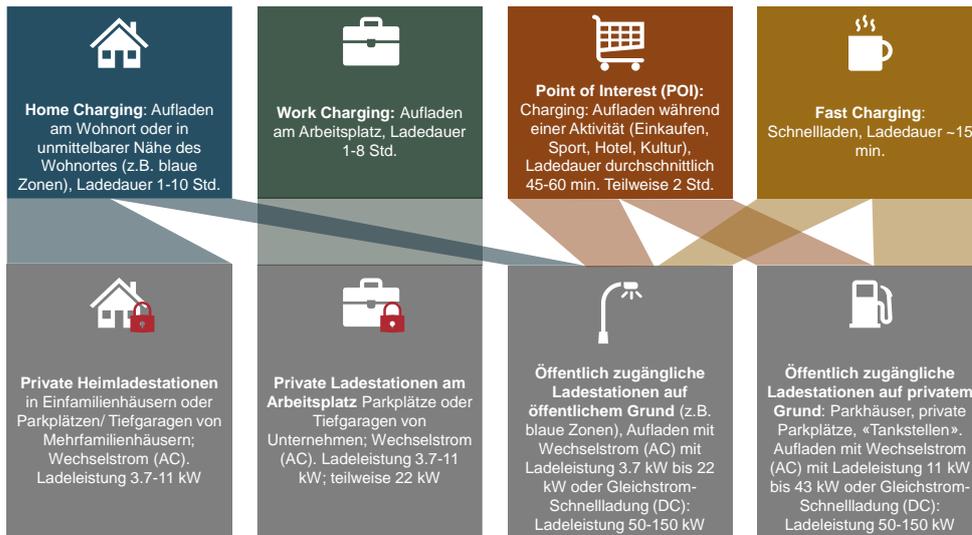


Abbildung 16 Die vier Ladebedürfnisse Home, Work, POI (Point of Interest) und Fast Charging oben und die vier Ladestationstypen private Heimpladestationen, private Ladestationen am Arbeitsplatz und die öffentlich zugänglichen Ladestationen auf öffentlichem sowie privatem Grund (unten).

Im Jahr 2021 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.

Die Fahrleistung je Gemeinde sowie spezifische Stromverbräuche je Elektrofahrzeuge ergeben den Stromverbrauch der Elektromobilität gemäss Wohnortprinzip. Elektrofahrzeuge laden aber nicht primär dort, wo sie immatrikuliert sind, sondern können auch am Arbeitsort oder an öffentlich zugänglichen Ladestationen geladen werden. Daher ist es wichtig, die Verkehrsflüsse (Pendler- und Freizeitverkehrsströme) ebenfalls zu modellieren. Dazu wird das nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) sowie räumliche Informationen zu Parkplätzen, Parkhäusern, Points-of-Interest (POI) usw. verwendet. So lässt sich der gesamte Ladebedarf im Zielgebiet (z. B. auf Ebene Gemeinde) abschätzen.

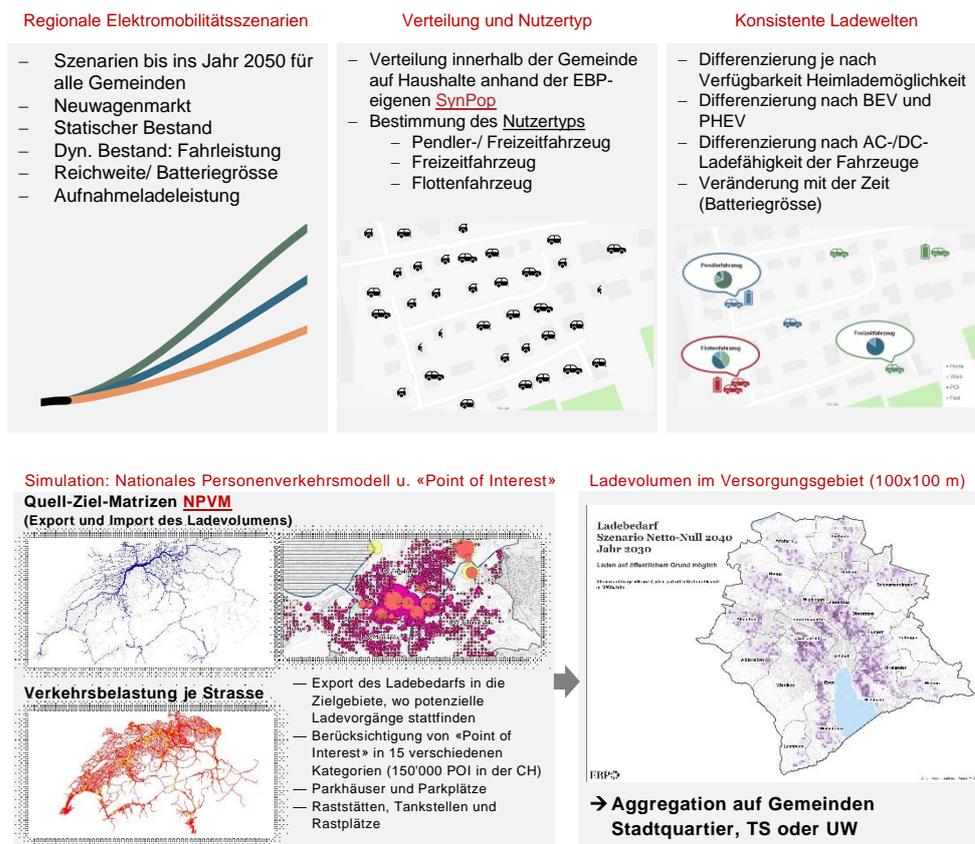


Abbildung 17 Schema zur Regionalisierung der Elektromobilitätsszenarien.

Localizer: Bedarfsermittlung Ladestationen und Standorte

Anhand von heutigen und zukünftigen Utilization Rates je Ladestationstyp kann die Anzahl benötigter Ladestationen im Zielgebiet abgeschätzt werden (EBP 2021). Die Resultate werden dann auf Ebene der Gemeinden aggregiert. Mit dem Localizer werden innerhalb eines Zielgebiets (z. B. einer Gemeinde) beliebig viele potenzielle Standorte für öffentlich zugängliche Ladestationen automatisch ausgewertet, verglichen und priorisiert. Ausgehend vom bestehenden Ladenetz simuliert der Localizer in einem iterativen Verfahren die weiteren Ladestandorte und berücksichtigt dabei die erwähnten Interdependenzen zwischen den Standorten. Dafür wird das potenziellen Ladeaufkommen, welches ursprünglich im Hektarraster (100 x 100 Meter) vorliegt, über ein Routing der kürzesten Wege auf dem Strassennetz (GIS-Analyse) auf die potenziellen Ladestandorte verteilt. Ein Standort wird vom Localizer nur dann vorgeschlagen, wenn das so akkumulierte Ladeaufkommen einen rentablen Betrieb garantiert und die Realisierung technisch möglich ist. Mit dem datengestützten Expertenansatz des Localizer kann das aus wirtschaftlicher und verkehrlicher Sicht optimale Ladenetz realisiert werden.

Modellierung Ladeprofile

Auf Basis typischer Ankunftszeiten und der technischen Spezifikationen an den Ladestationen werden Ladeprofile je Ladestationstyp modelliert, um

Gleichzeitigkeitsfaktoren zu ermitteln. Die Modellierung geschieht agentenbasiert auf Ebene einzelner Ladevorgänge. Durch die Analyse der Ladevorgänge und Ladeprofile können typische spezifische Gleichzeitigkeitsfaktoren für die unterschiedlichen Netzebenen in Abhängigkeit der Anzahl Ladestationen bestimmt werden.

13. Spezifische Szenarien für alle Kantone, Städte und Gemeinden der Schweiz

Die Elektromobilität entwickelt sich nicht überall in der Schweiz gleich schnell (Abbildung 18). Im letzten Quartal 2021 lag der Anteil der elektrischen Personenwagen am Neuwagenmarkt im Kanton Zürich bei 34 %, im Kanton Luzern unter 28 %. Die kantonalen Unterschiede in Soziodemographie und Mobilitätsverhalten werden über eine quantitative Analyse der Gebäude- und Wohnstatistik, des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (BFS / ARE 2017c), des nationalen Personenverkehrsmodells (ARE 2020) sowie der BFS-Haushaltsbudgeterhebung berücksichtigt.

Verschiedene *Kriterien* beeinflussen die regional unterschiedlichen Standortfaktoren und das Mobilitätsverhalten direkt – und damit die Entwicklung der Elektromobilität. So fließen in die regionalisierten Szenarien zum Beispiel folgende Faktoren ein: Mobilitätsverhalten, Kaufkraft, Ausbildungsstand und Anzahl Fahrzeuge der Haushalte, Motorisierungsgrad, Alter der Fahrzeugflotte, Zusammensetzung der Haushalte und Gebäudetypen, kantonale Förderprogramme, existierende Ladeinfrastruktur und/ oder Pilotprojekte, Qualität des ÖV-Angebots.

Regional angepasste Szenarien der Elektromobilität liefern wichtige Planungsgrundlagen für Kantone, Gemeinden und Stadtwerke. Sie ermöglichen einen bedarfsgerechten Ausbau der Ladeinfrastruktur, die Vorbereitung der Verteilnetze auf die Elektromobilität sowie die gezieltere Implementierung energie- und klimapolitischen Instrumenten zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität. Die beschriebene Modellierung ermöglicht regional feinaufgelösten Szenarien, beispielsweise auf Ebene Gemeinde (Abbildung 18).

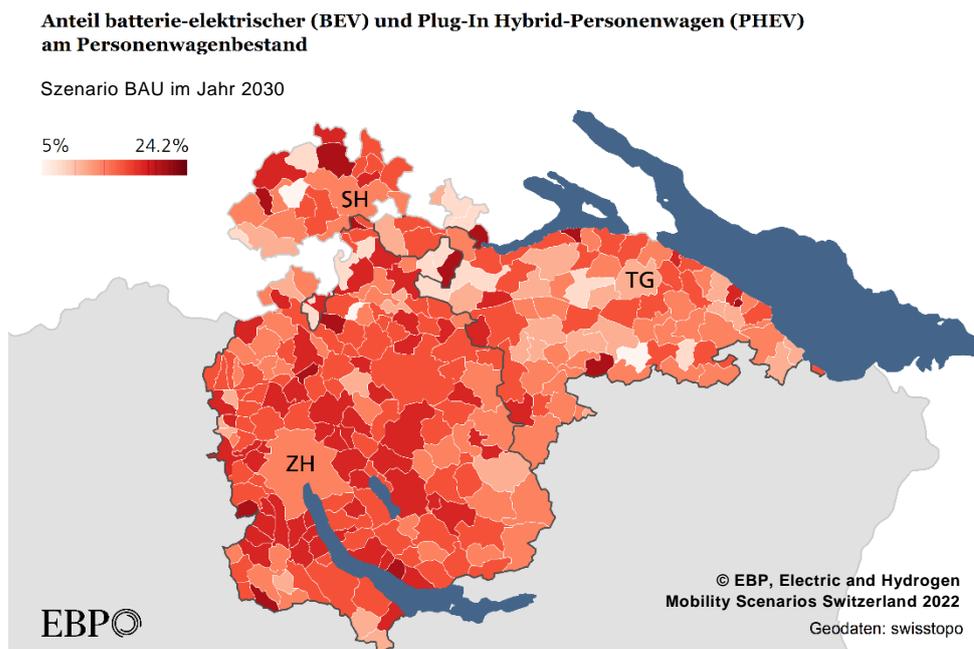


Abbildung 18 Elektromobilitätsszenarien auf Gemeindeebene.

14. Einsatz der Szenarien für Kantone, Städte, Energieanbieter und Parkhäuser

14.1 Kantonale Konzepte und Massnahmenpläne

Die Elektromobilität birgt sowohl Chancen wie auch potenzielle Risiken (de Haan, Zah et al. 2013, de Haan et al. 2009, de Haan, Peters et al. 2015). Kantone brauchen deshalb eine Strategie. In welchem Umfang wollen sie welche Elektromobilität unterstützen und fördern? Eine wichtige Grundlage dafür ist die Entwicklung der Fahrzeugzahlen, des Ladebedarfes und der erzielbaren CO₂-Reduktionen mittels kantonaler Szenarien.

Der **Kanton Thurgau** hat im Rahmen eines Elektromobilitätskonzeptes so wirkungsvolle Fördermassnahmen erarbeitet, dass er in Bezug auf Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen 2019 an der Spitze der Schweiz stand. (2018, EBP 2018e). Die **Kantone Basel-Stadt** (2018, EBP, 2018h), **Schaffhausen** (2019–2020, EBP, 2020a) und **St. Gallen** (2019, EBP, 2019c) haben jeweils im Rahmen eines Elektromobilitätskonzeptes wirkungsvolle Massnahmenlisten erarbeitet. Die **Kantone Basel-Stadt** ([Link](#), EBP, 2015e) und **Graubünden** ([Link](#), EBP 2015d) prüften bereits im Jahr 2015 die Chancen und Risiken der Elektromobilität und entsprechende Massnahmen.

14.2 Konzepte für Städte und Gemeinden

Viele wichtige Fragen werden auf der Ebene von Gemeinden entschieden. Mit den Gemeindeszenarien legen wir die Grundlage für die Berücksichtigung des künftigen Bedarfs an erneuerbarem Strom und Ladestationen.

Die Energiestadt **St. Moritz** erarbeitete einen Masterplan Elektromobilität und setzt nun in acht Bereichen Massnahmen um – eine echte Herausforderung angesichts der hohen Ansprüche des Tourismus und der harschen klimatischen Bedingungen! (**Masterplan Elektromobilität**, 2018–2019, EBP, 2019d).

Zwei **Energiestädte** definierten im Rahmen eines Konzepts Massnahmen, welche die Elektromobilität beschleunigen und wichtige Rahmenbedingungen setzen für einen positiven Beitrag der Elektromobilität zur Energiewende. (**Konzept für Elektromobilität und alternative Antriebssysteme, Elektromobilitätskonzept** 2019–2020, EBP, 2019e und 2019f).

Für die Elektrifizierung des Strassenverkehrs ist in Städten auch die Elektrifizierung von Busflotten (EBP 2018d; EBP 2020b) von hoher Priorität. Auch kann es sinnvoll sein, spezifisch die Elektrifizierung von Taxis zu fördern (EBP 2017f).

14.3 Geschäftsmodelle und Grundlagen für Energieversorger

Energieversorger können sich strategisch positionieren und attraktive Geschäftsfelder innerhalb der Elektromobilität identifizieren. Es werden neue Geschäftsmodelle entwickelt sowie Investitionsplanung und der

Ertragsentwicklung gerechnet. Für das öffentliche Ladegeschäft werden Standortevaluation erarbeitet. Grundlage hierfür ist der Ladebedarf je Ladetyp im Einzugsgebiet des Energieversorgers gemäss den Szenarien Elektromobilität.

ewl energie wasser luzern, energie wasser bern ewb und **SH POWER** haben aufgrund der Stromnachfrage und der zu erwartenden Anzahl Ladevorgänge an privaten und öffentlich zugänglichen Ladestellen ihr Rollout-Konzept für Ladestationen und ihre Verteilnetzplanung aktualisiert. (**Planungsgrundlagen für Marktaktivitäten und Verteilnetz**, 2018, [Link](#), EBP, 2018f).

AEW Energie AG hat aufgrund einer Marktanalyse die heutigen Geschäftsaktivitäten evaluiert, neue Geschäftsideen identifiziert und beurteilt und ein Dienstleistungsangebot für die Zukunft definiert. (**Strategie-Review Elektromobilität**, 2017–2018, [Link](#), EBP, 2018c).

Energie Wasser Bern (ewb) setzt beim Rollout der Ladeinfrastruktur auf den «Localizer» von EBP und kann so das optimale Ladenetz realisieren. Dieser zeigt wirtschaftlich rentable Standorte an gut frequentierten Standorten und ermöglicht gleichzeitig ein engmaschiges Ladenetz mit guter Abdeckung (Localizer – die besten Standorte für Ladesäulen, 2019: [Link](#); EBP, 2019a).

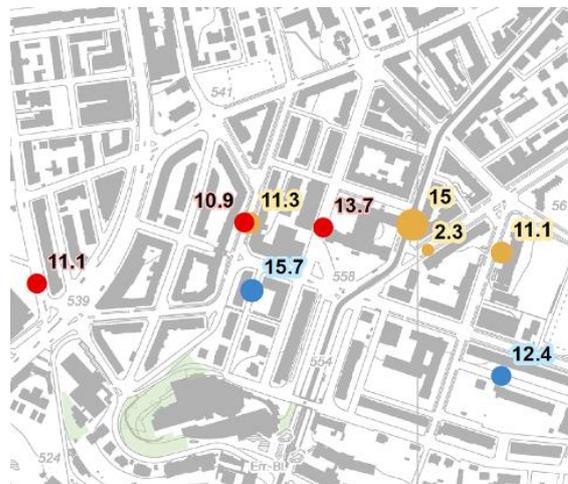


Abbildung 19 Der Localizer berechnet nach jeder Iteration und für jeden potenziellen Standort das Ladeaufkommen und prüft, ob ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. (Basiskarte: UP5, Amt für Geoinformation des Kantons Bern, OpenStreetMap-Mitwirkende.)

14.4 Geschäftsmodelle für Tankstellenbetreiber, Parkhäuser und Verwalter von Immobilienportfolios

Tankstellenbetreiber stehen vor der Herausforderung, sich in Bezug auf die Elektromobilität strategisch zu positionieren, insbesondere, ob, wann und wie sie in diesen Markt einsteigen sollen. **Verwalter von Parkhäusern und Einstellhallen, sowie auch von Immobilienportfolios** generell benötigen intelligente Lösungen und Komplettlösungen für eine rechtzeitige Elektrifizierung der Parkplätze: Ladevorgänge erfolgen künftig grösstenteils zu Hause und ca. 70 % der Schweizer Wohnbevölkerung wohnt in

Mehrfamilienhäusern. In Frage kommen diverse Ansätze für eine intelligente Ladeinfrastruktur. Die Elektromobilitätszenarien stellen in beiden Fällen eine zentrale quantitative Grundlage dar.

Die **Migrol** beabsichtigt, in das Ladegeschäft für Elektrofahrzeuge einzusteigen. Sie evaluierte in einem mehrstufigen Strategieprozess mögliche Geschäftsfelder und plante den Markteintritt inkl. Betriebskonzept, Finanzplanung und den Aufbau von Know-how. (**Markteintritt in das Ladegeschäft** der Elektromobilität, 2017–2018, [Link](#), EBP, 2018b).

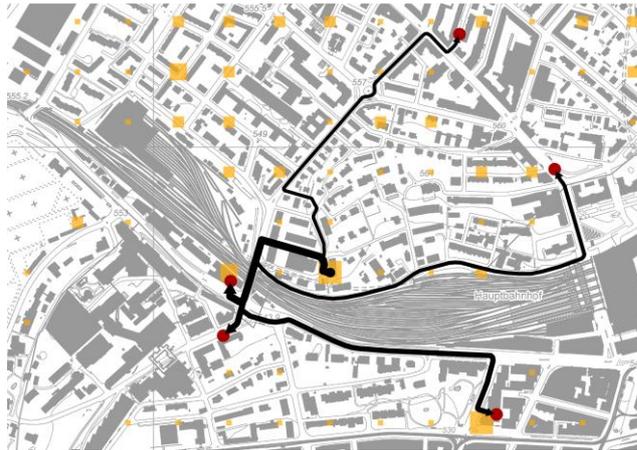


Abbildung 20 Das Routing (GIS-Analyse) bringt das potenzielle Ladeaufkommen vom Hektarraster auf die Ladestandorte. (Basiskarte: UP5, Amt für Geoinformation des Kantons Bern).

14.5 Anpassung kantonaler Motorfahrzeugsteuern

Kantonale Motorfahrzeugsteuern müssen sowohl einen stabilen Ertrag liefern als auch wirkungsvolle Anreize für energieeffiziente Neuwagen setzen. Die Tiefbau-, Strassenverkehrs- und Umweltämter der **Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern, Luzern, Neuenburg, St. Gallen, Thurgau, Zug und Zürich** haben mit Hilfe der Szenarien Elektromobilität im Zeitraum 2009–2019 ihre Motorfahrzeugsteuern nachjustiert. Da die Anpassung der entsprechenden Gesetze und Verordnungen Zeit braucht, muss bereits heute das Ende von Vergünstigungen für Elektroautos konzipiert werden (Anpassung kantonaler Motorfahrzeugsteuern 2009–2019: [Link](#); EBP, 2017g, h, i).

A1 Literaturverzeichnis

- ARE, 2022. Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050. Schlussbericht. Rapp, Prognos, PTV und Strittmatter Partner im Auftrag ARE, ASTRA, BAV, BAFU und BFE. Bern, 8. April 2022, 346 Seiten. Download von ARE-Website: [PDF](#) (33,2 MB)
- ARE, 2020. Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) 2017. [Link](#).
- ASTRA, 2015. Empfehlungen zum Aufbau von Schnellladestationen entlang der Nationalstrassen.
- Basma H, Rodriquez F, 2021. Race to Zero: How manufacturers are positioned for zero-emission commercial trucks and buses in Europe. International Council on Clean Transportation (ICCT). Washington DC, Dezember 2021, 35 Seiten. ICCT-Webseite: [PDF](#)
- 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, 2022 (akt.). Energieperspektiven 2050+ Technischer Bericht. Prognos, INFRAS, TEP Energy und Ecoplan im Auftrag BFE. 12. April 2022, 501 Seiten. BFE-Webseite: [PDF](#) (19,3 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, 2020a. Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020–2050. [Link](#).
- BFS, 2020b. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton 1991–2020. [Link](#).
- 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, 2017b. Statistik der Unternehmensstruktur. Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Gemeinde, Wirtschaftssektor und Grössenklasse 2011–2015. Downloadlink von der BFS-Website: [Link](#)
- BFS / ARE, 2017c. Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Neuchâtel und Bern. [Link](#)
- Bloomberg, 2022. BNEF's 2021 survey. [Link](#).
- Boulouchos K, et al, 2021. Pathways to a net zero CO₂ Swiss mobility system: White Paper. ETH Zürich, Empa, PSI, EPFL, BFH und SUPSI für Swiss Competence Center for Energy Research – Efficient Technologies and Systems for Mobility (SCCER Mobility). Zürich, März 2021, 41 Seiten. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000481510>
- EnergieSchweiz, 2017. Handlungsleitfaden «Elektromobilität für Gemeinden». Erarbeitet von EBP und Synergo im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern. EBP-Webseite: [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. [PDF](#) (1,2 MB)
- EBP, 2021. E-Mobility Market Perspectives Switzerland 2021. Markteinschätzungen der rund 30 wichtigsten Marktakteure der Schweiz. [PDF](#) (7.2 MB)
- EBP, 2020c. Handlungsspielräume der Städte für eine klimaneutrale Mobilität. Im Auftrag der Städtekonferenz Mobilität. Download von SKM-CVM: [Link](#).
- EBP, 2020b. Elektrobus-Strategie für den ländlichen Verkehr. EBP-Webseite: [Link](#)
- EBP, 2020a. Chancen der Elektromobilität für den Kanton Schaffhausen. Im Auftrag des Kanton Schaffhausen, Baudepartement und Energiefachstelle. [Link](#)
- EBP, 2019a. Bewertung und Priorisierung von Standorten für öffentliche Ladestationen. Im Auftrag von ewb. EBP-Webseite: [Link](#)
- EBP, 2019b. Internationale E-Charta Bodensee – gemeinsam elektrisch unterwegs in der Vierländerregion. Im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz.
- EBP, 2019c. Elektromobilität im Kanton St. Gallen. Im Auftrag des Kanton St. Gallen, Tiefbauamt. EBP-Webseite: [Link](#)
- EBP, 2019d (nicht veröffentlicht). Masterplan Elektromobilität St. Moritz. Im Auftrag der Gemeinde St. Moritz.
- EBP, 2019e (noch nicht veröffentlicht). Konzept Elektromobilität und alternative Antriebssysteme. Im Auftrag einer Energiestadt.
- EBP, 2019f (noch nicht veröffentlicht). Elektromobilitätskonzept. Im Auftrag einer Energiestadt.
- EBP, 2018a. Elektromobilität: Ladebedürfnisse von Privatkunden und neue Geschäftsfelder. Im Auftrag eines nationalen Energieversorgers.
- EBP, 2018b (nicht veröffentlicht). Grundlagen für die Entwicklung von Geschäftsfeldern im Bereich Elektromobilität. Im Auftrag der Migrol.
- EBP, 2018c (nicht veröffentlicht). Elektromobilität: Marktanalyse und Review strategische Positionierung. Im Auftrag der AEW Energie AG.
- EBP, 2018d. Studie «Garagen-Ladeinfrastruktur für Elektrobusse». Im Auftrag eines städtischen Verkehrsbetriebs. EBP-Webseite: [Link](#)

- EBP, 2018e. Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau. Im Auftrag des Kantons Thurgau, Abteilung Energie, Frauenfeld. Download von der Webseite des Kantons Thurgau: [PDF](#) (1,5 MB)
- EBP, 2018f. Elektromobilität: Quantitative Planungsgrundlagen. Im Auftrag von ewl. EBP-Webseite: [Link](#)
- EBP, 2018g. Strategie Elektromobilität Bodenseeraum. Im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz. EBP-Webseite: [Link](#)
- EBP, 2018h (nicht veröffentlicht). Grundlagen für ein Gesamtkonzept Elektromobilität Kt. Basel-Stadt. Kanton Basel-Stadt Amt für Umwelt und Energie.
- EBP, 2018i. 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-Webseite: [PDF](#) (1,2 MB).
- EBP, 2017c. Synthetische Bevölkerung Schweiz. Untersuchungen der Wohnsituation, des Mobilitäts- und Konsumverhaltens der Schweizer Bevölkerung. EBP-Webseite: [Link](#)
- 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, 2017g (nicht veröffentlicht). Entwicklung des Fahrzeugbestands, der Neuzulassungen und der Elektromobilität bis 2040. Prognose der Verkehrssteuererträge bis 2040 mitsamt Effekten des Bonussystems und den aktuellen Elektroauto-Steuererrabatten. Kanton Zug.
- EBP, 2017h (nicht veröffentlicht). Aktualisierung der CO₂-Grenzen des Bonus-Malus-Systems für Personenwagen zur Gewährleistung der Ertragsneutralität für 2018 bis 2021. Kanton Basel-Landschaft, Finanzdirektion.
- EBP, 2017i (nicht veröffentlicht). Motorfahrzeug-Steuererträge bis 2035. Kanton St. Gallen, Strassenverkehrs- und Schifffahrtsamt.
- 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-Webseite: [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, 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. Grundlagenbericht Ernst Basler + Partner. Zollikon, 30. Mai 2015, 14 Seiten. Website EBP-Grundlagendokumente: [Link](#); direkter Download des Berichts: [Link](#) (0,4 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, 2022: Fahr mit dem Strom. [Link](#).
- European Commission, 2020. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. [Link](#).
- ICCT, 2021. Evaluating electric vehicle costs and benefits in China in the 2020-2035 time frame. [Link](#).
- 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)
- Jöhrens et al, 2022. Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030. Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „Elektrifizierungspotential des Güter- und Busverkehrs - My eRoads“. Ifeu und PTV Transport Consult im Auftrag Bundesumweltministerium DE. Heidelberg und Karlsruhe, Januar 2022, 67 Seiten. Ifeu-Webseite: [PDF](#) (5 MB)
- Kober T. et al, 2019. Perspectives of Power-to-X technologies in Switzerland: A White Paper. PSI, Empa, ETH Zürich, ZHAW, HSR, Universität Geneva and Universität Luzern für Joint Activity der Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER). Juli 2019, 41 Seiten, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000352294>
- 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
- Patt A. Wasserstoff für Transport und Wärme ist der falsche Weg. Zukunftsblog der ETH Zürich, 24. November 2021. Abgerufen am 04. Mai 2022 auf [ETH Zukunftsblog](#)
- 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. [Link](#)
- PSI (2021). Calculator-Version 1.3.9, available online <https://calculator.psi.ch/>

- 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](#)
- Plötz P, Moll C, Bieker G, Mock P, Li Y, 2020. Real-World Usage of Plug-In Hybrid Electric Vehicles: Fuel Consumption, Electric Driving, and CO₂ Emissions. White Paper. Fraunhofer ISI und International Council of Clean Transportation (icct). Berlin, September 2020. 57 Seiten. Icct-Webseite: [PDF](#)
- 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>