

Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020

EBP-Hintergrundbericht
2. März 2020



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. Neben dem elektrischen Antrieb ist auch ein Verbrennungsmotor (oder eine Brennstoffzelle) im Fahrzeug verfügbar. Bei «parallelen Hybridfahrzeugen» treibt der 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 elektrische Energie erzeugen, für den Elektroantrieb oder zwecks Zwischenspeicherung in einer kleinen Batterie. Aus Sicht der Fahrzeugtechnologie sind FCEV und PHEV sehr ähnlich. Kann die Batterie auch extern aufgeladen werden, wird das FCEV zu einem PHEV. FCEV brauchen immer eine separate H₂-Tankstelleninfrastruktur.
H₂ lässt sich auf verschiedene Wege herstellen. Wird H₂ über Elektrolyse aus Strom erzeugt, ist ein FCEV ein reines Elektroauto. Falls H₂ aus Methan (Erdgas) reformiert wird, wäre das Fahrzeug aus energetischer Sicht eigentlich ein Gasfahrzeug.

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 (im Gegensatz zur Oxidation von H₂ in einer Brennstoffzelle zur Gewinnung von Strom, siehe FCEV), handelt es sich aus Sicht des Fahrzeugantriebs um ein Verbrennerauto. Die energetische Sicht ist davon abhängig, ob das H₂ aus Methan reformiert oder über Elektrolyse erzeugt wurde.

Dieser öffentlich zugängliche, unentgeltliche Bericht beschreibt Systemgrenze, Annahmen und Datenquellen der «Szenarien der Elektromobilität der Schweiz – Update 2020» sowie das zugrundeliegende diffusionstheoretische Modell. Die Abbildungen illustrieren die Resultate.

Ergänzend sind u.a. die folgenden Einzeldaten in einem kostenpflichtigen Lizenzmodell verfügbar. Sämtliche Resultate liegen für die Szenarien «Business as usual», «Efficiency», «Connected Mobility» sowie für das Klimaschutzszenario «Paris» vor.

Autoren

Peter de Haan, Silvan Rosser, Isolde Erny, Hendrik Clausdeinken

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon, Schweiz
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 2. März 2020
2020-03-24_EBP_CH_EmobSzen_PKW_2020_def.docx

Inhaltsverzeichnis

1.	Marktanteil der Elektrofahrzeuge 2019	4
2.	Die Schweiz im europäischen Vergleich	5
3.	Rolle der CO ₂ -Emissionsvorschriften für Neuwagen	6
4.	Elektroauto 2025: Mehr als 500 km Reichweite?	7
5.	Wird Schnellladen zum Standard?	8
6.	Die Rolle von Plug-in-Hybriden bis 2040	9
7.	Wann kommen die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge?	10
8.	Bottom-up-Modellierung der Elektromobilitätsszenarien	11
9.	Die drei Szenarien zur Elektromobilität in der Schweiz	12
10.	Paris-Szenario: Elektromobilität für das Netto-null-Ziel	14
11.	Ladeverhalten je Ladestationstyp	16
12.	Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz	19
13.	Spezifische Szenarien für alle Kantone der Schweiz	21
14.	Elektromobilitätsszenarien für Städte und Gemeinden	23
15.	Wer kauft heute und morgen Elektrofahrzeuge?	24
16.	Einsatz der Szenarien für Kantone, Städte, Energieanbieter und Parkhäuser	25

1. Marktanteil der Elektrofahrzeuge 2019

Der Marktanteil der reinen Elektroautos (BEV) hat sich 2019 gegenüber 2018 mehr als verdoppelt auf 4.2%. Der PHEV-Anteil ging leicht zurück auf 1.4%. Zusammengenommen waren 2019 5.6% des schweizerischen Neuwagenmarktes Elektroautos. Treiber der Zunahme waren die breitere und attraktive Modellpalette an verfügbaren Elektrofahrzeugen sowie der voranschreitende Ausbau der Ladeinfrastruktur. Bis 2018 waren dies starke Hemmnisse; der Markt entwickelte sich dadurch nur langsam. Die zeitlich konzentrierte Auslieferung von Tesla-3-Fahrzeugen zeigt sich deutlich in den Marktdaten.

Die bisherige Entwicklung der Elektromobilität, mit der Beschleunigung im 2019, liegt innerhalb der drei von EBP in früheren Szenarien (Update 2016 und 2018) modellierten Bereich (siehe Abbildung 1).

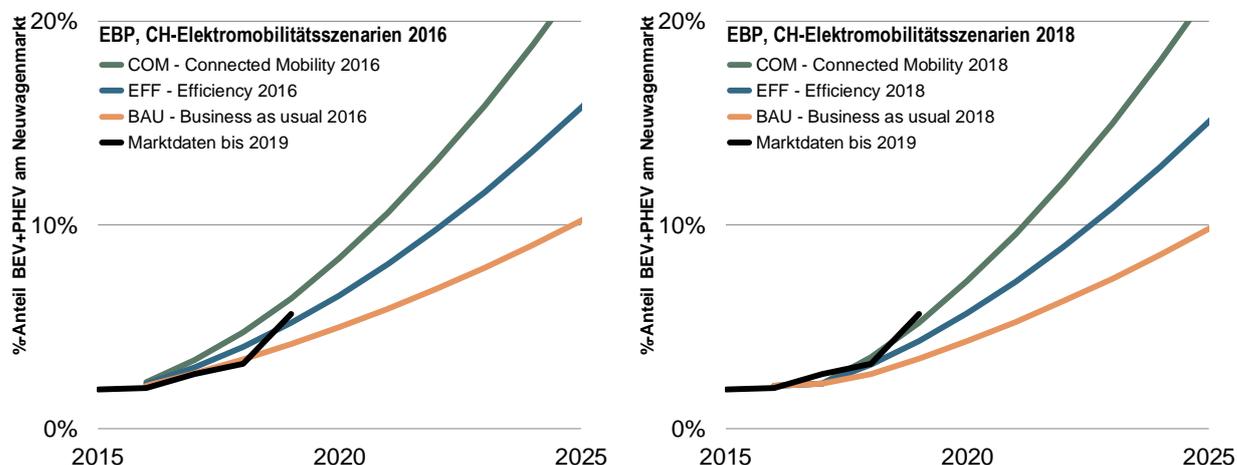


Abbildung 1 Vergleich der alten Szenarien 2016 und 2018 mit den Marktdaten bis 2019

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 2020 erneut drei Szenarien zur künftigen Entwicklung der Elektromobilität in der Schweiz zur Verfügung → mehr dazu im Kapitel 9.

Die Ausgangslage und Randbedingungen sind nicht überall in der Schweiz gleich. Es zeigen sich Unterschiede zwischen den Kantonen, zwischen Stadt und Land, und in Abhängigkeit des vorhandenen Strassen- und ÖV-Angebots. Mit den feinaufgelösten Elektromobilitätsszenarien für Kantone, Städte, Gemeinden und Energieversorger können diese regionalen Unterschiede abgebildet werden → mehr dazu im Kapitel 0.

2. Die Schweiz im europäischen Vergleich

Die Schweiz befindet sich bei der Elektromobilität im europäischen Vergleich – zusammen mit Finnland und Portugal – in «Lauerstellung»: Deutlich hinter den Vorreitern Norwegen, Island, Schweden und Niederlande, aber mit gewissem Vorsprung auf das breite Mittelfeld mit Ländern wie Dänemark, Österreich, Belgien, Deutschland und Frankreich (siehe Abbildung 2). In Norwegen ist bereits mehr als jeder zweite neuzugelassene Personenwagen elektrisch. Auch in Schweden und Island liegt der Marktanteil der Steckerfahrzeuge bereits über 10%.

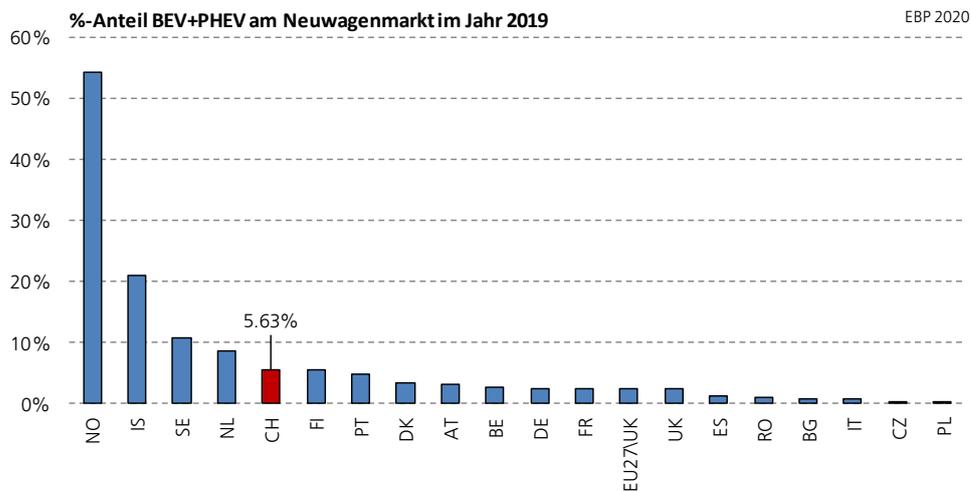


Abbildung 2: Marktanteil der Steckerfahrzeuge am Neuwagenmarkt in ausgewählten europäischen Ländern im Jahr 2019.

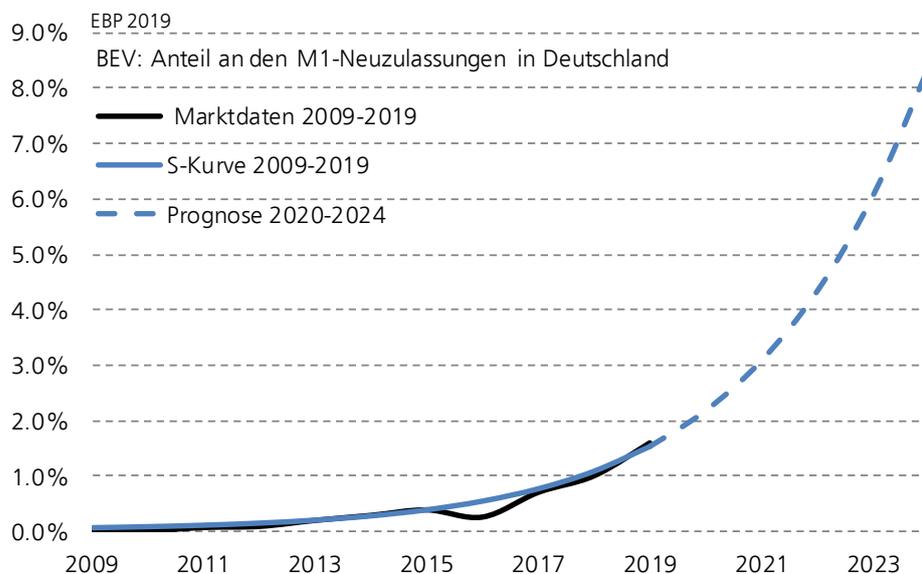


Abbildung 3: Auch in Deutschland steigen die Verkaufszahlen der reinen Elektroautos stetig.

3. Rolle der CO₂-Emissionsvorschriften für Neuwagen

Seit Juli 2012 gelten in der Schweiz, analog zur EU, CO₂-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen. Bis Ende 2019 betrug der Zielwert (gemittelt über alle verkauften Neuwagen) 130 g CO₂ pro Kilometer. Ab 2020 gilt der verschärfte Zielwert von 95 g CO₂/km (da die Totalrevision des CO₂-Gesetzes sich Anfang 2020 noch in der parlamentarischen Beratung befindet, hat der Bundesrat für die Periode ab 2020 Übergangsbestimmungen erlassen).

Der neue Zielwert von 95 gCO₂/km ist für die EU ein Kraftakt (der Zielwert ist hier im Durchschnitt über alle 27 EU-Mitgliedstaaten zu erreichen). Die in der Schweiz neuzugelassenen Personenwagen sind im europäischen Vergleich – vor allem aufgrund der höheren Kaufkraft – grösser und verfügen über mehr Leistung. Die neue Zielvorgabe stellt deshalb für den Schweizer Neuwagenmarkt eine grosse Herausforderung dar. Die EU wird den Zielwert per 2025 und per 2030 schrittweise weiter verschärfen, die CH beabsichtigt, diese Verschärfungen zeitgleich zu übernehmen.

Ob das totalrevidierte CO₂-Gesetz per 1.1.2021 in Kraft treten kann, ist ungewiss. Das Referendum gegen das neue CO₂-Gesetz wurde bereits angekündigt. Die drei Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz, welche im Kapitel 9 beschrieben werden, bilden diese Unsicherheit ab und gehen je Szenario von verschiedenen Einführungszeitpunkten und unterschiedlicher Verschärfung der Zielwerte aus.

Die verschärften Emissionsvorschriften sind ohne substanziellen Anteil Steckerfahrzeugen nicht einzuhalten. Bei Zielverfehlung drohen hohe Sanktionszahlungen für die Fahrzeugimporteure. Daher wird von der Autobranche viel unternommen, um die Elektroautos erfolgreich in den Markt zu bringen. So ist damit zu rechnen, dass die Verkaufspreise für reine Elektrofahrzeuge und Plug-in-Hybride deutlich sinken werden (primär über Rabatte) und im Vergleich mit herkömmlichen Verbrennermodellen preislich gleichziehen oder diese sogar unterbieten.

Aufgrund der verschärften Emissionsvorschriften ab 1.1.2020 werden Plug-in-Hybride in den nächsten Jahren namentlich in der Schweiz eine entscheidende Rolle spielen.

4. Elektroauto 2025: Mehr als 500 km Reichweite?

Die Batterie ist das Herzstück eines Elektrofahrzeugs. Grösse und Energiedichte der Batterie bestimmen über die Reichweite. Und die Batteriekosten haben direkten Einfluss auf den Verkaufspreis. Beide Elemente sind zentral bei der Kaufentscheidung für ein neues Auto.

Innerhalb von zehn Jahren sind die Batteriekosten um beinahe zwei Drittel gesunken. Dank technologischen Fortschrittes in der Batterietechnik und Skaleneffekten wird sich die Energiedichte in Batterien in den nächsten Jahren weiter verbessern, gleichzeitig werden die Kosten sinken. Abbildung 4 zeigt die erwartete Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte sowie der spezifischen Batteriekosten bis 2035. Für das Jahr 2025 sind Batterien mit um 30% höherer Kapazität bei gleichzeitig tieferen Kosten zu erwarten. Bis 2035 dürften sich die Batteriekosten nochmals halbieren. Die rasante Entwicklung wird auch anhand eines einfachen Rechenbeispiels fassbar (Abbildung 5).

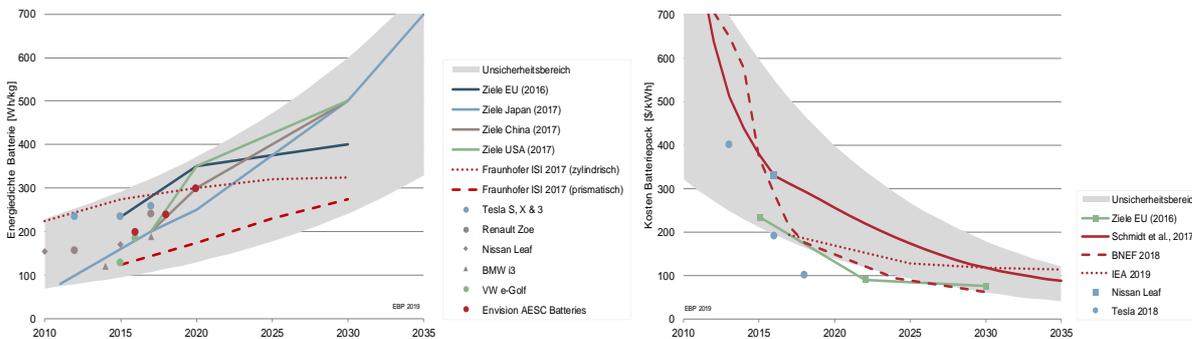


Abbildung 4: Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte (links) und der spezifischen Kosten (rechts) der Batterien bis 2035 (eigene Darstellung EBP).

Reichweite: 400 km
Realer Verbrauch: 18 kWh/100 km
 → 72 kWh grosse Batterie im Jahr 2020
 → 288 kg schwer und 18'000 Fr. teuer

Die gleiche 72 kWh-Batterie ist nur fünf Jahre später:
 → 218 kg schwer und 13'000 Fr. teuer

Oder für das gleiche Batterie-Gewicht wie heute von 288 kg:
 → 95 kWh grosse Batterie
 → mit einer Reichweite von 528 km (+32%)
 → zu Kosten von 17'000 Fr. (-5%)

Oder für das gleiche Geld wie heute von 18'000 Fr.:
 → 100 kWh grosse Batterie
 → 303 kg schwer (+5%)
 → Reichweite von: 556 km (+38%)

Abbildung 5: Rechenbeispiel zur rasanten Entwicklung der Batterien für Elektrofahrzeuge

5. Wird Schnellladen zum Standard?

Batterien können ausschliesslich mit Gleichstrom (DC) geladen werden, das Stromnetz funktioniert ausschliesslich mit Wechselstrom (AC) – es findet also immer eine Umwandlung statt. Bei DC-Ladestationen erfolgt diese in der Ladestation, bei AC-Ladestationen befindet sich der AC-DC-Wandler hingegen im Fahrzeug.

AC-Laden ist begrenzt auf maximal 43 kW; damit der AC-DC-Wandler im Fahrzeug nicht zu schwer und teuer wird, ist zu erwarten, dass AC-Ladevorgänge meist bei 11 kW limitiert sein werden. Der Vorteil von AC-Ladungen sind die geringen Kosten der Ladestationen bzw. Wallboxes. Sie eignen sich vor allem für das Laden zuhause, am Arbeitsplatz sowie an öffentlich zugänglichen Ladestationen von z.B. Hotels.

DC-Ladungen erfordern keine Wandler im Fahrzeug. Es sind (mit CCS- oder CHAdeMO-Steckern) Ladeleistungen bis 150 kW, künftig sogar bis 350 kW möglich, wobei dies teure DC-Ladestationen erfordert. Und je höher die maximal mögliche Leistung, desto höher die Kosten für den Anschluss an das Stromnetz und die Kühlung der Ladestation. Hohe DC-Ladeleistungen werden entsprechend auch in Zukunft vor allem an öffentlich zugänglichen, gut frequentierten Orten angeboten, damit die Betreiber die Ladeinfrastruktur rentabel betreiben können.

Während in den letzten Jahren noch zahlreiche Fahrzeugmodelle angeboten wurden, die nur AC-ladefähig sind (primär PHEV), werden diese in den nächsten Jahren zunehmend verschwinden und alle Steckerfahrzeuge AC- und auch DC-Ladungen aufnehmen können. Bereits 2025 werden die meisten Steckerfahrzeuge DC-Ladungen von 50 kW oder mehr aufnehmen können. Bis 2035 dürfte sogar knapp die Hälfte aller Fahrzeuge mit bis zu 80 kW DC-laden können (Abbildung 6).

Aufnahmeleistung BEV 2035



Aufnahmeleistung PHEV 2035

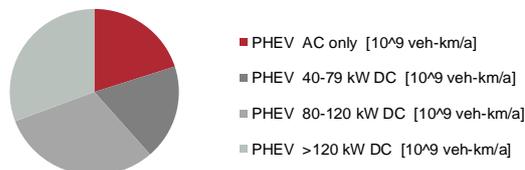


Abbildung 6: Erwartete Aufnahmeleistung der Steckerfahrzeuge (links reine Elektroautos, rechts Plug-in-Hybride) im Jahr 2035, ausgedrückt in Prozent der Gesamtfahrleistung.

Die steigende Aufnahmeleistung der Steckerfahrzeuge und das Reichweitenbedürfnis der E-Mobilisten lassen auch die angebotene Ladeleistung an den Ladestationen künftig ansteigen (siehe auch Kapitel 11).

6. Die Rolle von Plug-in-Hybriden bis 2040

In der Schweiz ist jedes vierte neuzugelassene Elektroauto ein Plug-in-Hybrid. Für Befürworter sind sie unschlagbare Allrounder-Elektroautos ohne Reichweitenangst. Kritiker bezweifeln, dass Plug-in-Hybride oft genug geladen werden, um in der Praxis den grössten Teil ihrer Fahrleistung elektrisch zurückzulegen.

Plug-in-Hybride haben im offiziellen Testzyklus weniger als 50 g CO₂/km und sind daher für Importeure attraktiv, um die verschärften Emissionsvorschriften für Neuwagen einzuhalten. Dank Supercredits zählen sie vorübergehend gar mehrfach (siehe Kapitel 2). In einigen Kantonen erhalten sie Rabatte bei der Motorfahrzeugsteuer ähnlich wie rein batterie-elektrische Autos. Ab 2020 könnten die Plug-in-Hybride aufgrund der verschärften Emissionsvorschriften (95 gCO₂/km) insbesondere in der Schweiz eine wichtige Rolle spielen.

Damit Plug-in-Hybride ökologisch sinnvoll sind, ist das regelmässige Laden notwendig. Umfragen und Auswertungen (Plötz et al. 2017) aus den USA und Deutschland zeigen, dass Plug-in-Hybride je Fahrzeug gleich weit elektrisch fahren wie rein elektrische Fahrzeuge und dass 80% der Plug-in-Hybride täglich geladen werden. Bei Batteriekapazitäten von 10 bis 30 kWh ist der Verbrennungsmotor nur noch auf Langstrecken nötig und kann der Grossteil der Fahrten rein elektrisch zurückgelegt werden. So kommen Kompaktmodelle wie der neue Mercedes A 250 e Plug-in-Hybrid 74 Kilometer weit rein elektrisch (nach NEFZ).

Entscheidend ist die Batteriekapazität der Plug-in-Hybride. Bei einer geringen Batteriekapazität von weniger als 10 kWh würde in der Praxis sehr häufig der Verbrennungsmotor eingesetzt. Das kalifornische Subventionsprogramm zum Beispiel gewährt nur für Plug-in-Hybride mit einer rein elektrischen Reichweite von mehr als umgerechnet 56 km einen Förderbetrag.

Plug-in-Hybride werden mittel- und langfristig bautechnisch weitgehend identisch mit reinen batterieelektrischen Fahrzeugen sein. Statt eines grossen Akkupakets wird aber eine kleinere Batterie zusammen mit einer Range-Extender-Einheit eingebaut (ein «Notfall»-Verbrennungsmotor als Stromgenerator für sehr lange Strecken). Entsprechend werden sich Plug-in-Hybride nur im Mittel- und Oberklassensegment wiederfinden.

Bei sehr strenger Klimaschutzpolitik ist zudem davon auszugehen, dass solche Plug-in-Hybride statt mit einem Verbrennungsmotor mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle ausgerüstet sein werden.

7. Wann kommen die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge?

Während die batterieelektrischen Fahrzeuge an der Schwelle zum Massenmarkt stehen, stecken Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) noch in der Pionierphase. In der Schweiz stehen Anfang 2020 erst zwei Fahrzeugmodelle zum Verkauf zur Verfügung. Im Jahr 2019 sind 25 FCEV-Personenwagen neuzugelassen worden, gegenüber 29 Fahrzeugen im Jahr 2018.

Neben der fehlenden Modellauswahl hindert auch die fehlende Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur die Kaufentscheidung. Schweizweit sind Anfang 2020 erst zwei Wasserstofftankstellen im Betrieb, fünf weitere sind in Planung.

FCEV-Personenwagen haben eine höhere Reichweite als batterie-elektrische Fahrzeuge, allerdings eine geringere im Vergleich zu heute erhältlichen Verbrennern. Auch die Betankungsdauer ist kürzer als bei batterie-elektrischen Fahrzeugen, aber länger als bei herkömmlichen Verbrennern (vor allem aufgrund des langsamen Druckaufbaus beim Tankvorgang). Aufgrund der fehlenden Skaleneffekten sind FCEV-Fahrzeuge zudem noch sehr teuer.

Für die FCEV-Personenwagen wird es sehr schwierig sein, den Vorsprung der batterie-elektrischen Fahrzeuge in den nächsten Jahren aufzuholen. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge dürften sich aber in einigen Nischen durchsetzen. Nämlich überall dort wo flexible Reichweiten und kürzere Betankungszeiten ausschlaggebend sind. Insbesondere im Luxussegment der Personenwagen und bei Lieferwagen mit flexiblem Reichweitenbedarf. Voraussetzung dafür ist allerdings eine sehr strenge Klimaschutzpolitik. Ansonsten würden die genannten Nischen weiterhin mit Benzin- und Dieselfahrzeugen abgedeckt.

Eine breitere Anwendung von FCEV-Fahrzeugen ist im Bereich der Lastwagen und Reisebussen wahrscheinlicher als bei Personenwagen. Allerdings sind auch hierfür sehr strenge Klimavorgaben die Voraussetzung.

Im Falle einer vollständigen Dekarbonisierung des Personenverkehrs (Nettonull-Ziel) dürften Plug-in-Hybride zusehends mit Wasserstoff-Brennstoffzellen statt Verbrennungsmotoren ausgerüstet werden. Plug-in-FCEV könnten bei ambitionierten Klimavorgaben eine attraktive Lösung sein.

8. Bottom-up-Modellierung der Elektromobilitätsszenarien

Die Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz basieren auf einer detaillierten Modellierung des schweizerischen Neuwagenmarktes für die Jahre 2020 bis 2040. Für jedes Jahr wird eine synthetische Flotte aller Neuwagenmodelle jeglicher Antriebsformen erstellt, mit den jeweiligen 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. Ausschlaggebend ist, ab wann Elektroautos (BEV und PHEV) in welchen Modellsegmenten im Angebot stehen. Die simulierten Neuwagen-Verkaufszahlen gehen in ein kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell ein (Abbildung 7).

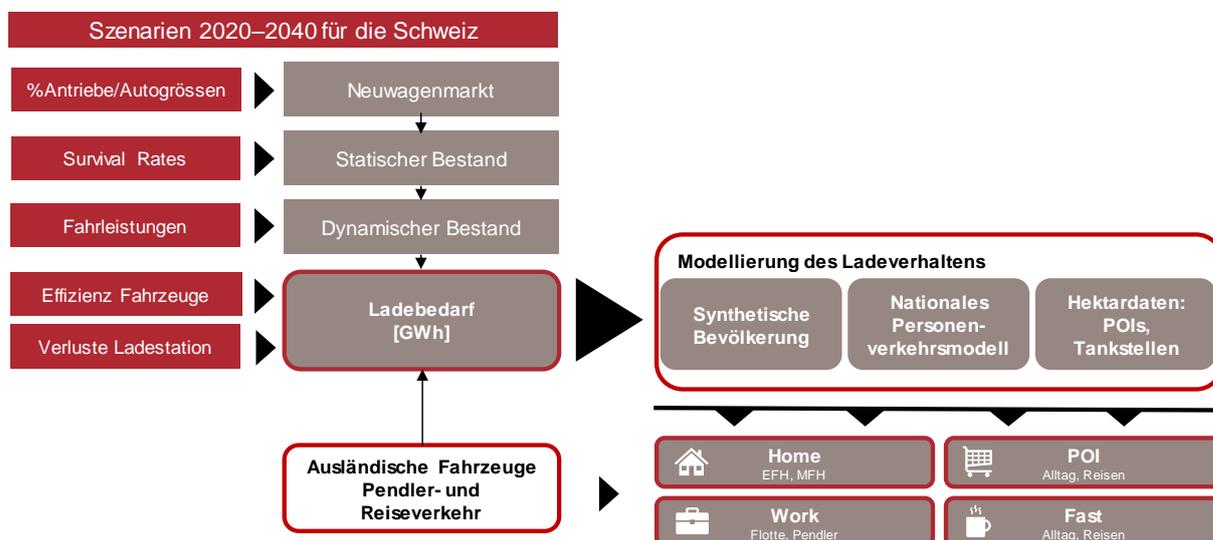


Abbildung 7: Schematischer Ablauf der Bottom-up-Modellierung der Elektromobilitätsszenarien

Unter Berücksichtigung des realen Verbrauchs je Fahrzeugkategorie (Tabelle 1) sowie unter Berücksichtigung von Verlusten (Batterie und Ladevorgänge) wird der Ladebedarf berechnet. Es folgt eine agentenbasierte Modellierung aller Ladevorgänge (siehe dazu Kapitel 11).

	2020	2030
PHEV Kompaktklasse	14 kWh/100 km	13 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	17 kWh/100 km
BEV Oberklasse	27 kWh/100 km	24 kWh/100 km

Tabelle 1: Realer Stromverbrauch der Steckerfahrzeuge je Fahrzeugkategorie im Jahr 2020 und 2030.

9. Die drei Szenarien zur Elektromobilität in der Schweiz

Die drei Szenarien zur Elektromobilität spannen den Raum der möglichen Entwicklung auf. Neben der Entwicklung der Batterien (Kapitel 4) und der Ladeleistungen (Kapitel 5) sind die Änderungen beim Neuwagen-Angebot, bei der Ladeinfrastruktur, sowie bei den Politikmassnahmen entscheidend.

Es dauert noch mehrere Jahre, bis alle häufig gekauften Automodelle auch mit Elektroantrieb erhältlich sein werden. Die meisten Kleinwagen-Modelle werden in 10 Jahren nur noch in elektrischer Ausführung hergestellt. Schwere, allradangetriebene und geländetaugliche Fahrzeuge sind generell schwieriger zu elektrifizieren, bzw. benötigen wegen des höheren Energieverbrauchs für eine marktaugliche Reichweite grössere Batteriepakete. Gerade diese Segmente sind in der Schweiz stark nachgefragt.

Für höhere Marktanteile der Elektroautos ist auch die Entwicklung der Ladeinfrastruktur ausschlaggebend. Heute steigen hauptsächlich Hausbesitzer mit eigenem Parkplatz auf Elektrofahrzeuge um. Für den Massenmarkt braucht es Ladelösungen auch für Mehrfamilienhausbewohner und vor allem für jene ohne eigenen Parkplatz. Zentral dafür sind Ladelösungen in Einstellhallen und Lademöglichkeiten in blauen Zonen.

Analog zu den früheren Elektromobilitätsszenarien der TA-Swiss-Studie 2013, des Update 2016 (EBP 2016c) sowie des Update 2018 (EBP 2018i), werden wiederum die drei Szenarien BAU, EFF und COM unterschieden. Sie wurden an die verschärften CO₂-Vorschriften für neue Personenwagen und die technische, angebotsseitige und politische Entwicklung der letzten Jahre angepasst. Im Vergleich zum Update 2018 geht das Update 2020 von einem schnelleren Markthochlauf aus. Das Szenario BAU entspricht im Markthochlauf praktisch dem bisherigen Szenario EFF des Updates 2018:

- **BAU (Business As Usual):** Im Szenario BAU würde das totalrevidierte CO₂-Gesetz in einer Referendumsabstimmung vom Schweizer Volk abgelehnt. In der Folge würden die Emissionsvorschriften für Neuwagen mit Zielwert 95 g CO₂/km mehrere Jahre später als in der EU für 100% der Neuwagenflotte gelten. Auch nach 2025 würden die durchschnittlichen g CO₂/km-Werte der Schweizer Neuwagen – dem europäischen Durchschnitt mit einigen Jahren Verspätung folgend – kontinuierlich abnehmen. In den Kantonen gibt es keine Anpassungen der Motorfahrzeugsteuern zur Förderung der Elektromobilität, es gibt keine neuen Förderprogramme für Elektroautos oder Ladeinfrastruktur.
- **EFF (Efficiency):** Das Szenario EFF geht davon aus, dass das totalrevidierte CO₂-Gesetz gemäss aktuellem Vorschlag per 1.1.2021 in Kraft tritt und kein von der EU abweichendes Phasing-in mehr vorsieht. Ab 2021 würde der Zielwert 95 gCO₂/km für 100% der Neuwagen gelten. Weitere Verschärfungen würden durch die Schweiz zeitgleich übernommen: Bis 2030 sinken die Emissions-Zielwerte für Neuwagen um 37.5 Prozent im Vergleich zu 2021 und werden anschliessend fortgeschrieben. Die grösseren Kantone führen Bonus-Malus-Systeme auf Grundlage der

Energieeffizienz der Neuwagen ein, lancieren Förderprogramme für AC-Ladeinfrastruktur zuhause und am Arbeitsplatz, und setzen bei den Gemeinden die zügige Anpassung der Bauvorschriften zur Auslegung aller neuen Parkplätze auf 100% Elektromobilität durch.

- **COM (Connected Mobility):** Zusätzlich zu den Politikmassnahmen des Szenarios EFF ändert sich im Szenario COM die Bedeutung der Ökologie bei Neuwagen-Kaufentscheidungen. Elektrische Antriebe entwickeln sich für die Konsumenten zum Standard, der Anteil der Allradantriebe geht zurück. Kantone und Städte verbieten Verbrennerautos nicht, führen aber Anreize zur Bevorzugung von Autos ohne lokalen Emissionen ein.

Die Szenarien BAU, EFF und COM stellen keine Extremszenarien dar; im Falle von starken Schocks (Wirtschaftskrise; Energiepreise; Verboten) oder technologischen Brüchen kann es zu einer Entwicklung kommen, welche ausserhalb des von BAU und COM aufgespannten Fächers liegt.

Abbildung 8 zeigt den Marktanteil der BEV und PHEV am Neuwagenmarkt bis 2040 in der Schweiz für alle drei Szenarien. Abbildung 9 illustriert die verzögerte Auswirkung auf den Gesamtfahrzeugbestand.

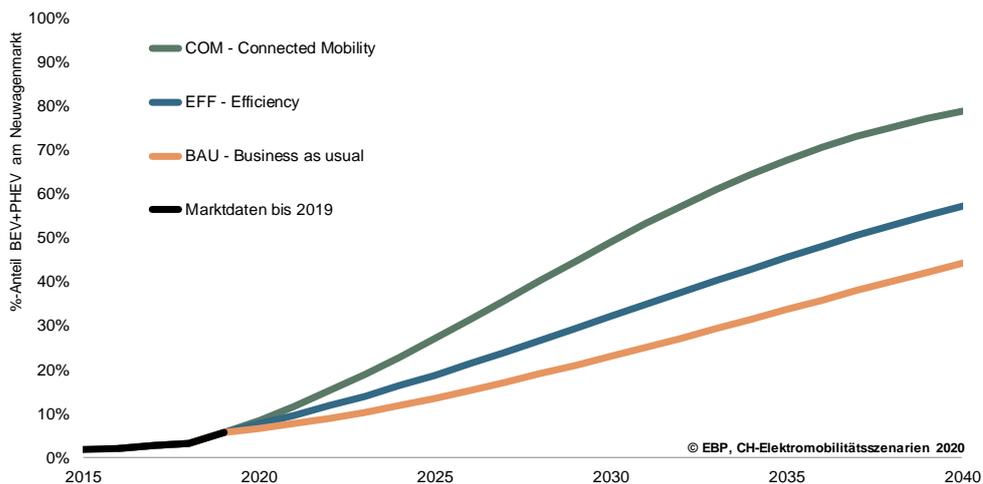


Abbildung 8: Anteil der Steckerfahrzeuge (BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt bis 2040.

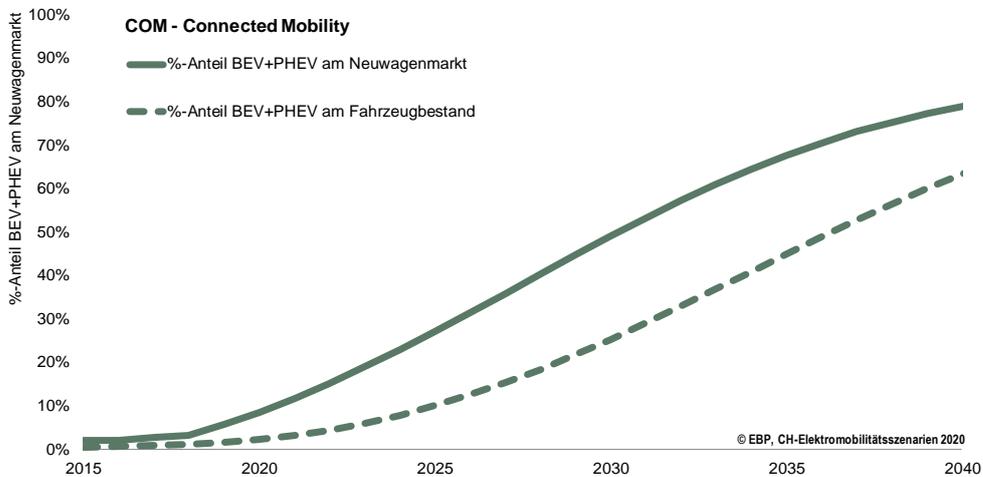


Abbildung 9: Anteil der Steckerfahrzeuge am Neuwagenmarkt und die verzögerte Auswirkung auf den Gesamtfahrzeugbestand (Fahrzeugflotte) bis 2040 im Szenario COM.

10. Paris-Szenario: Elektromobilität für das Netto-null-Ziel

An der Klimakonferenz in Paris Ende 2015 wurde für die Zeit nach 2020 ein neues Übereinkommen verabschiedet. Die durchschnittliche globale Erwärmung im Vergleich zur vorindustriellen Zeit soll auf deutlich unter 2 °C begrenzt werden; Ziel ist ein maximaler Anstieg von 1.5 °C.

Um die Implikationen des 1.5–2 °C-Ziels abzuschätzen, beschreibt der IPCC (Special Report Global Warming of 1.5 °C) das weltweit verfügbare CO₂-Budget, welches noch emittiert werden darf, ohne dabei die beschlossene Temperaturgrenze zu überschreiten.

Unter Berücksichtigung der historischen CO₂-Emissionen in den Jahren seit 1990 (Referenzjahr des Kyoto-Protokolls) kann so für jedes Land, jeden Kanton, jede Stadt oder sogar jede Person ein verbleibendes CO₂-Budget ermittelt werden. Je schneller die CO₂-Emissionen in naher Zukunft sinken, desto mehr Zeit bleibt, wo zumindest noch wenige Emissionen innerhalb des Budgets möglich sind, ohne auf Negativemissionen angewiesen zu sein. Für alle relevanten Sektoren lassen sich Absenkpfade berechnen. Es ist davon auszugehen, dass zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommens bis 2050 «netto null» Treibhausgasemissionen erreicht werden müssen: Noch verbleibende Quellen müssten durch Senken kompensiert werden.

Der Verkehr ist in der Schweiz für rund 30 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen verantwortlich, von denen knapp 75% auf Personenwagen entfallen. Zur Einhaltung des Klimaabkommens von Paris müssen daher die CO₂-Emissionen der Personenwagen drastisch gesenkt werden. Neben der Reduktion der Anzahl Autos pro Einwohner und der Verschiebung des Modasplits in Richtung ÖV, Fuss- und Veloverkehr spielt dabei die Elektromobilität die herausragende Rolle.

Das Zielszenario «Paris» zeigt ein technisch machbarer Pfad mit einer disruptiven Entwicklung zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommens:

— **PAR (Paris):** Im Zielszenario PAR werden alle politischen Massnahmen des Szenarios EFF ab 2025 drastisch verschärft. Die Emissionsvorschriften für neue Personenwagen werden ab 2025 auf 15 g CO₂/km, ab 2030 auf 10 g CO₂/km, ab 2040 auf 5 g CO₂/km und ab 2050 auf 0 g CO₂/km gesenkt. Zudem wird mit einer Abnahme des Motorisierungsgrads und mit einer Reduktion der Fahrleistung der Personenwagen gerechnet.

Die Abbildung 10 zeigt den Marktanteil der Steckerfahrzeuge (BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt bis 2040. Abbildung 11 zeigt die Entwicklung des Personenwagenbestandes bis 2040. Auch wenn 2040 im Paris-Szenario praktisch keine Verbrenner mehr verkauft werden, sind immer noch rund 40% auf der Strasse unterwegs. Bei den unterlegten strengen Klimaschutzvorgaben zeigt sich auch die zunehmende Bedeutung der Personenwagen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen (FCEV).

Wie gross das CO₂-Reduktionspotenzial der Elektromobilität im Bereich der Personenwagen ist, wird in Abbildung 12 illustriert.

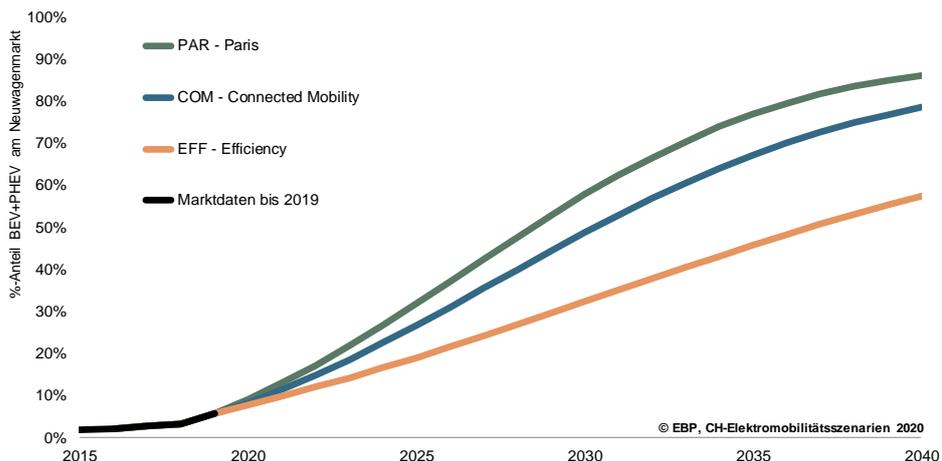


Abbildung 10: Anteil der Steckerfahrzeuge (BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt in der Schweiz bis 2040 für die Szenarien EFF, COM und PAR.

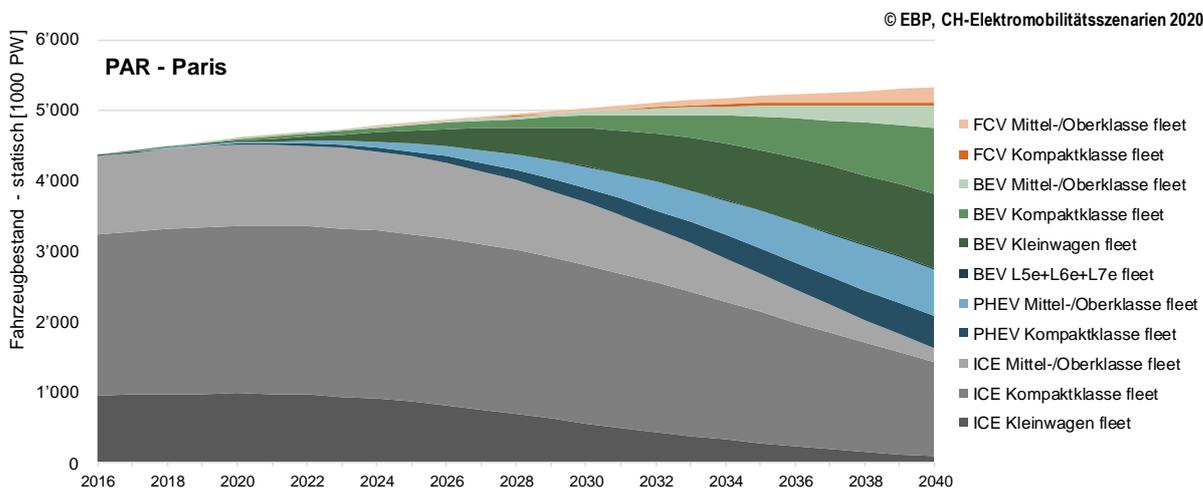


Abbildung 11: Entwicklung des Personenwagenbestandes je Fahrzeugkategorie in der Schweiz bis 2040 im Paris-Szenario.

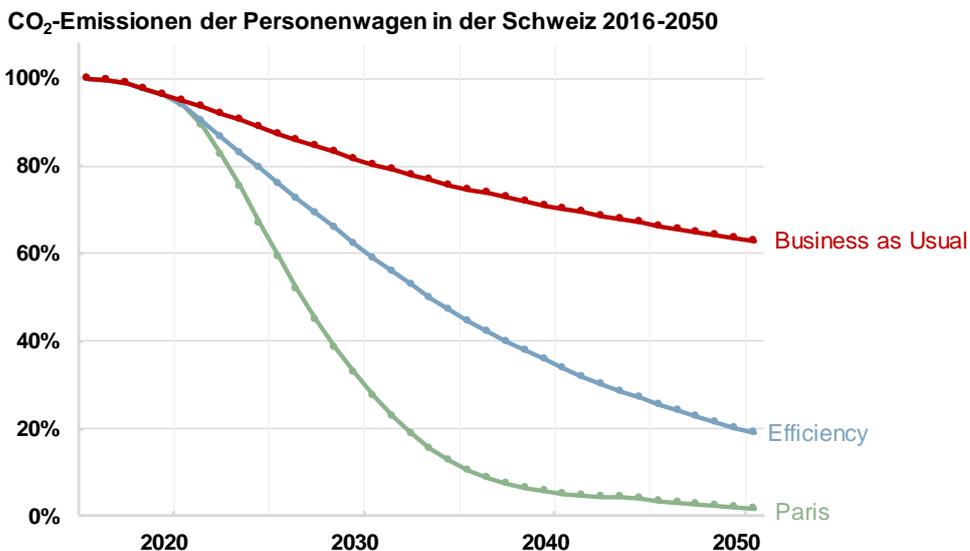


Abbildung 12: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Personenwagen in der Schweiz ausgehend vom Jahr 2016 bis 2050 für die drei Szenarien BAU, EFF und PAR.

11. Ladeverhalten je Ladestationstyp

Für zahlreiche Fragestellungen im Bereich Elektromobilität ist nicht die Anzahl der Elektrofahrzeuge oder der gesamte Ladebedarf entscheidend, sondern wo, wie häufig, wieviel, wie lange und mit welcher Leistung geladen wird. Dazu folgt auf Basis der Elektromobilitätsszenarien eine agentenbasierte Modellierung aller Ladevorgänge (siehe auch Abbildung 7). Der Bedarf für private und öffentlich zugängliche Ladestationen kann abgeschätzt und räumlich fein aufgelöste Roll-out-Konzepte für Ladeinfrastruktur erstellt werden. Zudem sind Abschätzungen möglich, wie stark und vor allem wo die Ladevorgänge das Stromverteilnetz belasten.

Es werden vier Ladestationstypen (Abbildung 13) unterschieden. Weiter wird das Ladeverhalten anhand von Nutzertypen (Pendler-, Freizeitverkehr, Kombination aus beiden, Firmenflottenfahrzeuge) beschrieben (Abbildung 14). Die Modellierung differenziert 32 Fahrzeugtypen nach Fahrzeugkategorie und Aufnahmeleistung. Je nach Fahrzeugkategorie und Nutzertyp unterscheidet sich die Fahrleistung und auch das Ladeverhalten.

	Home Charging: Aufladen am Wohnort oder in unmittelbarer Nähe des Wohnortes mit Wechselstrom (AC). Ladeleistung 3.7 kW bis 11 kW Ladedauer 1-4 Std.
	Work Charging: Aufladen am Arbeitsplatz mit Wechselstrom (AC). Ladeleistung 11 kW bis 22 kW Ladedauer 1-4 Std.
	Point of Interest (POI) Charging: Aufladen mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC) an öffentlichen Ladestationen, während einer Aktivität (Einkaufen, Sport, Hotel, Kultur). Ladeleistung 22 kW bis 50 kW. Ladedauer durchschnittlich 1 bis 2 Std.
	Fast Charging: Ladestelle mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC), die eine Schnellladung ermöglichen. Ladeleistung 43 kW bis 150 kW Ladedauer max. 20 min.

Abbildung 13: Charakteristik der vier Ladestationstypen.



Abbildung 14: Beschreibung des Ladeverhaltens je Nutzertyp.

Der Ladebedarf, der nicht am «Wohnort» der Fahrzeuge (Home Charging bei Privatfahrzeugen, Work Charging bei Flottenfahrzeugen) geladen wird, wird in andere Gebiete «exportiert». Wichtige Informationen dafür liefert das Nationale Personenverkehrsmodell: Es zeigt detailliert die Fahrleistung je

Verkehrszweck zwischen den Verkehrszonen in der Schweiz und dem nahen Ausland (Abbildung 15). Schweizweite Standortinformationen, Verkehrsbelastungsdaten, Parkplatzdaten und das bereits verfügbar Ladestationsnetz zeigen, wo ein Ladevorgang gestartet werden kann (Abbildung 15). Dies erlaubt eine Abschätzung des Aufkommens von Elektrofahrzeugen, der Anzahl Ladevorgänge sowie der Ladeleistung im Hektarraster über die ganze Schweiz (Abbildung 16).

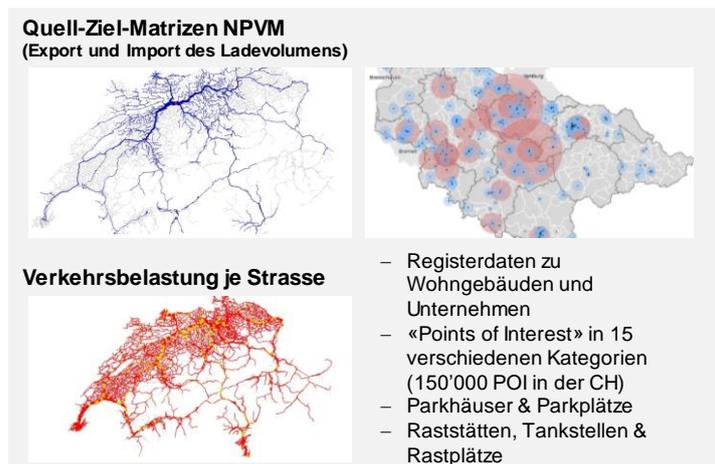


Abbildung 15: Ladebedarf, der nicht am Wohnort geladen wird, wird in andere Gebiete «exportiert».

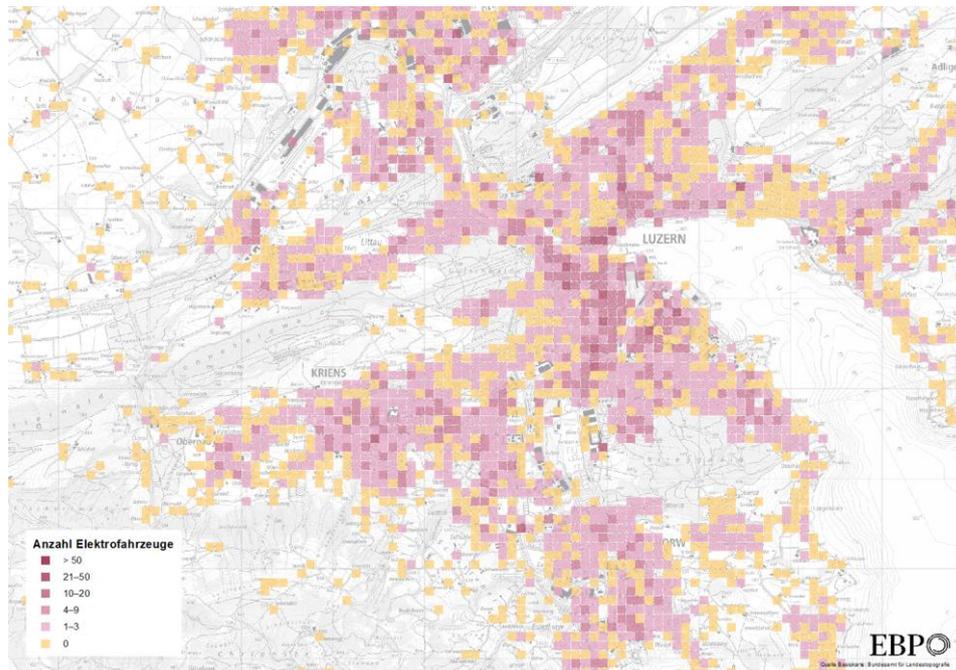


Abbildung 16: Die Szenarien im Hektarraster zeigen, in welchen Haushalten und Unternehmen zukünftig Elektrofahrzeuge geladen werden.

Heute erfolgen 90% aller Ladevorgänge an privaten Ladestationen. Mittel- und längerfristig ist – insbesondere bei einer schnellen Marktdurchdringung der Elektromobilität – mit einer steigenden Bedeutung des öffentlichen Ladens zu rechnen (Abbildung 17). Mit steigender Reichweite der Steckerfahrzeuge und höherer Ladeleistung reicht bei künftigen Elektroautos ein Ladevorgang pro Woche. Entsprechend werden Elektrofahrzeuge auch attraktiv, wenn man keinen eigenen festen Parkplatz hat.

Anteil je Ladestationstyp am Gesamtladebedarf

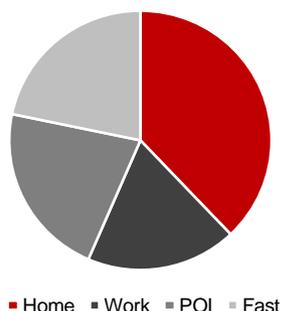


Abbildung 17: Mittel- und langfristig wird auch das Laden an öffentlich zugänglichen Ladestationen immer wichtiger (hier im Szenario EFF für das Jahr 2035).

An Ladestationen zuhause und am Arbeitsplatz dominiert auch mittel- und langfristig das inkrementelle Nachladen kleiner Strommengen (Tabelle 2). Entsprechend dauern die Ladevorgänge an privaten Ladestationen auch nicht sehr lange (Tabelle 3) – das Potenzial für Smart Charging (die zeitliche Verschiebung von Ladevorgängen) – ist entsprechend gross. Die geladenen Strommengen sind an öffentlich zugänglichen Ladestationen (POI Charging) grösser: 1 bis 2 Stunden Ladezeit pro Woche reichen aus.

Bei den öffentlich zugänglichen Schnellladestationen (Fast Charging) ergibt sich die geladene Strommenge aus einem Kompromiss zwischen der Ladezeit und der Aufnahmeleistung der Fahrzeuge. Da hier das Laden und nicht das Parkieren im Vordergrund steht, ist davon auszugehen, dass Schnellladevorgänge im Durchschnitt 15 bis 20 Minuten dauern. Entsprechend wird im Jahr 2035 durchschnittlich rund 20 bis 25 kWh pro Ladevorgang nachgeladen, was einer nachgeladenen Reichweite von 100 bis 190 km pro Ladevorgang entspricht, je nach Fahrzeugkategorie und Verbrauch (Tabelle 2 und Tabelle 3).

	Home	Work	POI	Fast
PHEV Kompaktklasse	10 kWh/LV	7 kWh/LV	21 kWh/LV	21 kWh/LV
PHEV Oberklasse	15 kWh/LV	12 kWh/LV	24 kWh/LV	24 kWh/LV
BEV Kleinwagen	7 kWh/LV	10 kWh/LV	28 kWh/LV	21 kWh/LV
BEV Kompaktklasse	12 kWh/LV	15 kWh/LV	42 kWh/LV	24 kWh/LV
BEV Oberklasse	20 kWh/LV	20 kWh/LV	50 kWh/LV	25 kWh/LV

Tabelle 2: Durchschnittlich geladene Strommenge pro Ladevorgang (LV) je Fahrzeugkategorie und je Ladestationstyp im Szenario EFF im Jahr 2035.

	Home	Work	POI	Fast
PHEV Kompaktklasse	1.3 Std.	0,5 Std.	0.8 Std.	15 min.
PHEV Oberklasse	2.1 Std.	0.8 Std.	0.9 Std.	14 min.
BEV Kleinwagen	1.0 Std.	0.7 Std.	1.0 Std.	16 min.
BEV Kompaktklasse	1.6 Std.	1.1 Std.	1.5 Std.	18 min.
BEV Oberklasse	2.7 Std.	1.4 Std.	1.8 Std.	15 min.

Tabelle 3: Durchschnittliche Ladedauer eines Ladevorgangs je Fahrzeugkategorie und je Ladestationstyp im Szenario EFF im Jahr 2025.

12. Auswirkungen auf Strombedarf und Stromnetz

Der Strombedarf aller heute in der Schweiz verkehrenden Steckerfahrzeuge beläuft sich schätzungsweise auf rund 140 GWh pro Jahr, oder 0.2% des Gesamtstromverbrauchs. Hand in Hand mit der zunehmenden Marktdurchdringung der Elektromobilität wird auch der Stromverbrauch steigen. Bis 2025 wird sich der Stromverbrauch der Elektromobilität um den Faktor 6–7 erhöhen. Bis 2030 wird in den Szenarien COM und DEC bereits 2.5 TWh Strom von der Elektromobilität nachgefragt. Im Paris-Szenario wird im Jahr 2040 mehr als 60% der gesamten Fahrleistung des Personenwagenverkehrs in der Schweiz elektrisch zurückgelegt. In diesem Falle steigt der Stromverbrauch auf rund 6.5 TWh (Abbildung 18). Dies entspricht rund 11 Prozent des heutigen Stromverbrauchs der Schweiz.

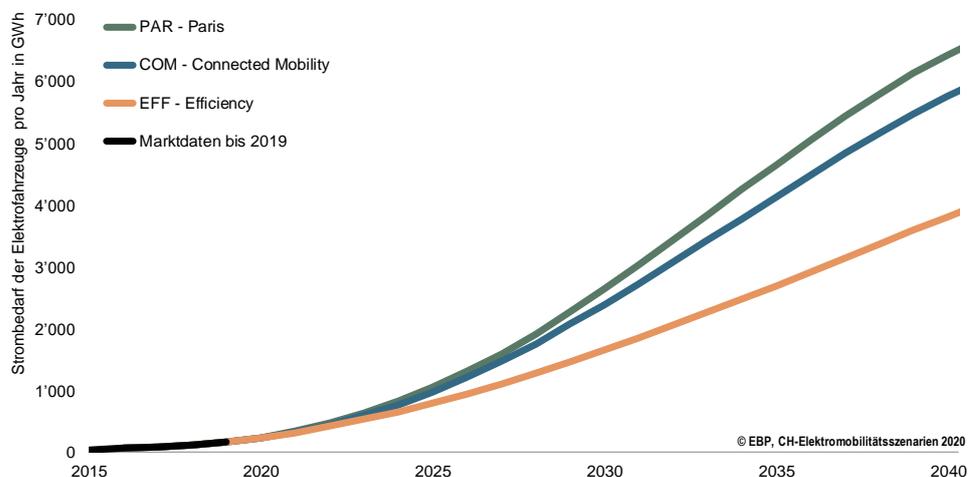


Abbildung 18: Entwicklung des Stromverbrauchs aller Steckerfahrzeuge in der Schweiz bis 2040.

Der erhöhte Strombedarf der Elektromobilität ist durch Zubau von erneuerbaren Energien und einer guten europäischen Vernetzung bereitzustellen. Entscheidender für das Stromsystem ist nicht der Strombedarf der Elektromobilität, sondern der Leistungsbedarf. Während der Ladevorgänge werden kurzzeitig sehr hohe Ladeleistungen abgerufen, welche das Stromnetz in den untern Netzebenen, also im Verteilnetz, belastet.

Um den Einfluss der Elektromobilität auf die Verteilnetze zu quantifizieren nutzen wir die agentenbasierte Modellierung einzelner Ladevorgänge im Hektarraster (siehe Kapitel 11). So lassen sich relevante Kenngrößen für Verteilnetzsimulationen und Stresstests berechnen, wie Lastprofile der Elektromobilität auf Minuten- oder Stundenbasis, Gleichzeitigkeitsfaktoren ableiten sowie der maximale Leistungsbedarf auf Hausanschluss-, Trafo- oder Unterwerkebene (Abbildung 19 und Abbildung 20).

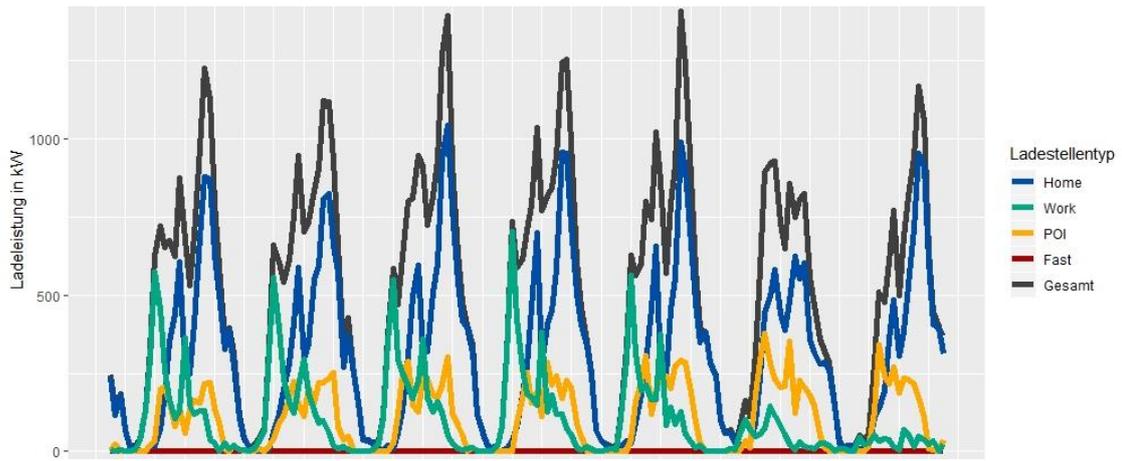


Abbildung 19: Stündliche Ladeprofile (für eine Woche) je Ladestationstyp auf Ebene Unterwerk einer Schweizer Stadt im 2040 bei hoher Marktdurchdringung der Elektromobilität.

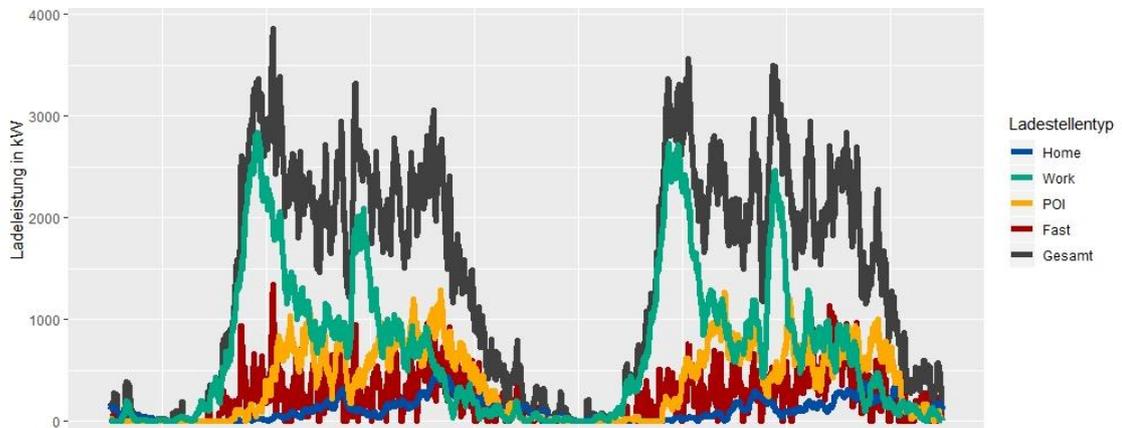


Abbildung 20: Minuten-Ladeprofile je Ladestationstyp für zwei Tage auf Ebene Unterwerk einer Schweizer Stadt im Jahr 2040 bei hoher Marktdurchdringung der Elektromobilität.

13. Spezifische Szenarien für alle Kantone der Schweiz

Die Elektromobilität entwickelt sich nicht überall in der Schweiz gleich schnell (Abbildung 21). Die Kantone weisen unterschiedliche Standortfaktoren, Mobilitätsverhalten, Soziodemographie und Politikmassnahmen auf. Im letzten Quartal 2019 führen Kaufprämien im Kanton Thurgau zu einem Marktanteil der Elektroautos von 10%. Regionale Unterschiede werden sich auch künftig zeigen. Mit den feinaufgelösten Elektromobilitätsszenarien für Kantone, Städte, Gemeinden und Energieversorger können diese regionalen Unterschiede abgebildet werden (siehe und Kapitel 9).

Die Unterschiede in Soziodemographie und Mobilitätsverhalten werden über eine quantitative Analyse der synthetischen Bevölkerung der Schweiz von EBP synPop gewonnen. Die synPop bildet das Mobilitäts- und Konsumverhalten aller Haushalte der Schweiz synthetisiert ab. Basis der synPop sind die Gebäude- und Wohnstatistik, der Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (BFS / ARE 2017c), die MOFIS-Datenbank von ASTRA sowie die BFS-Haushaltsbudgeterhebung. Folgende Faktoren haben einen direkten Einfluss auf die Affinität für Elektromobilität (Tabelle 4).

Kriterium	Einfluss
Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt	Mehr-Auto-Haushalte kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere, weil Elektrofahrzeuge häufig als Zweitauto eingesetzt werden.
Anteil Autofahrten länger als 100 km	Wer täglich mehr als 100 km fährt, kauft weniger häufig Elektrofahrzeuge als andere.
Ausbildungsstand	Personen mit mindestens einem Fachhochschul-Abschluss kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.
Motorisierungsgrad	Haushalte mit einem PKW zur ständigen Verfügung kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.
Anteil von 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.
Kaufkraft	Viele angekündigte PHEV und BEV gehören der Oberklasse und werden starke Leistungen haben (Porsche, Tesla, usw.). Als Proxy für die Kaufkraft kann auch die durchschnittliche Leistung der PKW-Flotte herangezogen werden.
Zusammensetzung Haushalte nach Haushaltstyp	Haushalte ohne Kinder kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.
Haushalte in Einfamilienhäusern	Für Mieter in Mehrfamilienhäusern mit Einstellhallen ist es anspruchsvoller eine private Ladestation zu installieren. Dies hindert den Kaufentscheid. Noch schwieriger ist es für Mieter ohne private Parkplätze (blaue Zonen).
Durchschnittsalter PKW-Flotte	Je tiefer der Durchschnittsalter, desto schneller die Umwälzung des Personenwagenbestands und die Penetration von neuen Antriebstechnologien.

Tabelle 4: Kantonale Anpassung der Szenarien: Kriterien für das Mobilitätsverhalten.

Zusätzlich werden als *Standortfaktoren* weitere Kriterien untersucht, die einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben:

- Kantonale Förderprogramme
- existierende Ladeinfrastruktur und/oder Pilotprojekte
- Die Qualität des ÖV-Angebots

Anteil batterie-elektrischer (BEV) und Plug-In Hybrid-Personenwagen (PHEV) am Personenwagenbestand

Szenario COM im Jahr 2040

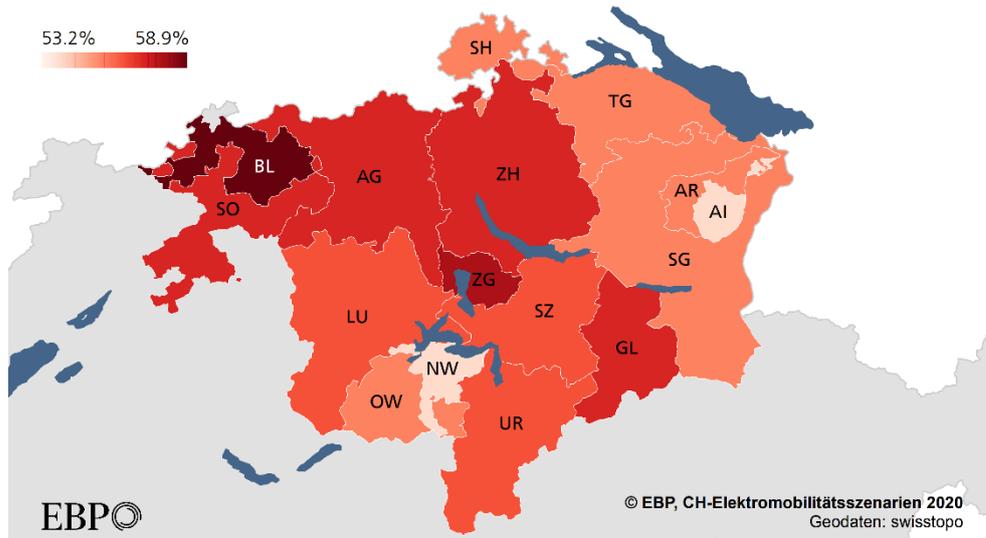


Abbildung 21: Anteil der Steckerfahrzeuge am Gesamtfahrzeugbestand in den Kantonen im Szenario COM im Jahr 2040.

14. Elektromobilitätsszenarien für Städte und Gemeinden

Regional angepasste Szenarien der Elektromobilität liefern wichtige Planungsgrundlagen für 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 in Kapitel 8 und 11 beschriebene Modellierung ermöglicht regional feinaufgelösten Szenarien, beispielsweise auf Ebene Gemeinde oder Postleitzahl (Abbildung 22 und Abbildung 23).

Anteil batterie-elektrischer (BEV) und Plug-In Hybrid-Personenwagen (PHEV) am Personenwagenbestand

Szenario EFF im Jahr 2030

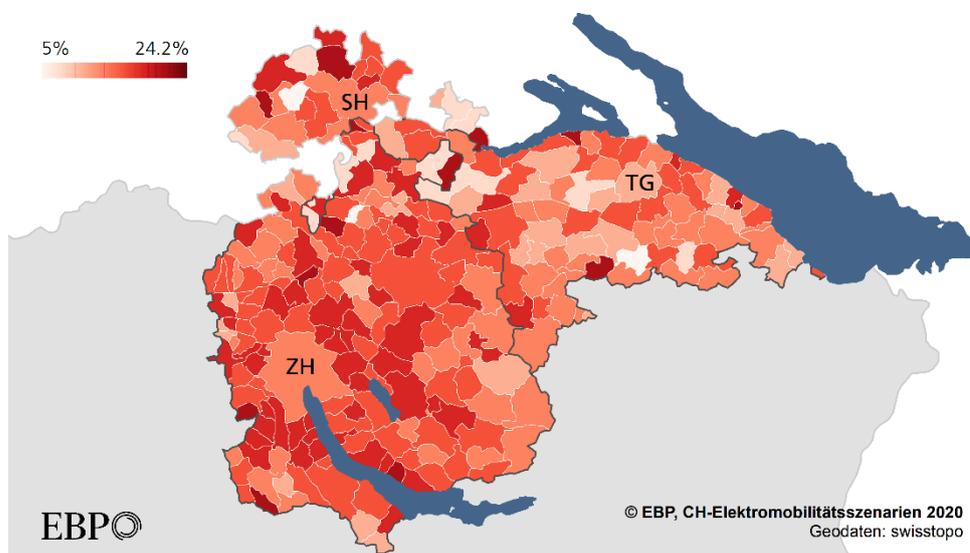


Abbildung 22: Elektromobilitätsszenarien auf Gemeindeebene.

Anteil batterie-elektrischer (BEV) und Plug-In Hybrid-Personenwagen (PHEV) am Personenwagenbestand

Szenario EFF im Jahr 2030

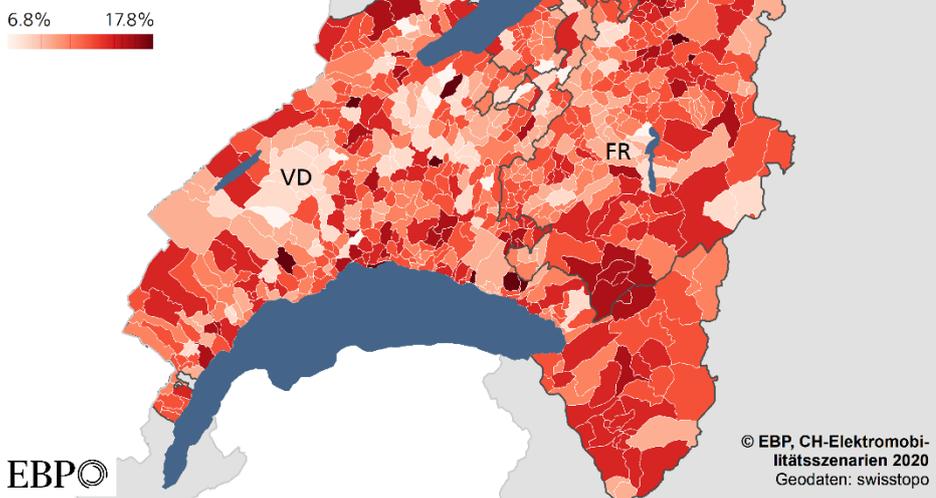


Abbildung 23: Elektromobilitätsszenarien auf Ebene Postleitzahl.

15. Wer kauft heute und morgen Elektrofahrzeuge?

EBP führt jährlich eine repräsentative Erhebung durch zu Autokauf und Mobilität in der Schweiz, den „Barometer Auto und Mobilität von morgen“ (BAM). Nachstehend werden einige für die Elektromobilität besonders relevante Trends gezeigt; für die ausführlichen Analysen verweisen wir auf die jährlichen Hintergrundberichte (EBP 2017a, 2016a; 2015a; 2014a).

Der Energieverbrauch ist seit 2015 das wichtigste von 15 Kriterien beim Neuwagenkauf. Dies war in Befragungen aus dem Jahr 2005 und 2006 noch nicht der Fall. Der CO₂-Ausstoss ist das dritt- oder zweitwichtigste Kriterium.

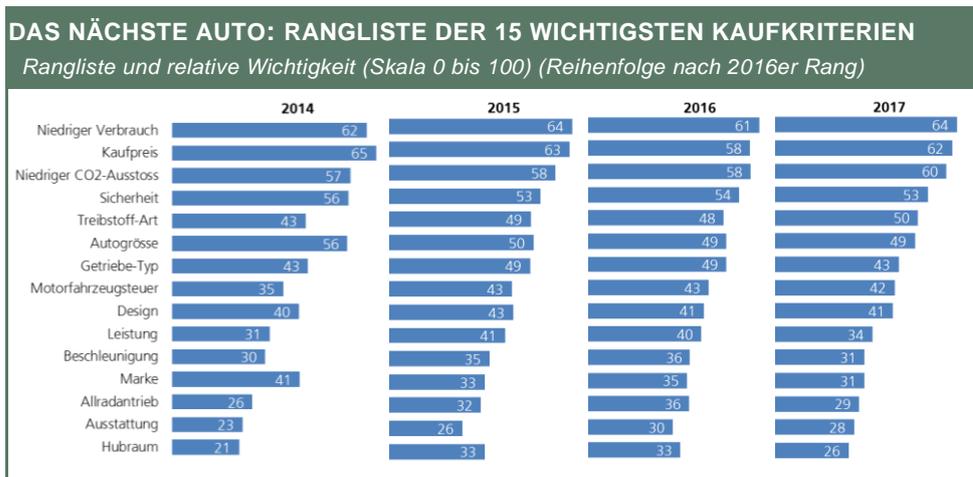


Abbildung 24. Rangliste der 15 wichtigsten Kriterien beim Autokauf Abbildung aus EBP (EBP 2017a).

Eine grosse Reichweite von Elektroautos ist den Befragten sehr wichtig. Die Befragten möchten unter Alltagsbedingungen 400 km oder am liebsten gar über 500 km Reichweite haben. Das zeigt: Autos werden nicht auf ihren durchschnittlichen Alltagseinsatz hin optimiert, sondern auf Eventualitäten, welche vielleicht einmal pro Jahr vorkommen könnten. Das Auto soll immer noch Alleskönner sein, obwohl ca. 70% aller Personenwagen in der Schweiz nicht als Alleinauto einem Haushalt dienen, sondern diese Haushalte zwei oder mehr Fahrzeuge zur Verfügung haben.

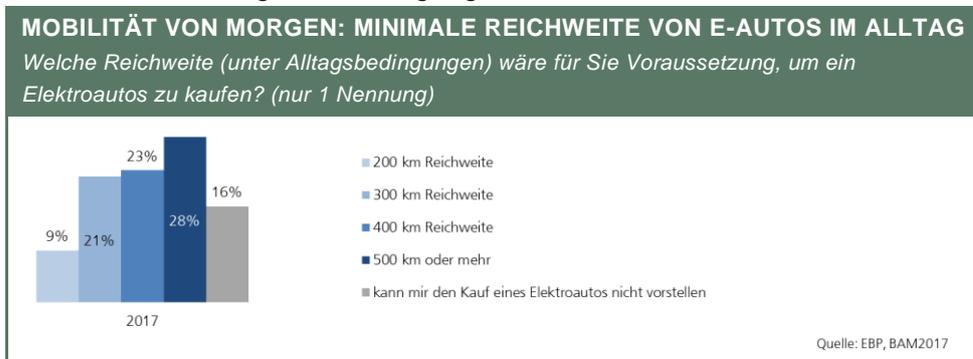


Abbildung 25. Minimale Reichweite von Elektroautos im Alltag. Abbildung aus EBP (EBP 2017a).

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

Die Elektromobilität birgt zahlreiche Chancen wie auch bedeutende Risiken (de Haan, Zah et al. 2013, de Haan et al. 2009, de Haan, Peters et al. 2015). Um die konkreten Chancen zu nutzen und die Risiken zu minimieren müssen Kantone, Gemeinden, Energieversorger und weitere Akteure aktiv werden. Eine wesentliche Grundlage dafür sind die Szenarien der Elektromobilität, wie die folgenden Projektbeispiele illustrieren.

16.1 Kantonale Konzepte und Massnahmenpläne

Kantone brauchen Konzepte und eine Strategie, um auf die CO₂-Emissionen des Verkehrs Einfluss zu nehmen und kantonale Energie- und Klimaschutzziele zu erreichen. Dabei stellt sich die Frage in welchem Umfang sie die Elektromobilität unterstützen und fördern wollen und wie sie Rebound-Effekten vorbeugen können. Eine wichtige Grundlage dafür ist die Abschätzung der Entwicklung der Fahrzeugzahlen, des Ladebedarfes und der erzielbaren CO₂-Reduktion mittels der kantonalen Szenarien.

Die **Internationale Bodensee Konferenz (IBK)** setzt sich zusammen aus den **Kantonen AI, AR, TG, SG, SH und ZH**, sowie dem Fürstentum Liechtenstein und den angrenzenden Regionen Österreichs und Deutschlands. Sie hat eine Strategie erarbeitet, welche in einer E-Charta mündete zu der mittlerweile über 50 Akteure aus öffentlicher Hand, Mobilitätsanbietern, Energieversorgern, Tourismusakteuren und Arbeitgebern gehören. (**Strategie Elektromobilität Bodenseeraum, 2017 – 2018** [Link](#), EBP, 2018g, sowie **Internationale E-Charta Bodensee – gemeinsam elektrisch unterwegs in der Vierländerregion** [Link](#), EBP, 2019b)



Abbildung 26: Internationale E-Charta Bodensee

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.

16.2 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)

Eine **Stadt in der Nordostschweiz** erarbeitete ein Elektromobilitätskonzept zur Planung des Rollouts öffentlich zugänglicher Ladestationen und analysierte zusammen mit dem Energieversorger die Auswirkungen auf das Verteilnetz.

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).

16.3 Geschäftsmodelle und Grundlagen für Energieversorger

Energieversorger stehen vor grossen Herausforderungen und Chancen. Es gilt sich auf dem stark wachsenden Markt der Elektromobilität strategisch zu positionieren und attraktive Geschäftsfelder innerhalb der künftigen Wertschöpfungskette der Elektromobilität zu identifizieren. Es werden neue Geschäftsmodelle entwickelt sowie Investitionsplanung und der Ertragsentwicklung gerechnet. In Bezug auf das öffentliche Ladegeschäft werden Standortevaluation zur sukzessiven Realisierung eines rentablen Ladegeschäfts erarbeitet. Eine wichtige Grundlage hierfür ist der Ladebedarf je nach Ladetyp im Einzugsgebiet des Energieversorgers gemäss Szenarien Elektromobilität.

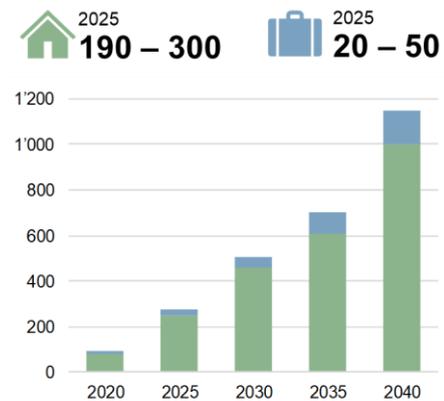


Abbildung 27: Benötigte Ladestationen des Typs Home (grün) und Work (blau) 2020 - 2040 in einer der beratenen Städte.

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)

Ein **nationaler Energieversorger** hat basierend auf einer Marktanalyse attraktive Geschäftsfelder im Ladegeschäft identifiziert. Er hat für diese einerseits ein Marketingkonzept für die Gestaltung der Dienstleistung, Definition der Standorte und Preisgestaltung erarbeitet. Andererseits eine langfristige Finanzplanung vorgenommen zur Wirtschaftlichkeit und den Geschäftsrisiken. (**Businessplan Ladestellen für die Elektromobilität**, 2017 [Link](#), EBP, 2017e)

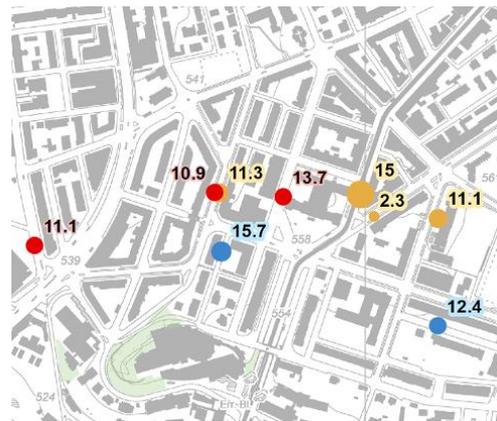


Abbildung 28: Der Localizer berechnet nach jeder Iteration und für jeden potenziellen Standort das Ladeaufkommen und prüft, ob ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. (Basiskarte: UP5, Amt für Geoinformation des Kantons Bern, OpenStreet-Map-Mitwirkende.)

In der Stadt Bern ist in den nächsten fünf Jahren der Rollout von weiteren öffentlich zugänglichen Ladestationen für Elektrofahrzeuge geplant. **Energie Wasser Bern (ewb)** setzt beim Rollout der Ladeinfrastruktur auf den «Localizer» 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)

16.4 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)

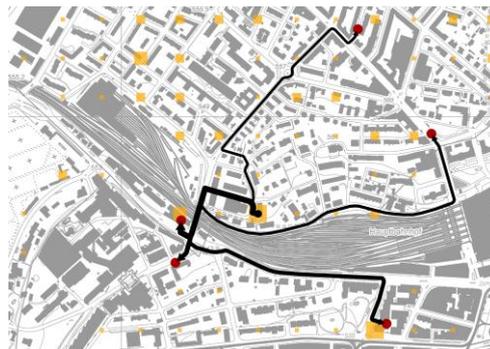


Abbildung 29: Das Routing (GIS-Analyse) bringt das potenzielle Ladeaufkommen vom Hektarraster auf die Ladestandorte. (Basiskarte: UP5, Amt für Geoinformation des Kantons Bern.)

Ein **Schweizer Immobilienbesitzer** hat eine Checkliste für Baumanager erarbeitet, welche insbesondere definiert, wann und in welchem Umfang Ladeinfrastruktur gerechtfertigt, bzw. nötig ist. Zudem enthält sie Anforderungen an die Ladeinfrastruktur und Hinweise auf die Kopplung an allfällige Solarstromanlagen. (Vorgaben für die Erstellung von Ladestationen, 2017 [Link](#))

16.5 Anpassung kantonaler Motorfahrzeugsteuern

Ertragsneutralität / Wirkung Anreize / Effekt Neuwagenkauf

Kantonale Fahrzeugsteuern für Personenwagen sollten die unterschiedliche Grösse der Autos und ihrer Umweltbelastung berücksichtigen. Sie sollten auch einen möglichst stabilen, voraussehbaren Ertrag liefern, um Betrieb, Werterhalt und Ausbau des kantonalen Strassennetzes zu gewährleisten. Einerseits beeinflussen neue Vorschriften für Personenwagen die steuerrelevanten Grössen (Hubraum, Gewicht, Leistung, CO₂-Emissionswerte). Andererseits sind Motorfahrzeugsteuern ein wichtiges kantonales Instrument, um Anreize für verbrauchsarme Fahrzeuge mit wenig CO₂-Ausstoss zu setzen. Die Szenarien Elektromobilität auf kantonaler Ebene liefern die nötigen quantitativen Grundlagen für die Ausgestaltung ertragsneutraler Motorfahrzeuge und die präzise Planung (Höhe und Zeitraum) von Boni für emissionsarme Fahrzeuge und ggf. Mali für Fahrzeuge mit hohen Emissionen.

Die Tiefbau-, Strassenverkehrs- und Umweltämter der **Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern, Luzern, Neuenburg, St.Gallen, Thurgau, Zug und Zürich** haben mithilfe 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 und i)

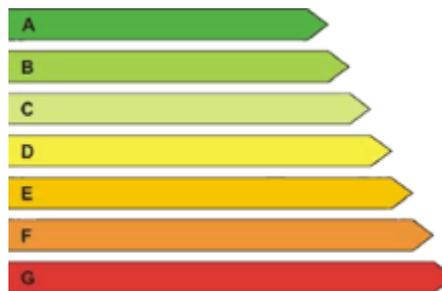


Abbildung 30: Die Energieeffizienztabelle ist eines von mehreren Kriterien welche die Motorfahrzeugsteuern berücksichtigen können.

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)
- ASTRA, 2015. Empfehlungen zum Aufbau von Schnellladestationen entlang der Nationalstrassen.
- 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, 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050. Prognos im Auftrag BFE. Basel, 12.09.2012, 904 Seiten. BFE-Website: [PDF](#) (13.8 MB)
- BFS, 2018a. Strassenfahrzeugbestand nach Fahrzeuggruppe und Kanton 1970–2017. Tabelle 11.3.2.1.1
- BFS, 2018b. Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kantonen und technischen Merkmalen 1975–2017.
- BFS, 2017a. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton 1990–2016.
- 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.
- BFS, 2016. Kantonale Bevölkerungsszenarien 2015-2045 – Bevölkerungswachstum und Bevölkerungsindikatoren nach Szenario und Jahr, Referenzszenario AR (mittleres Szenario). BFS-Website: [Link](#)
- 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)
- 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. (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: [PDF](#) (1.2 MB)
- EBP, 2020b. Elektrobus-Strategie für den ländlichen Verkehr. [Link](#).

- EBP, 2020a (noch nicht veröffentlicht). Chancen der Elektromobilität für den Kanton Schaffhausen. Im Auftrag des Kanton Schaffhausen, Baudepartement und Energiefachstelle.
- EBP, 2019a (nicht veröffentlicht). Bewertung und Priorisierung von Standorten für öffentliche Ladestationen. Im Auftrag von ewb.
- 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, 2019c (noch nicht veröffentlicht). Elektromobilität im Kanton St.Gallen. Im Auftrag des Kanton St.Gallen, Tiefbauamt.
- 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, 2018e. 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, 2018f (nicht veröffentlicht). Elektromobilität: Quantitative Planungsgrundlagen. Im Auftrag von ewl.
- EBP, 2018g. Strategie Elektromobilität Bodenseeraum. Im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz. Download von IBK-Website: [PDF](#) (1.3 MB)
- 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, 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-Steuerrabatten. 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).
- 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](#))
- 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)