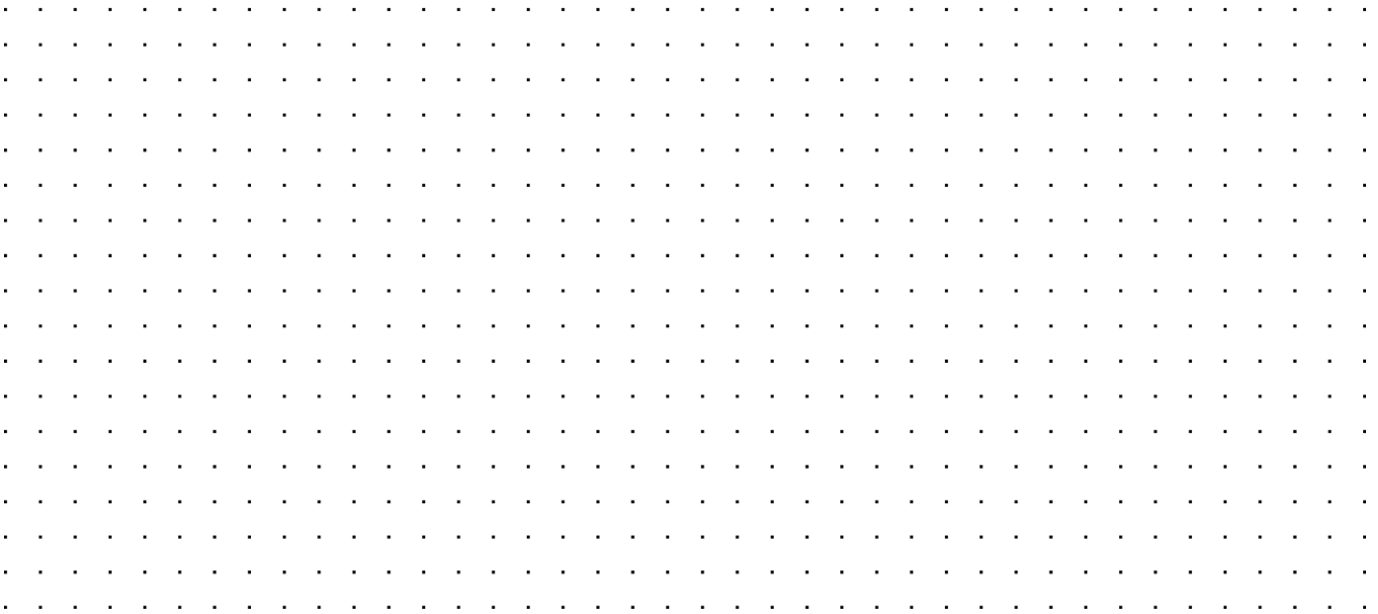
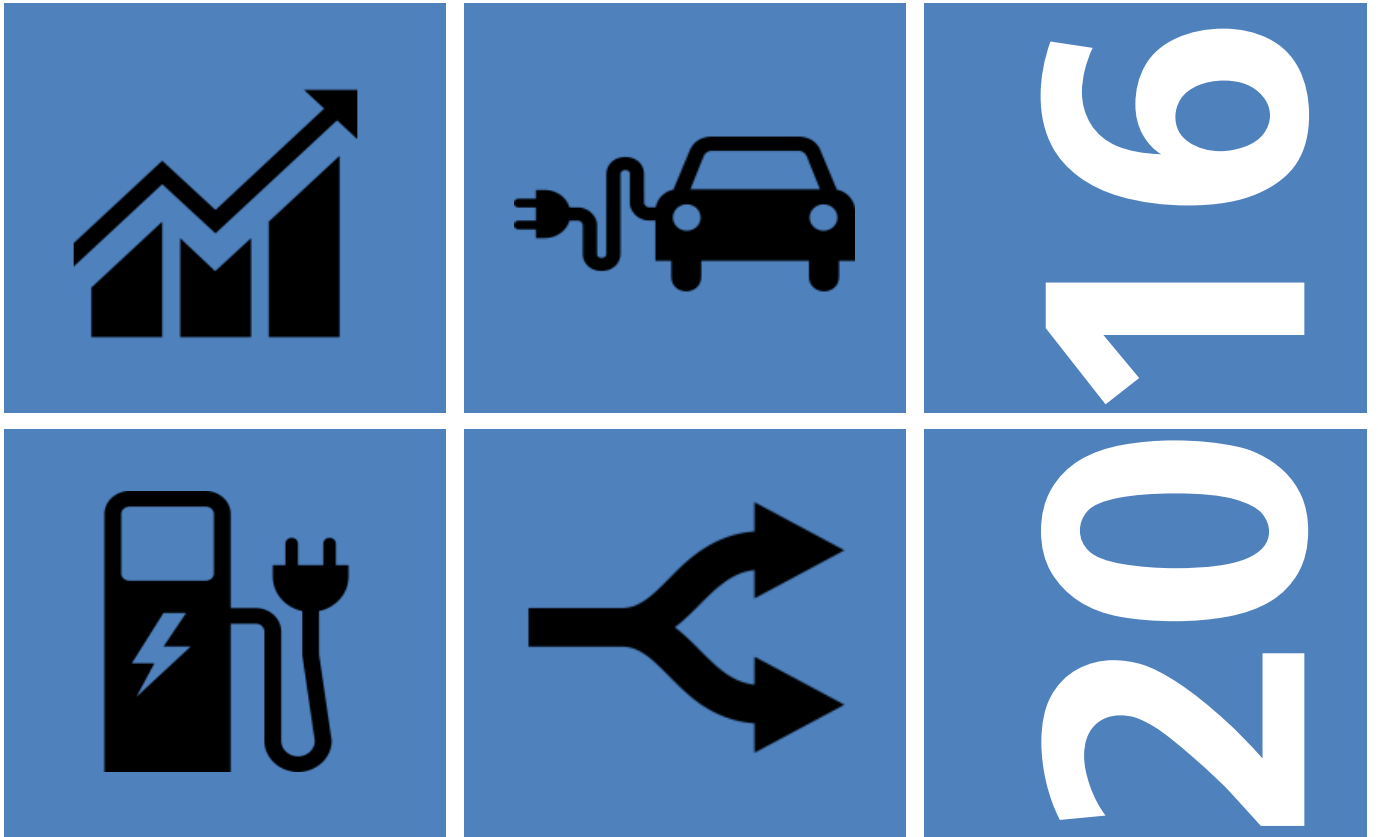


Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2016

EBP-Hintergrundbericht
31. Oktober 2016



Die vorliegenden „Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2016“ wurden durch EBP entwickelt als partielles Update der 2013er TA-Swiss-Studie „Chancen und Risiken der Elektromobilität“ ([Download-Link](#)). Zusammen können sie weiterhin als Basispublikationen für die weitere Markteindringung der Elektromobilität in der Schweiz dienen.

Dieser öffentlich zugängliche, unentgeltliche Bericht beschreibt Systemgrenze, Annahmen und Datenquellen sowie das zugrunde liegende diffusionstheoretische Modell. Die Abbildungen illustrieren die resultierenden, aggregierten Verläufe.

Ergänzend sind die folgende Einzeldaten in einem kostenpflichtigen Lizenzmodell verfügbar:

EU Abschätzungen der Neuwagenmarkt-Anteile, getrennt für BEV+PHEV, jährlich von 2016 bis 2025 für alle EU28-Mitgliedstaaten einzeln

Schweiz (a) Neuwagenmarkt-Anteile, relativ und absolut, getrennt für BEV + PHEV, inkl. maximale DC-Ladeleistungsstufe, jährlich von 2016 bis 2035.

(b) Fahrzeugbestand (registrierter, statischer Fahrzeugbestand) und fahrleistungsgewichtete (dynamische) Flotte, getrennt für BEV + PHEV, inkl. maximale DC-Ladeleistungsstufe, jährlich von 2016 bis 2035.

(c) Benötigte Strommenge und Anzahl Ladevorgänge, getrennt für BEV und PHEV in je 4 Grössenklassen, und Anzahl Ladevorgänge je Ladestations-Typ.

(d) Aufteilung von Neuwagenmarkt, Fahrzeugbestand und Fahrleistung nach DC-Ladeleistung (getrennt für BEV und PHEV; in 4 kW-Stufen).

► Die Grössen zu (a), (b), (c) und (d) liegen jeweils für drei Szenarien vor: „Business as usual“, „Efficiency“, „Connected Mobility“

► Für die Verknüpfung mit den Lebenszyklus-Analysen von TA Swiss (2013) wird die Segmentierung der Autos in vier Grössenklassen angegeben.

Kantone Sämtliche obige Grössen (a) bis (d) sind auch für die 26 Kantone einzeln disaggregiert verfügbar.

Projektteam

Dr. Peter de Haan peter.dehaan@ebp.ch Tel. direkt 044 395 11 14
Roberto Bianchetti roberto.bianchetti@ebp.ch Tel. direkt 044 395 11 25

Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Druck: 31. Oktober 2016

S:\214030\90_ENDPRODUKTE\2016_CH-Emob-Szen_2016\CH-Emob-Szen_2016_öffBericht\2016-10-31_EBP-CH-Szenarien_Elektromobilität_v161031.docx

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste auf zwei Seiten	4
1 Ausgangslage und Zielsetzung	6
2 Die Diffusion des Elektroantriebs in den Neuwagenmarkt	8
2.1 Diffusion von Innovationen nach Rogers	8
2.2 Entwicklung bis 2015 und kurzfristige Aussichten	9
2.3 Diffusion von Innovationen mit linearer Wachstumsphase nach Moore	10
2.4 Drei Phasen der Marktdurchdringung in der Schweiz	11
3 Entwicklung von Automarkt, Batteriekosten und Energiedichte	12
4 Abschätzung von Marktverläufen in der EU	14
5 Definition der drei Szenarien für die Schweiz	17
6 Resultate zu den 2016er Szenarien der Elektromobilität für die Schweiz	20
7 Autokaufverhalten und Elektromobilität	24
8 Unterschiede zwischen den Kantonen	26
9 Chancen und Risiken der Elektromobilität	28

Anhang

A1 Literaturverzeichnis	29
-------------------------------	----

Das Wichtigste auf zwei Seiten

Verkehrliches Update der Szenarien Elektromobilität der 2013er TA-Swiss-Studie

Die TA-Swiss-Studie „Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz“ (EBP und EMPA im Auftrag TA-Swiss, BFE, BAFU, ASTRA, ARE) wurde 2013 veröffentlicht. Sie weist drei Hauptelemente auf: (1) Von 2015 bis 2035 wurde für jedes Jahr eine Mikrosimulation des Neuwagenmarkts Schweiz durchgeführt und berechnet, welche Elektrofahrzeuge wie viele Kilometer zurücklegen und wie viel Strom sie benötigen; (2) Die Umweltauswirkungen der Elektromobilität wurden in einer Lebenszyklusanalyse umfassend berechnet, inklusive Herstellung und Rezyklierung von Fahrzeugen und Batterien sowie der Bereitstellung der Elektrizität; (3) Die Chancen und Risiken der Elektromobilität für die Schweiz wurden, für die verschiedenen Akteure, identifiziert und aufgearbeitet. Datenstand war das Jahr 2011.

Das vorliegende Update 2016 aktualisiert die verkehrliche Seite der TA-Swiss-Studie – die Lebenszyklusanalysen sowie die Analysen der Chancen und Risiken bleiben unverändert gültig. Das Update bezieht sich auf den Datenstand Oktober 2016.

Basis: Europäisches Umfeld und künftig zu erwartende Elektrofahrzeuge

Das Update 2016 verwendet für alle Länder der EU vereinfachte Marktanteil-Szenarien, basierend auf den Marktverlauf 2009–2016, die bisherige und künftige Förderpolitik, und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit.

Der Schweizer Neuwagenmarkt wird in Jahresschritten von 2016 bis 2035 modelliert; dazu wird für jedes Jahr eine synthetische Flotte aller auf dem Markt angebotenen EV- und PHEV-Fahrzeugmodellen entwickelt, mit den jeweiligen Leistungsdaten und Neuverkaufspreisen. Berücksichtigt werden der technische Fortschritt bei den Batterien und die zunehmende Anzahl Hersteller mit elektrischen Fahrzeugmodellen. Die simulierten Neuwagen-Verkaufszahlen gehen in ein kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell ein.

Diffusionstheorie

Die noch uneinheitliche Ladeinfrastruktur wird in den nächsten Jahren ein Hindernis für die Elektromobilität in der Schweiz darstellen. Das Update 2016 verwendet erstmals einen diffusionstheoretischen Ansatz, der drei Phasen mit unterschiedlichen Wachstumsraten unterscheidet:

- Pionierphase bis inkl. 2016 (Marktdaten bis inkl. 2015)
- Phase linearen Wachstums im Gleichschritt mit der Entwicklung der Ladeinfrastruktur
- Massenmarkt-Phase (S-Kurve-Wachstum)

Drei Szenarien für die Schweiz zur Konkretisierung der Energiestrategie 2050

Das Update konkretisiert, wie schon die TA-Swiss Studie 2013, die drei Szenarien der 2012er BFE-Energieperspektiven für die Energiestrategie 2050. Die drei bottom-up gerechneten Szenarien lassen sich wie folgt charakterisieren:

- **BAU** (Business As Usual): Die Elektromobilität wird nicht speziell gefördert, die Lade-Infrastruktur entwickelt sich ohne zentrale Koordination oder Mindestanforderungen.
- **EFF** (Efficiency): Für effiziente Fahrzeuge werden zusätzliche Förder- und Anreizinstrumente eingeführt. Die Entwicklung der Ladeinfrastruktur wird koordiniert und deren Einführung im öffentlichen Strassenraum erleichtert, für die Schnellladeinfrastruktur werden Mindestanforderungen eingeführt. Der technische Fortschritt manifestiert sich voll bei den Neuwagen.
- **COM** (Connected Mobility): Elektroautos und Schnellladeinfrastruktur werden spezifisch gefördert. Weil längere Strecken mehr durch die Kombination von Auto und Bahn zurückgelegt werden, braucht es weniger langstreckenfähige Personenwagen, dafür mehr Kleinwagen.

Das Update 2016 berücksichtigt die 2016er Bevölkerungsszenarien des BFS (mittleres Szenario) sowie die Personenverkehrs-Perspektiven 2040 (ARE 2016).

Neuwagenmarkt, Fahrzeugbestand, Fahrleistung, Strommenge und Ladevorgänge

Die Szenarien für die Schweiz umfassen:

- Marktanteile der Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV) am Neuwagenmarkt, je Grössensegment;
- Anteil der Elektrofahrzeuge am Fahrzeugbestand, auch fahrleistungsgewichtet;
- Verfahrene Strommenge, Anzahl Ladevorgänge, pro Ladestation-Typ bezogene Strommenge;
- Die Verteilung von Neufahrzeugen, Bestand und Fahrleistung nach DC-Ladeleistungsstufen.

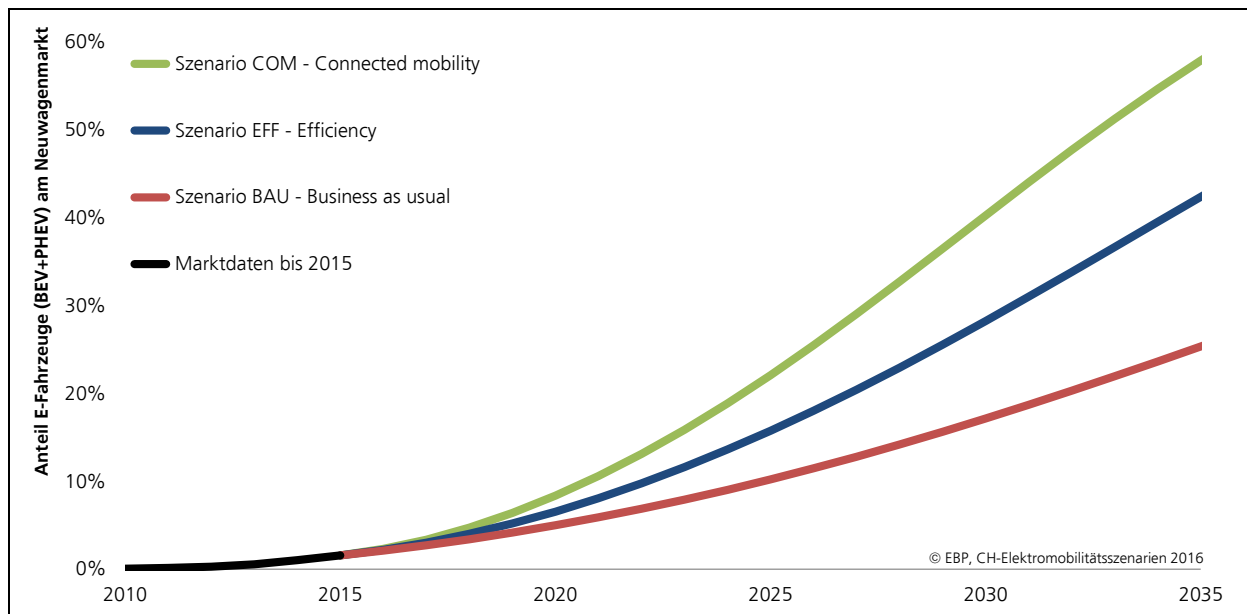


Abbildung 1. Anteil der Elektrofahrzeuge (Summe von BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt in der Schweiz bis 2035.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Ausgangslage. Die TA-Swiss-Studie „Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz“ (EBP und EMPA im Auftrag TA-Swiss, BFE, BAFU, ASTRA, ARE) wurde 2013 veröffentlicht. Sie ist die Basis für die seither in der Schweiz erstellten Konzepte für den Ausbau der Ladeinfrastruktur. Die Studie weist drei Hauptelemente auf:

- (1) Von 2015 bis 2035 wurde für jedes Jahr eine Mikrosimulation des Neuwagenmarkts Schweiz durchgeführt. Die simulierten Neuwagen-Verkaufszahlen gehen in ein kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell ein. So wird berechnet, welche Elektrofahrzeuge pro Bezugsjahr wie viele Kilometer zurücklegen und wie viel Strom sie dabei benötigen;
- (2) Die Umweltauswirkungen der Elektromobilität wurden in einer Lebenszyklusanalyse umfassend berechnet, inklusive Herstellung und Rezyklierung von Fahrzeugen und Batterien sowie der Bereitstellung der Elektrizität. Dabei wurden für alle Fahrzeugkomponenten Annahmen getroffen, wie sich ihre Energieeffizienz in Zukunft weiter entwickeln wird;
- (3) Die Chancen und Risiken der Elektromobilität für die Schweiz wurden, für die verschiedenen Akteure, identifiziert und aufgearbeitet. Themen sind der Einfluss des Strommixes auf die Treibhausgasemissionen der Strassenmobilität sowie mögliche Rebound-Effekte und deren Eindämmung oder Vermeidung. Ein Schwerpunkt bilden die möglichen Kosteneinsparungen bei der Einführung der Elektromobilität, wenn diese rechtzeitig geplant wird und sie in die natürlichen Erneuerungszyklen der Infrastruktur integriert werden kann. Auch die künftige Verfügbarkeit von Lithium wurde analysiert.

Zielsetzung. Datenstand der TA-Swiss-Studie war das Jahr 2011. Namentlich auf der Angebotsseite ist die Entwicklung sehr dynamisch, von allen seriengefertigten Elektroautos der ersten Stunde ist mittlerweile die zweite Generation mit stark verbesserten Batteriepaketen bestellbar, und die Eckpunkte der angekündigten dritten Generation sind bekannt. Das vorliegende Update 2016 aktualisiert die verkehrliche Seite der TA-Swiss-Studie, d.h. obiges Hauptelement (1). Die Lebenszyklusanalysen sowie die Analysen der Chancen und Risiken, die Hauptelemente (2) und (3), bleiben unverändert gültig. Das Update bezieht sich auf den Datenstand Oktober 2016. Es werden die gleichen drei Szenarien verwendet, welche weiterhin bottom-up kompatibel sind mit den entsprechenden Szenarien der Energiestrategie 2050. Angesichts der absehbaren wichtigen Rolle des Ausbaus einer einheitlichen und einfach zu nutzenden Ladeinfrastruktur für die Entwicklung der Elektromobilität, sollten entsprechende diffusionstheoretische Konzepte eingesetzt werden.

Was ist ein Elektrofahrzeug?

- PEV Plug Electric Vehicles (Steckerfahrzeuge), Summe von BEV und PHEV
- EV Electric Vehicles (Elektrofahrzeuge), in der Literatur sehr unterschiedlich verwendeter Begriff, der sowohl für BEV (d.h. ohne PHEV) wie auch für PEV (inkl. PHEV) stehen kann, aber auch für BEV+REEV, manchmal gar fälschlicherweise für PEV+HEV. In der vorliegenden Studie werden BEV + PHEV als Elektrofahrzeuge bezeichnet.
- BEV Battery Electric Vehicles (batterieelektrische Fahrzeuge), Elektrofahrzeuge mit extern aufladbarer Batterie, ohne zusätzlichen Verbrennungsmotor.
- PHEV Obergriff für Autos mit hybridem Antrieb (Verbrennungs- und Elektromotor); dabei gibt es verschiedene Konzepte:
- Extern aufladbare Parallel- und Vollhybrid-Fahrzeuge: Dies sind HEV mit einer grösseren, extern aufladbarer Batterie, sie können auch (typischerweise 20 bis 80 km) rein elektrisch fahren;
 - Serieller Hybrid: Siehe REEV.
- REEV Range Extended Electric Vehicles (Range-Extender) sind serielle Plug-in-Hybride: Nur der Elektromotor treibt die Räder an, ein kleiner, auf die Stromerzeugung optimierter Verbrennungsmotor kann zugeschaltet werden, um einen Generator anzutreiben und den Elektromotor so mit Strom zu versorgen.

Und was ist *kein* Elektrofahrzeug?

- HEV Hybrid Electric Vehicles (Hybridfahrzeuge), Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor. HEV verfügen über eine Batterie, welche aber nur als temporärer Energiespeicher verwendet wird und (aus Kosten- und Gewichtsgründen) möglichst klein gehalten wird; er wird aufgeladen über den Verbrennungsmotor oder durch die Rückgewinnung von Bremsenergie. Da die Batterie sich nicht extern über eine Steckdose aufladen lässt, zählen HEV, im Gegensatz zu PHEV, nicht zu den Elektrofahrzeugen.

2 Die Diffusion des Elektroantriebs in den Neuwagenmarkt

Modelle zur Diffusion von Innovationen in einen Markt versuchen, die zugrunde liegenden Wachstums- und Sättigungsprozesse abzubilden. Eine zentrale Annahme ist meistens, dass es für den Marktanteil eine jeweils spezifische längerfristige Sättigungsgrenze gibt (bevor dann die nächste Innovation kommt).

Die Diffusion von Innovationen in einen Markt wird häufig nach den theoretischen Konzepten von *Rogers* beschrieben. Spezifisch für den Fall von relevanten Wechselwirkungen zwischen einer Innovation und den Markt-Rahmenbedingungen hat *Moore* diese Konzepte erweitert. In diesem Kapitel beschreiben wir die diffusionstheoretische Modellierung des Elektroauto-Markts.

2.1 Diffusion von Innovationen nach Rogers

Den Ausgangspunkt der Diffusionstheorie nach *Rogers* (1995) bildet die Adoptionstheorie. Sie beschreibt, welche Faktoren dazu beitragen, dass ein Individuum eine Innovation annimmt (an den englischen Sprachgebrauch angelehnt, sagt man auch „adoptiert“). *Rogers* führt hierfür *fünf Faktoren* für den Adoptionsentscheid, *fünf Schritte* des Adoptionsprozesses und *fünf Gruppen* von Adaptoren ein.

Fördernd (oder, bei deren Fehlen, hemmend) für die Adoptionsentscheidung nennt *Rogers* (1995) *fünf Faktoren*:

- > *Relative Advantage* (subjektiv wahrgenommene Verbesserung gegenüber dem Status Quo),
- > *Compatibility* (Kompatibilität einer Technologie mit Erfahrungen, Werten und Bedürfnissen),
- > *Complexity* (subjektive Komplexität von neuen Technologien),
- > *Trialability* (Erprobbarkeit, beispielsweise der Zugang zu Testanwendungen), und die
- > *Kommunizierbarkeit* der Innovation.

Sodann werden konzeptionell die *fünf Schritte* unterschieden:

- > *Knowledge* (unterteilt in *awareness-knowledge* [Bewusstsein über die Existenz einer Innovation], *how-to-knowledge*: [Verständnis, wie eine Innovation funktioniert und angewendet wird], und *principles-knowledge* [Verständnis über tieferliegende Prozesse der Innovation]);
- > *Persuasion* (Entwicklung der Einstellung zur Innovation auf Basis von rationalen Argumenten und Gefühlen; wichtig sind die Faktoren relative advantage, compatibility und complexity);
- > *Decision* (Ablehnung oder Annahme der Innovation; dem kann eine Demonstration oder ein Testanwendung der Innovation vorausgehen)

-
- > *Implementation* (oft erfolgt dies unmittelbar nach der Annahme der Innovation; im Bereich des Neuwagenkaufs können jedoch mehrere Jahre vergehen zwischen einem Grundsatzentscheid [„als Nächstes will ich unbedingt ein Elektroauto“] und der tatsächlichen Umsetzung);
 - > *Confirmation* (die Bestätigung ist, im Falle des Neuwagenkaufs, über die tatsächliche Nutzung des gekauften Autos mit der Implementation-Phase eng verknüpft).

Die viel zitierten und oft auch umgangssprachlich verwendeten fünf Adoptionsgruppen definieren sich dann wie folgt:

- > *Innovators* (hoher sozialer Status; überdurchschnittliche Kaufkraft; interagieren mit anderen Innovatoren; hohe soziale Vernetzung; risikoafin und tolerant gegenüber Kinderkrankheiten einer Innovation; haben die finanziellen Mittel, beim vorübergehenden Ausfall einer Innovation einen Ersatz zu besorgen);
- > *Early adopters* (hoher sozialer Status und überdurchschnittliche Kaufkraft; werden von den nachfolgenden Gruppen stark wahrgenommen als Opinion Leaders; überdurchschnittliche Ausbildung);
- > *Early Majority* (sind bereit, eine Innovation zu adoptieren, wenn sie keine Kinderkrankheiten mehr hat; offen für rationale Argumente und Kosten-Nutzen-Überlegungen; haben soziale Kontakte zu Early adopters);
- > *Late Majority* (sind skeptisch gegenüber Neuem und unbekanntem Technologien; unterdurchschnittlicher Sozialstatus und Kaufkraft; verfügen über Kontakte zu early majority);
- > *Laggards* (adoptieren eine Innovation zuletzt; keine Opinion Leaders; risikoavers; traditionsbewusst; überdurchschnittliches Alter; Sozialkontakte vor allem mit Familie und Freunden).

2.2 Entwicklung bis 2015 und kurzfristige Aussichten

Die offiziellen Zulassungszahlen im 2015 (EBP 2016b) wurden in der Schweiz stark beeinflusst durch die Emissionsvorschriften für Autoimporteure: Im 2015 musste erstmals, im Mittel über alle eingelösten Neuwagen, der Zielwert von 130 g CO₂/km eingehalten werden. Bei Nichterreichung mussten die Importeure eine Abgabe von CHF 142.50 pro Fahrzeug und pro Gramm Abweichung¹ bezahlen. Da bei diesem – aus der EU übernommenen – Politikinstrument der Strom mit 0 g CO₂/kWh eingesetzt wird, konnten Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV) einen relevanten Einfluss haben, ob ein Importeur den Zielwert erreicht oder nicht. Es bestand deshalb ein starker Anreiz, Elektroautos statt per Ende 2014 oder Anfang 2016 lieber im Jahre 2015 zu verkaufen bzw. zu kaufen. Für vorliegende Studie wurden die Marktzahlen 2014 bis 2016 aufgrund von Expertenschätzungen angepasst und weichen von den offiziellen ab.

¹ Es kommen weitere Regeln zum Einsatz, auf die hier aus Platzgründen nicht ausführlich eingegangen werden kann. So können die Importeure auch Gemeinschaften bilden, der pro Importeur spezifische Zielwert berücksichtigt auch das durchschnittliche Leergewicht der Fahrzeuge, besonders emissionsarme Fahrzeuge werden mehrfach angerechnet, und für die ersten paar Gramm Zielüberschreitung kommen reduzierte Abgabeansätze zur Anwendung.

Die Marktentwicklung in der Schweiz bis 2015 zeigt die eindeutigen Merkmale der ersten Phase der „Innovators“ (Abbildung 2).

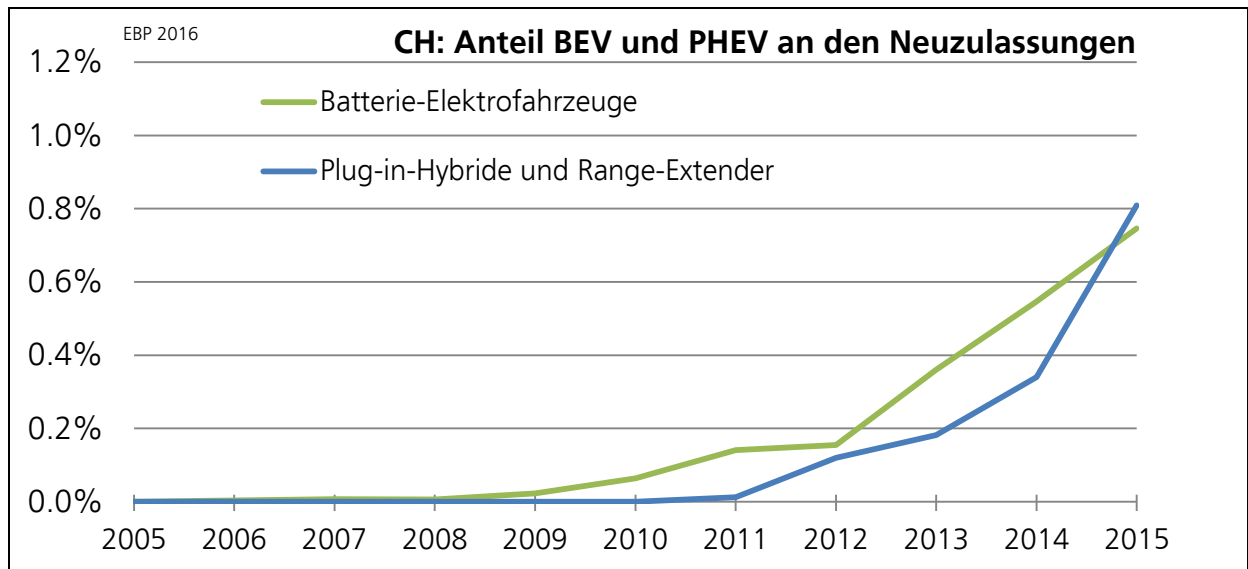


Abbildung 2. Verlauf der BEV- und PHEV-Anteile. Quelle 2005–2012: Auswertungen MOFIS; 2013: EBP (2014a); 2014: EBP (2015a); 2015: Expertenschätzung EBP.

Für die künftige Marktentwicklung in der Schweiz ist zentral, dass beim Übergang von der „innovators“- in die „early adopter“-Phase mehrere für den Neuwagenkäufer relevante Kriterien betrachtet werden müssen. Romm (2006) postuliert, dass die Marktdurchdringung eines energie-effizienten Personenwagen-Alternativantriebs vor allem beeinflusst wird durch die Kriterien (i) Neuwagenpreis; (ii) reduzierte Hersteller- und Modellpalette; (iii) limitierte Reichweite; (iv) fehlende Ladeinfrastruktur, inklusive fehlender Interoperabilität, fehlenden Standards bei Steckern, Ladeleistungen und Ad-hoc-Zugang; (v) wahrgenommene Sicherheit; (vi) kontinuierliche technische Fortschritte bei den konventionellen Verbrennerfahrzeugen.

Für die „innovator“-Phase sind obige Kriterien nicht relevant. Für die „early adopter“-Phase stehen die Kriterien (ii) und (iv) im Vordergrund. Für die anschliessende Massenmarkt-Phase sind dann die Kriterien (i), (iii) und (vi) ausschlaggebend. Das Kriterium (v) sollte über die Zeit automatisch an Relevanz verlieren (technisch gesehen sind Elektrofahrzeuge nicht gefährlicher für die Insassen und die übrigen Verkehrsteilnehmenden als konventionelle Verbrennerfahrzeuge).

2.3 Diffusion von Innovationen mit linearer Wachstumsphase nach Moore

Da absehbar ist, dass in den nächsten Jahren namentlich beim Kriterium (iv) noch keine einheitliche, einfach zu nutzende Ladeinfrastruktur vorhanden sein wird, dessen Nutzung als fläckendeckend und problemlos wahrgenommen werden wird, und da insbesondere bei der Schnelllade-

Infrastruktur mehrere teils proprietäre, teils punktuelle Konzepte konkurrenzieren, sind die Bedingungen für die Annahme eines Diffusionsverlaufs nach Rogers nicht gegeben.

Moore hat für Diffusionsprozesse, bei denen relevante Abhängigkeiten von anderen, parallel verlaufenden Innovationen oder Rahmenbedingungen vorliegen, erstmals 1991 das Konzept von Rogers erweitert. Moore (2014) baut auf Rogers (1995) auf und argumentiert, dass es oft zu einer „Kluft“ vor der Massenmarkt-Phase kommt. Nachstehende Abbildung 3 zeigt die von ihm postulierte, und für die vorliegende Studie in ein mathematisches Modell umgesetzte Phase mit einem eingeschränkten Wachstum. In dieser Phase wächst der Marktanteil der Innovation jährlich weiter; die Zuwachsraten entwickeln sich jedoch nicht gemäss einer logistischen Funktion („S-Kurve-Wachstum“), sondern linear.

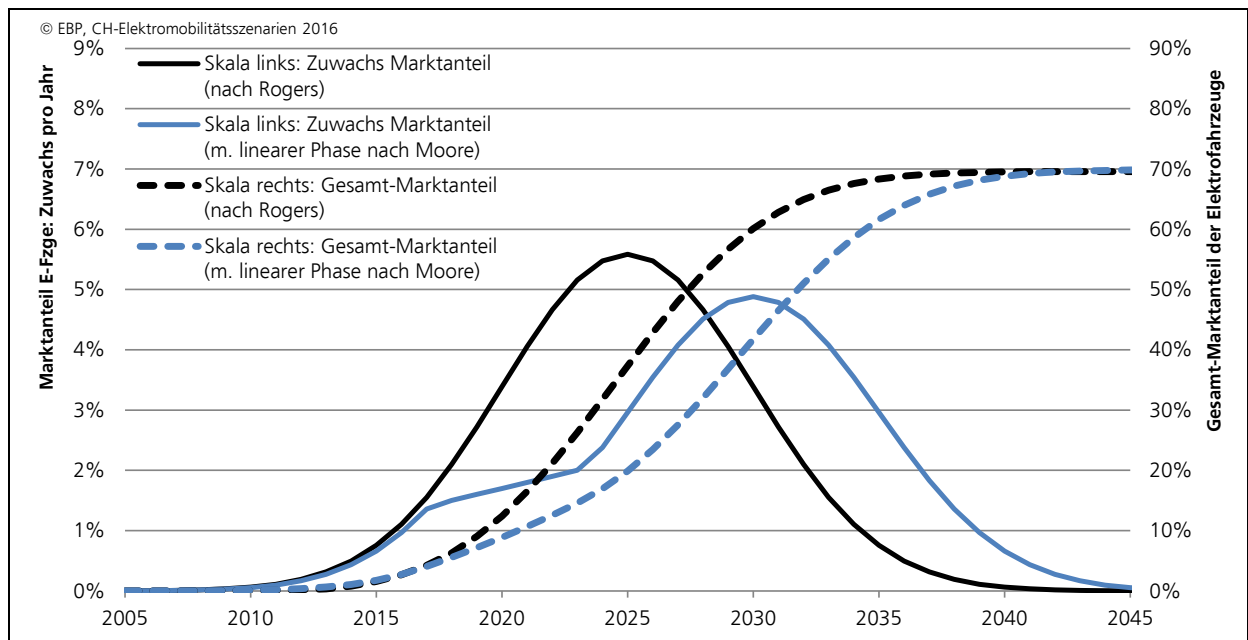


Abbildung 3. Illustratives Beispiel zu den beiden diffusionstheoretischen Konzepten nach Rogers (1995) und nach Moore (2014).

2.4 Drei Phasen der Marktdurchdringung in der Schweiz

Die noch uneinheitliche Ladeinfrastruktur wird in den nächsten Jahren ein Hindernis für die Elektromobilität in der Schweiz darstellen. Das Update 2016 verwendet deshalb den durch Moore (2014) erweiterten diffusionstheoretischen Ansatz. Es werden drei Phasen mit unterschiedlichen Wachstumsraten unterschieden:

- Pionierphase bis inkl. 2016 (Marktdaten bis inkl. 2015) („innovators“);
- Phase linearen Wachstums im Gleichschritt mit der Entwicklung der Ladeinfrastruktur („early adopters“);
- Massenmarkt-Phase (S-Kurve-Wachstum) („early market“, „late market“ sowie „laggards“).

3 Entwicklung von Automarkt, Batteriekosten und Energiedichte

Entwicklung des Autoangebots und des Automarkts. Der Schweizer Neuwagenmarkt wird in Jahresschritten von 2016 bis 2035 modelliert; dazu wird für jedes Jahr eine synthetische Flotte aller auf dem Markt angebotenen Elektrofahrzeugen entwickelt (getrennt für BEV und PHEV), mit den jeweiligen Leistungsdaten und Neuverkaufspreisen. Die Marktdurchdringung wird auch beeinflusst durch die abgeschätzte Entwicklung der Batteriekosten + deren (auf das Gewicht bezogene) Energiedichte, durch Experten-Abschätzungen zur Entwicklung des Fahrzeugangebots 2017–2020, und durch Annahmen zum Energieverbrauch (in kWh je km). Die eingesetzte Mikrosimulation „sim.car“ wurde erstmals an der ETH Zürich eingesetzt und seither weiter entwickelt (de Haan et al. 2007). Die Mikrosimulation verwendet Treue-Raten (Markentreue, Modellsegmenttreue, Treibstofftyptreue und Antriebstyptreue), welche in der BAM-Befragung (EBP 2016a) erhoben werden. Es spielt deshalb eine wichtige Rolle, wie viele Hersteller, und in welchen Modellsegmenten, Elektroautos (BEV und PHEV) im Angebot stehen. Die simulierten Neuwagen-Verkaufszahlen gehen in ein kohortenbasiertes Flotten- und Fahrleistungsmodell ein.

Entwicklung der Energiedichte. Strom lässt sich nicht einfach speichern. Die Batterie ist die teuerste Komponente eines Elektroautos und stellt zurzeit der wichtigste limitierende Faktor für den Erfolg dar. In BEV und den meisten PHEV kommt der gleiche Batterie-Typ zum Einsatz wie in Laptops und Smartphones: Lithium-Ionen-Batterien. Dank Forschung und Entwicklung werden die Energiedichten der Batterien auf dem Markt stetig ansteigen, jedoch zeichnet sich keinen sprunghaften technologischen Durchbruch ab. Nachstehende Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte. Relevant ist auch die volumenbezogenen Energiedichte. Von nahezu allen seriengefertigten Elektroautos der ersten Generation sind im 2016 oder per Anfang 2017 neue Batteriepakete auf den Markt gekommen. Sie erhöhen die Reichweite signifikant, konnten aber im gleichen Einbauvolumen realisiert werden wie das ursprüngliche Batteriepaket. Das Gewicht der neuen Batteriepakete ist aber etwas höher.

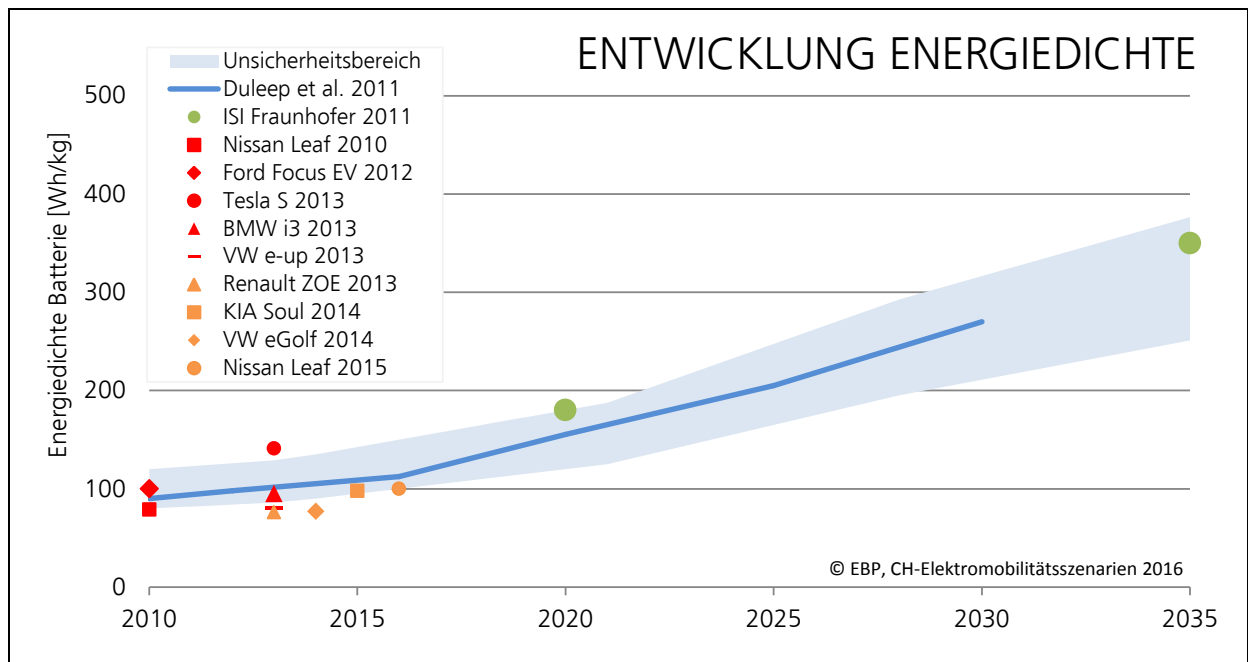


Abbildung 4. Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte der Batterien bis 2035.

Entwicklung der Batteriekosten. Weil immer mehr Elektroautos hergestellt werden, werden die Kosten pro Speicherkapazität dank Skaleneffekten (beispielsweise mit der „Gigafactory“ von Tesla sowie analogen Initiativen der deutschen Automobilindustrie) weiter sinken (Abbildung 5). Es wird aber dabei bleiben, dass die Energiedichte von Batteriespeichersystemen um Grössenordnungen schlechter ist als von einem Benzintank.

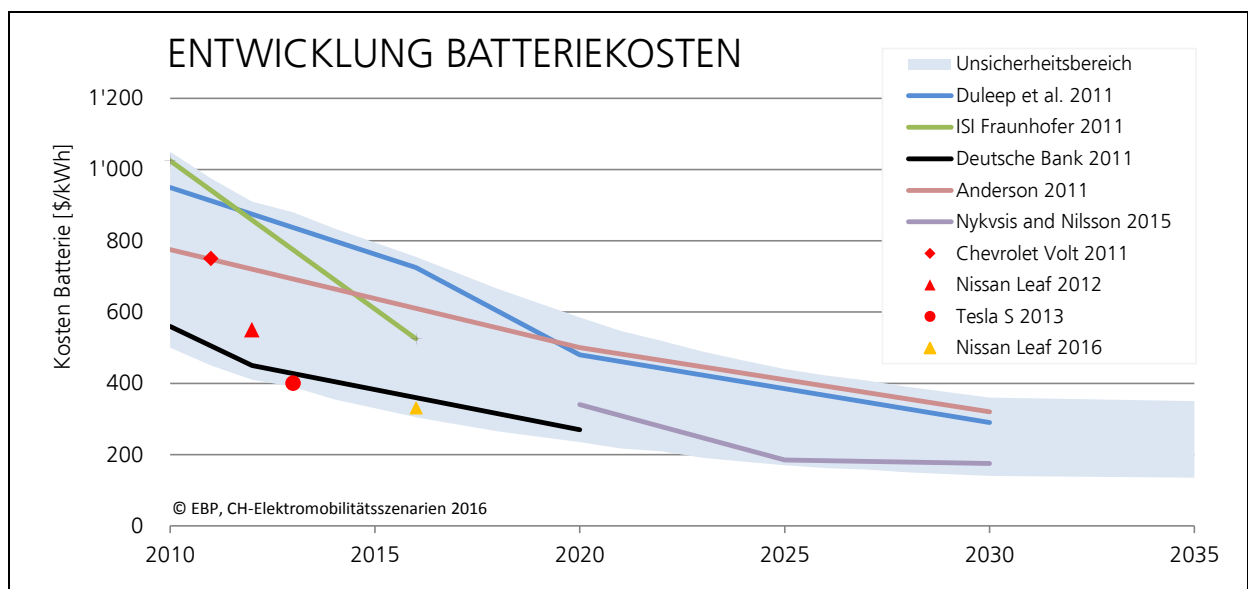


Abbildung 5. Entwicklung der spezifischen Batteriekosten bis 2035.

4 Abschätzung von Marktverläufen in der EU

Für die künftige Entwicklung der Elektromobilität in der Schweiz ist der Verlauf von Angebot und Nachfrage in Europa von ausschlaggebender Bedeutung. Zur Erreichung von energie- und klimapolitischen Zielen im Bereich des Strassenverkehrs kommen auf Ebene der einzelnen EU-Mitgliedstaaten zahlreiche Förderinstrumente und Politikmassnahmen zum Einsatz (Abbildung 6). Die Ausgestaltung und Wirksamkeit dieser Instrumente ist jedoch sehr unterschiedlich. Auch die Neuwagenmärkte unterscheiden sich untereinander stark. Abschätzungen des Marktverlaufs in Europa müssen deshalb auf Ebene der einzelnen Staaten erfolgen. Aufgrund der teilweise stark unterschiedlichen Anreize sind BEV und PHEV getrennt zu analysieren.

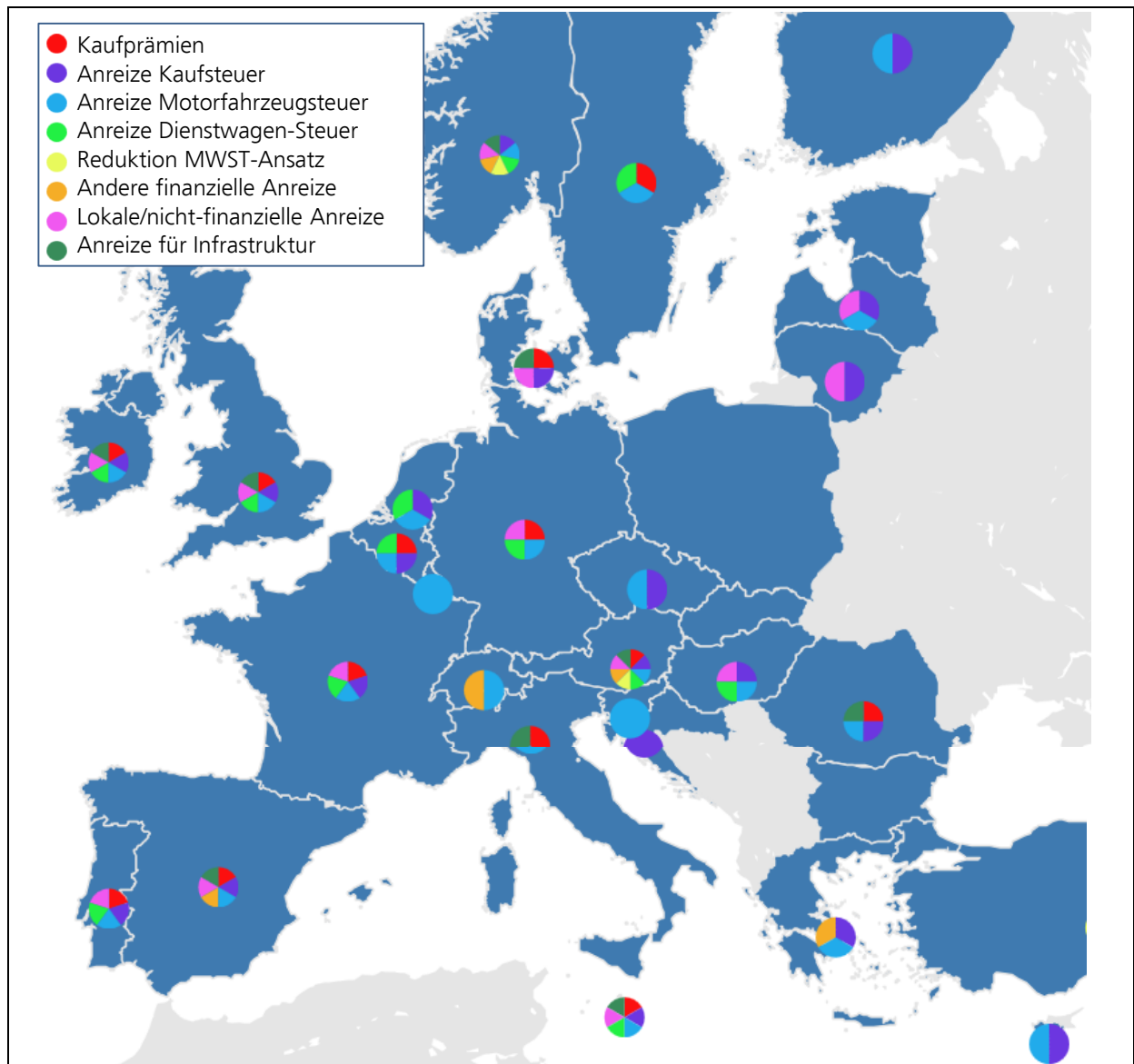


Abbildung 6. Anreize für PEV in Europa, Stand Oktober 2016. Quelle: eafo.eu.

Stellvertretend für europäische Länder mit einer starken finanziellen Förderung (wie Norwegen, Niederlande, Österreich, Dänemark) zeigt die absehbare Entwicklung in Frankreich (Abbildung 7, obere Hälfte) den Einfluss von starken finanziellen Anreizen: BEV und PHEV unterhalb < 20 g CO₂/km erhalten eine Kaufprämie von 27% des Neuwagenpreis, maximal EUR 6'300 (< 60 g: 20%, maximal EUR 4'000, < 110 g: 5%, maximal EUR 2'000). Auch entfällt bei auch privat eingesetzten elektrischen Dienstwagen die entsprechende Besteuerung.

Stellvertretend für europäische Länder mit einer moderaten finanziellen Förderung zeigt sich die mögliche Marktentwicklung in Deutschland (Abbildung 7, untere Hälfte). Die seit Mitte 2016 gültige Kaufprämie für BEV von EUR 4'000 (für PHEV: 3'000), falls der Kaufpreis unterhalb 60'000 EUR liegt, wird hälftig von den Autoherstellern und der Bundesregierung finanziert (Maximalvolumen 1.2 Mrd. EUR). Zusätzlich werden 300 Mio. EUR in die Schnelllade-Infrastruktur investiert.

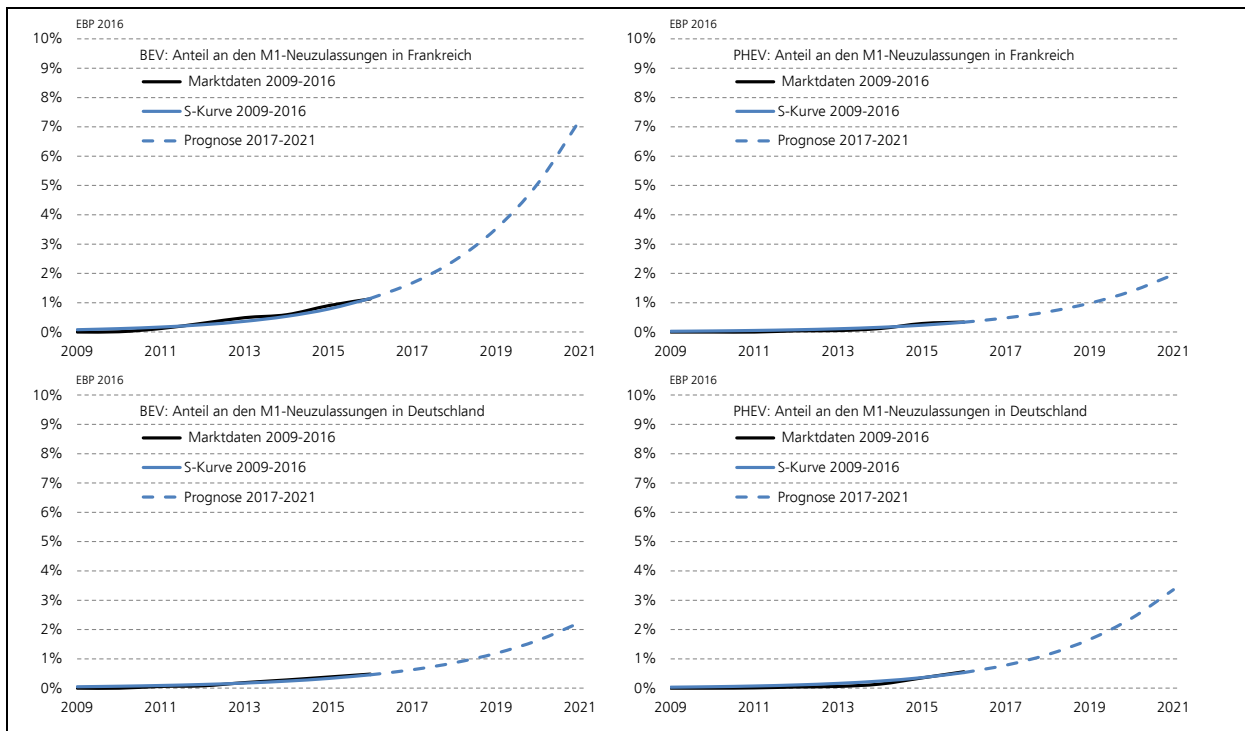


Abbildung 7. Mögliche Entwicklung der BEV- und PHEV-Anteile am Neuwagenmarkt bis 2021 in Frankreich und Deutschland. Quelle Marktdaten bis Okt. 2016: eafo.eu

In südeuropäischen Ländern kompensieren sich aktuell mehrere Faktoren: Die ökonomische Krise führt dazu, dass Neuwagenkäufer vor den höheren Anschaffungskosten von Elektroautos zurückschrecken. Andererseits sind in diesen Ländern Kleinwagen traditionell beliebt, was der Elektrifizierung entgegen kommt. Am Beispiel von Spanien (Abbildung 8, obere Hälfte), welches zurzeit Förderinstrumente in geringer finanzieller Höhe kennt, zeigt sich, dass die Marktentwicklung sich um mehrere Jahre verzögert; die Elektromobilität wird sich im Kleinwagensegment dann aber auch ohne Förderung durchsetzen. In einigen südeuropäischen Ländern wie z.B. Portugal und Griechenland spielt sich nahezu die gesamte Strassenmobilität in einem geographisch

eng definierten Gebiet ab. In solchen Gebieten ist die Installation einer Schnellladeinfrastruktur einfacher.

In mehreren osteuropäischen Ländern wird der Marktdurchbruch der Elektromobilität mehrere Jahre Verzögerung im Vergleich zu west- und nordeuropäischen Ländern aufweisen. Stellvertretend zeigt dies die absehbare Entwicklung in Polen (Abbildung 8, untere Hälfte). Polen hat bis anhin keine Förderinstrumente und auch fast gar keine Ladeinfrastruktur, so dass der Markt für Elektrofahrzeuge sich auf einem niedrigen Niveau bewegt. Im August 2016 wurde neu ein Ziel von 1 Million Elektrofahrzeuge innert 10 Jahre genannt, Details zu den angekündigten Steuerabattens und staatlichen Zuschüssen liegen jedoch noch nicht vor.

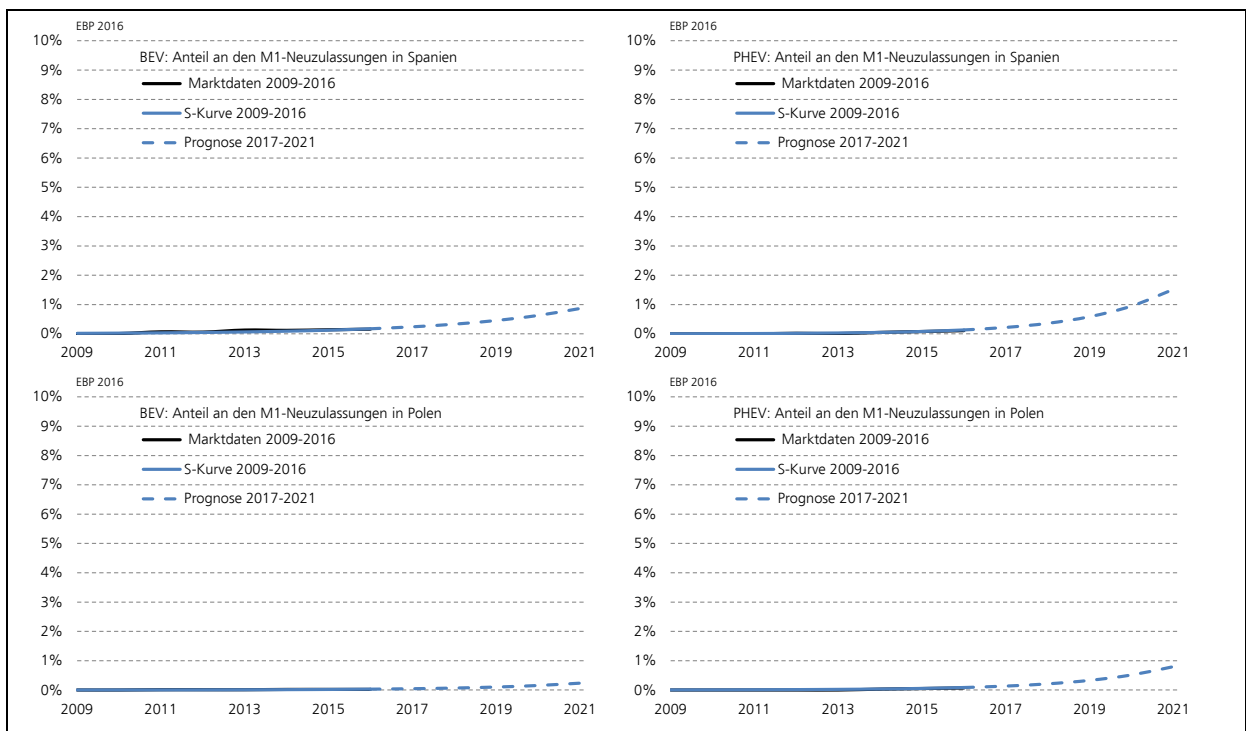


Abbildung 8. Mögliche Entwicklung der BEV- und PHEV-Anteile am Neuwagenmarkt bis 2021 in Spanien und Polen. Quelle Marktdaten bis Okt. 2016: eafo.eu

5 Definition der drei Szenarien für die Schweiz

Drei Szenarien für die Schweiz zur Konkretisierung der Energiestrategie 2050

Als Grundlage für die Schweizer Energiestrategie 2050 wurde eine umfassende Modellierung aller Komponenten des Schweizer Energiesystems durchgeführt; dazu wurden Szenarien der 2007er BFE-Energieperspektiven verwendet und aktualisiert (BFE 2012). Das vorliegende Update konkretisiert, wie schon die TA-Swiss Studie 2013, die drei Szenarien dieser 2012er BFE-Energieperspektiven für die Energiestrategie 2050. Die drei bottom-up gerechneten Szenarien lassen sich wie folgt charakterisieren:

- **BAU** (Business As Usual): Die Elektromobilität wird nicht speziell gefördert, die Lade-Infrastruktur entwickelt sich ohne zentrale Koordination oder Mindestanforderungen. Die Energiepreise bleiben niedrig, das Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung ändert sich im Grundsatz nicht.
- **EFF** (Efficiency): Für effiziente Fahrzeuge werden (gegenüber den Stand Oktober 2016) zusätzliche Förder- und Anreizinstrumente eingeführt, damit die Ziele 2030/2035 der Energiestrategie im Bereich der Strassenmobilität erreicht werden können. Technologieneutrale Förderinstrumente (für sehr effiziente Verbrennerfahrzeuge, für Plug-in-Hybride sowie für reine Elektrofahrzeuge) werden bevorzugt. Die Entwicklung der Ladeinfrastruktur wird koordiniert und deren Einführung im öffentlichen Strassenraum erleichtert, für die Schnellladeinfrastruktur werden Mindestanforderungen eingeführt. Die Energiepreise werden dem technischen Fortschritt angepasst und der technische Fortschritt bei den Neuwagen manifestiert sich voll bei den Neuwagenverkäufen. Das Mobilitätsverhalten bleibt im Grundsatz gleich.
- **COM** (Connected Mobility): Aus energiesystemischen Überlegungen werden Elektroautos spezifisch gefördert; auch die Schnellladeinfrastruktur wird gefördert; höhere Energie- und Mobilitätspreise führen zu Änderungen im Mobilitätsverhalten: Weil längere Strecken mehr durch die Kombination von Auto und Bahn zurückgelegt werden, braucht es weniger langstreckenfähige Personenwagen. Umwillen der Vergleichbarkeit wird in diesem Szenario dennoch mit der gleichen Anzahl Fahrzeugkilometer gerechnet, jedoch wird neu ein Teil dieser Fahrleistung durch Kleinwagen (Fahrzeugklassen L5e, L6e, L7e statt M1) erbracht.

Keine Extremszenarien

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

Das Szenario BAU ist ein Trendszenario, die Szenarien EFF und COM sind Zielszenarien, deren Eintreten davon abhängt, dass bestimmte (oben beschriebene) Voraussetzungen erfüllt sind.

Hohe Relevanz des 95 g CO₂/km-Emissionsziels

Nach dem 2015er Emissionsziel von 130 g CO₂/km für neue Personenwagen (siehe Kapitel 2.2) wird in der EU ab dem Jahr 2020 ein Ziel von 95 CO₂/km gelten². Dabei soll wiederum der Strom von BEV und PHEV mit CO₂/kWh eingesetzt werden. Die Elektromobilität wird deshalb bei der Erreichung dieses Emissionsziels in der EU eine deutlich grössere Rolle spielen als noch 2015. Entsprechend werden Automobilhersteller einen Anreiz zur Markteinführung neuer, auch grösserer BEV und PHEV haben. Die Entwicklung des Fahrzeugangebots in der EU gibt auch das Fahrzeugangebot in der Schweiz vor.

Die Schweiz wird von der EU auch dieses neue 95-CO₂/km-Emissionsziel übernehmen, wobei die Details der Umsetzung noch nicht bekannt sind. Da die höhere Kaufkraft in der Schweiz dazu führt, dass die Schweizer Neuwagen höhere CO₂/km-Werte haben als der Durchschnitt über alle EU-Mitgliedstaaten, wird die Elektromobilität in der Schweiz eine nochmals höhere Bedeutung haben als in der EU. Insbesondere kann dies dazu führen, dass elektrifizierte und teil-elektrifizierte Modellvarianten preislich attraktiver angeboten werden müssen als im Ausland, um die Emissionsziele auch in der Schweiz zu erreichen. Im welchen Jahr der Schweizer Neuwagenmarkt das 95 CO₂/km-Ziel erreichen wird, hängt wesentlich von neuen Förder- und Anreizinstrumenten ab, wie sie in den Szenarien EFF und COM unterstellt werden.

Insgesamt hat das 95-CO₂/km-Emissionsziel einen starken Einfluss auf die Elektromobilität-Szenarien, betreffend des angenommenen Angebots, der Preisgestaltung sowie insbesondere auch der Marktdurchdringung im Bereich der Mittel- und Oberklasse. Auch der Anteil der PHEV wird dadurch stark beeinflusst.

Entwicklung von Bevölkerung, Motorfahrzeugbestand und Verkehrsleistung

Das Update 2016 berücksichtigt die 2016er Bevölkerungsszenarien des BFS (mittleres Szenario) (BFS 2016a) sowie die Personenverkehrs-Perspektiven 2040 (ARE 2016). Auch wird die neue ständige Wohnbevölkerung (BFS 2016c), der Motorfahrzeugbestand (2016b) und die kantonale Verteilung der Erstinverkehrsetzungen (BFS 2016d) berücksichtigt. Bei den Daten zum Mobilitätsverhalten wird weiterhin der Mikrozensus Verkehr und Mobilität aus 2010 verwendet.

² Analog zum 2015er Zielwert sind wiederum zahlreiche weitere Regeln zu beachten. So gilt der Zielwert zunächst nur für eine bestimmte Teilmenge („phasing in“), werden sehr effiziente Autos mehrfach angerechnet („super credits“), wird das Leergewicht einbezogen („specific targets“), kann energiesparende Technik, deren Effekte sich im Typprüfverfahren nicht zeigt, angerechnet werden („eco-innovations“) und können die Hersteller wieder Gemeinschaften bilden („pools“). Noch nicht gänzlich geklärt ist auch die Umsetzung der Änderung des Typprüfverfahrens inklusive Übergang von NEDC - zu WLTP-Fahrzyklus.



Abbildung 9. Perspektiven des Personenverkehrs in der Schweiz 2040. Quelle: ARE.

BEV vs. PHEV inkl. Range-Extender

PHEV erlauben die Lösung des Reichweitenproblems, weshalb sie in den nächsten Jahren sehr populär sein werden und ca. 50% des Neuwagenmarkts ausmachen dürften. Längerfristig ist davon auszugehen, dass die Fortschritte bei den Batterien und der Ausbau der Schnellladeinfrastruktur zu einem Rückgang der PHEV führen werden. Für die Szenarien wurden dazu je spezifische Verläufe angenommen. Es werden zwei Phasen unterschieden (Phase 1: unzureichende Reichweiten für Alleinautos und Einfluss der Emissionsvorschriften > PHEV nahe bei 50% und relevanter Anteil der Plug-in-Hybriden; Phase 2: Rückgang und Übergang zu seriellen Hybriden / Range-Extendern).

6 Resultate zu den 2016er Szenarien der Elektromobilität für die Schweiz

Die Abbildung 10 zeigt den Elektrofahrzeug-Marktanteil am Neuwagenmarkt bis 2035, in den drei Szenarien; die Abbildung 11 illustriert die verzögerte Auswirkung bei der Fahrleistung.

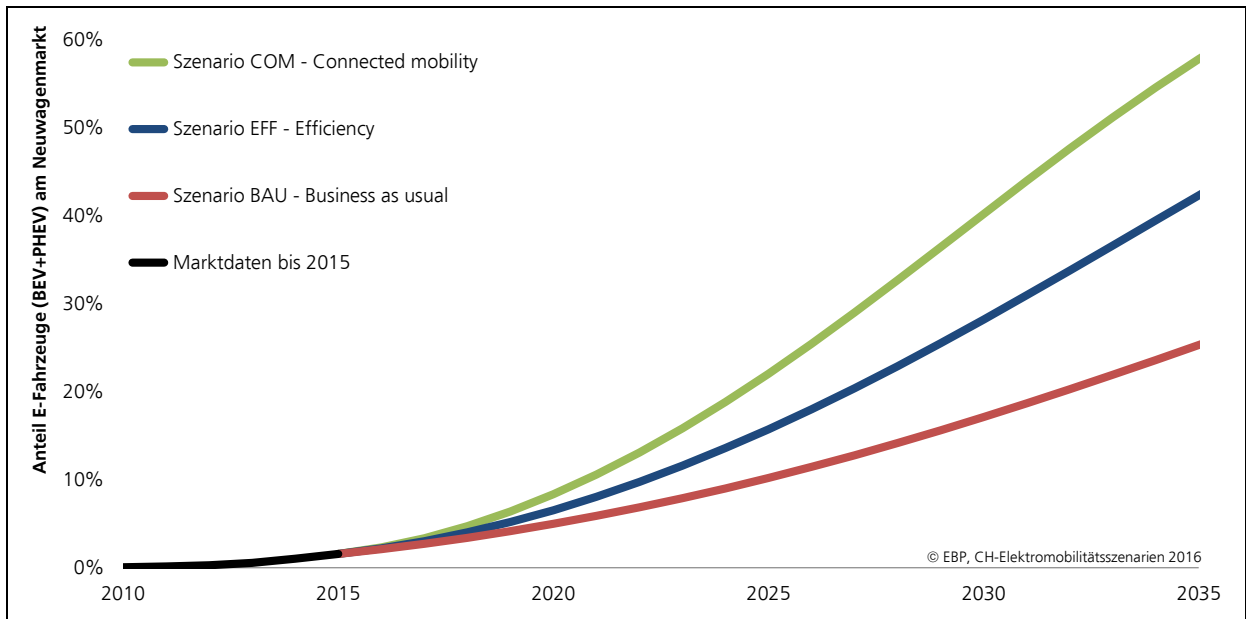


Abbildung 10. Anteil der Elektrofahrzeuge (Summe von BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt in der Schweiz bis 2035

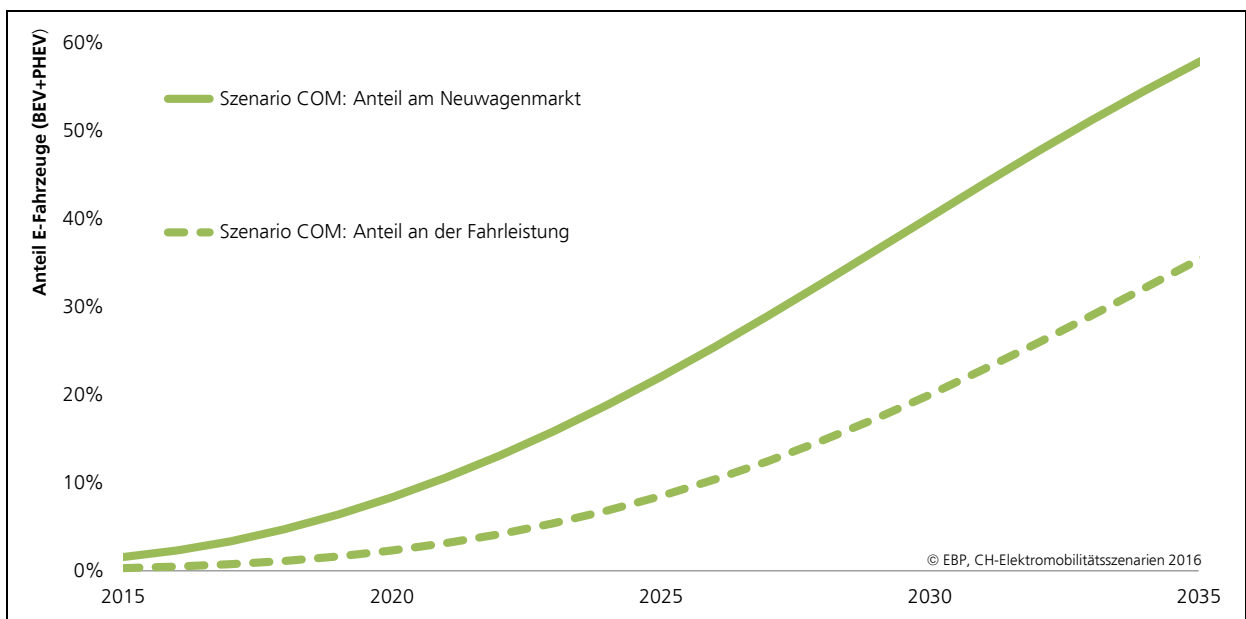


Abbildung 11. Anteil der Elektrofahrzeuge (Summe von BEV und PHEV) an der Fahrleistung in der Schweiz, für das COM-Szenario.

Maximal mögliche DC-Ladeleistung

Zur Lösung der Reichweitenproblematik können einerseits immer grössere Batteriepakete eingesetzt werden. Teilweise alternativ ist es aber auch möglich, durch höhere maximal mögliche DC-Schnellladeleistungen das bedarfsgerechte Nachladen während längerer Fahrten zu ermöglichen. Batteriepakete können dann auf jene Grösse massgeschneidert werden, welche für die Erfüllung von z.B. 99% aller Fahrten eines Jahre ausreicht. Es ist davon auszugehen, dass ab der dritten Generation von seriengefertigten Elektrofahrzeugen, welche ab ca. 2019 erhältlich sein wird, hohe DC-Ladeleistungen von mehr als 100 kW sich zu einem Standard entwickeln werden, mindestens bei EV der Mittel- und Oberklasse, später auch für PHEV und für die Kompaktklasse. Für kleinere PHEV und EV wird es jedoch auch längerfristig Fahrzeuge mit weniger als 100 kW DC-Ladeleistung geben.

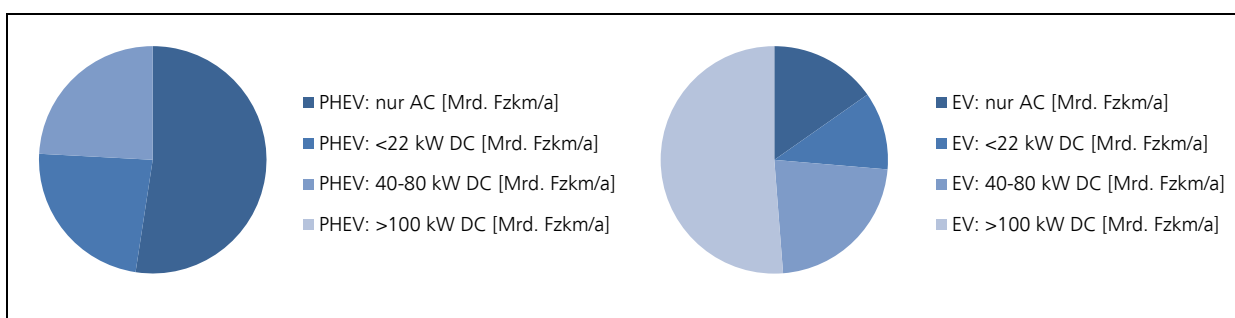


Abbildung 12. Aufteilung der EV- und PHEV-Fahrleistung nach maximal möglicher DC-Ladeleistung (hier: für das Jahr 2025 im EFF-Szenario).

Fahrtlänge zwischen Ladevorgängen, Strombedarf je Ladevorgang

Neben der absoluten Menge des benötigten Stroms stellt sich auch die Frage nach deren Verteilung – werden die Batterien jeweils fast leer gefahren, oder wird das Elektroauto nach jeder noch so kurzen Fahrt zuhause wieder eingesteckt? Basierend auf die Fahrtlängen- und Fahrtzweckverteilung des MZVM wurden hierzu Annahmen getroffen, welche die Schätzung der Mittelwerte der pro Ladevorgang geladenen Strommenge erlauben (Abbildung 13).

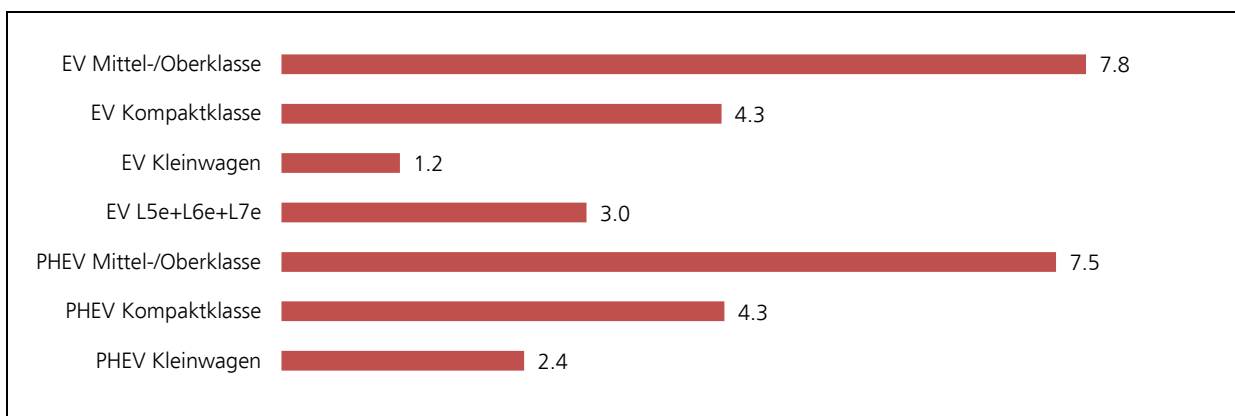


Abbildung 13. Durchschnittliche geladene Strommenge (in kWh) je Ladevorgang, für EV und PHEV je Grössensegment (hier: für das Jahr 2025 im BAU-Szenario).

Kompatibilität mit den Eckwerten der Energiestrategie 2050 für die Periode 2020–2035

Für die Gegenüberstellung des in den drei Szenarien bottom-up berechneten resultierenden Stromverbrauchs mit den Eckwerten von BFE (2012) (Tabelle 2, obere Hälfte) müssen letztere zuerst auf die neue verkehrliche Basis von ARE (2016) umgerechnet werden; dabei wird umwilen der Vergleichbarkeit, analog zum COM-Szenario, auch für das NEP-Szenario die gleiche Verkehrsleistung unterlegt wie in den anderen beiden Szenarien (Tabelle 2, untere Hälfte).

Szenario Energiestrategie 2050	Elektrizitätsnachfrage für Personen-Strassenverkehr, in PJ							Quelle
	2010	2015	2020*	2025	2030	2035	2040**	
WWB - Weiter wie bisher	0	--	(0.5)	--	2.7	4.6	(6.5)	BFE 2012, Tabelle 7-43, Seite 312
POM - Politische Massnahmen	0	--	(1.1)	--	5.8	9.4	(12.7)	BFE 2012, Tabelle 9-31, Seite 549
NEP - Neue Energiepolitik	0	--	(1.2)	--	7.1	12.2	(16.5)	BFE 2012, Tabelle 8-36, Seite 426
<i>Nach Umrechnung der Fahrleistungen (von ARE 2012 auf ARE 2016)</i>								
WWB - Weiter wie bisher	0	--	(0.5)	--	2.38	4.14	(5.9)	
POM - Politische Massnahmen	0	--	(1.0)	--	5.10	8.46	(11.5)	
NEP - Neue Energiepolitik	0	--	(1.1)	--	6.76	11.79	(16.0)	

* Werte unrealistisch (Faktor 2.4 zwischen WWB und NEP in 2020 passt nicht zu Faktor 2.63 im 2035)
 ** Werte unrealistisch (bedingt vorübergehender Rückgang der EV/PHEV-Marktanteile am Neuwagenmarkt; Rückgang Faktor WWB zu NEP auf 2.54)

Tabelle 1. Werte zum Strombedarf (ohne Verluste im Ladegerät) für die Elektromobilität in der Schweiz nach den drei Szenarien der Energiestrategie 2050 (BFE 2012).
 Oben: Gemäss BFE 2012, mit Verkehrsleistungen nach ARE (2012).
 Unten: Mit Verkehrsleistungen nach ARE (2016).

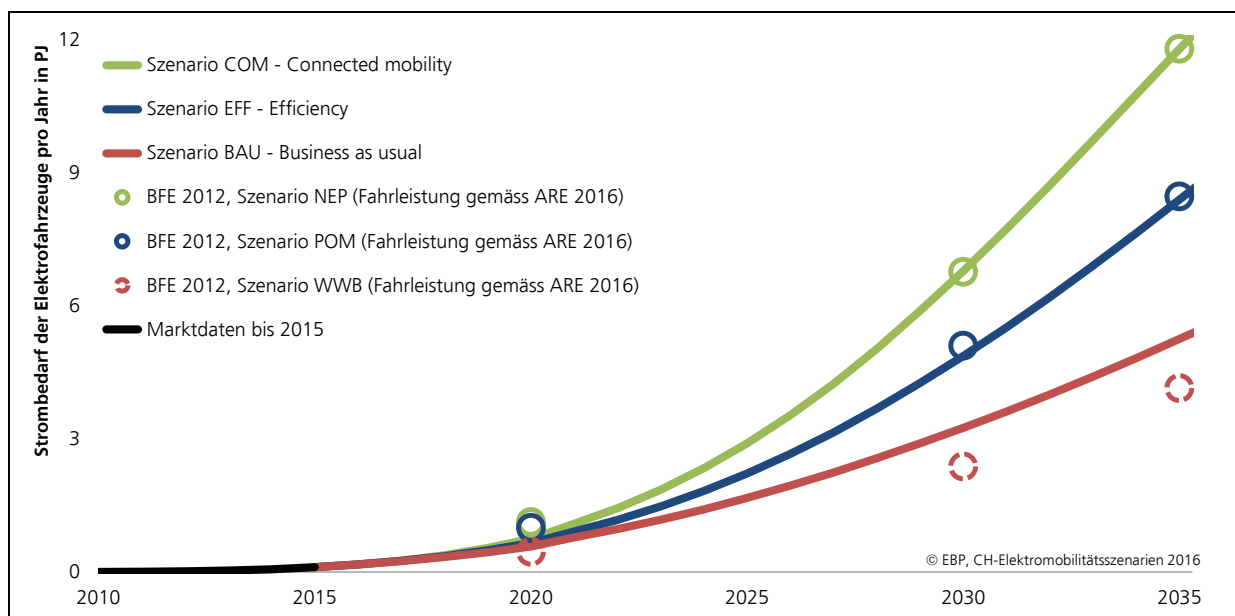


Abbildung 14. Gegenüberstellung des Stromverbrauchs für die Elektromobilität gemäss Bottom-up-Szenarien mit den Eckwerten aus BFE 2012 (3.6 PJ = 1 TWh). Das BAU-Szenario geht von anderen Annahmen aus als das WWB-Szenario und ist nicht direkt vergleichbar.

Szenarien CH-Elektromobilität 2016	Elektrizitätsnachfrage für Personen-Strassenverkehr, in PJ							Bemerkung
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	
BAU - Business as usual	0.00	0.11	0.58	1.67	3.25	5.25	7.49	Ohne Verluste im Ladegerät
EFF - Efficiency	0.00	0.11	0.65	2.22	4.87	8.40	12.19	Ohne Verluste im Ladegerät
COM - Connected mobility	0.00	0.11	0.75	2.90	6.78	11.79	16.51	Ohne Verluste im Ladegerät
BAU - Business as usual	0.00	0.12	0.60	1.73	3.35	5.41	7.72	Inkl. Verluste im Ladegerät
EFF - Efficiency	0.00	0.12	0.68	2.31	5.02	8.65	12.56	Inkl. Verluste im Ladegerät
COM - Connected mobility	0.00	0.12	0.78	3.01	6.99	12.15	17.02	Inkl. Verluste im Ladegerät

Tabelle 2. Werte zum Strombedarf für die Elektromobilität in der Schweiz nach den drei Szenarien für die Elektromobilität in der Schweiz 2016.

Oben: Ohne Verluste im Ladegerät, zwecks Vergleich mit BFE (2012).

Unten: Inklusive Verluste im Ladegerät.

Verwendet werden die weiterhin aktuellen, bottom-up modellierten Verbrauchswerte aus TA Swiss (2013), sie sind untenstehend wiedergegeben (Tabelle 3). Es handelt sich um Realverbrauchswerte; sie wurden nicht aus einem spezifischen Fahrzyklus abgeleitet.

				fullsize	compact	micro	3W	fullsize	compact	micro	3W
				2012	2012	2012	2012	2020	2020	2020	2020
EV	electricity	traction	kWh/100km	31.0	19.9	16.1	6.0	24.6	15.7	12.8	4.8
		traction @ plug	kWh/100km	33.7	21.6	17.5	6.5	25.7	16.3	13.3	5.0
		auxiliaries	kWh/100km	2.73	2.73	2.25	1.45	1.53	1.53	1.29	0.85
		auxiliaries @ plug	kWh/100km	2.97	2.97	2.45	1.58	1.59	1.59	1.34	0.89
		total @ plug	kWh/100km	36.67	24.57	19.95	8.08	27.29	17.89	14.64	5.89
PHEV	electricity	traction	kWh/100km	21.7	13.9	11.2		19.6	12.5	10.2	
		traction @ plug	kWh/100km	23.6	15.1	12.2		20.4	13.0	10.6	
		auxiliaries	kWh/100km	2.73	2.73	2.25		1.53	1.53	1.29	
		auxiliaries @ plug	kWh/100km	2.97	2.97	2.45		1.59	1.59	1.34	
		total @ plug	kWh/100km	26.57	18.07	14.65		21.99	14.59	11.94	
	gasoline	total gasoline	l/100km	2.4	1.5	1.3		1.3	0.8	0.7	
ICE	gasoline	traction	l/100km	11.0	6.7	5.4		8.6	5.2	4.2	
		auxiliaries	l/100km	0.21	0.2	0.2		0.19	0.19	0.19	
		total gasoline*	l/100km	11.21	6.9	5.6		8.79	5.39	4.39	
				fullsize	compact	micro	3W	fullsize	compact	micro	3W
				2035	2035	2035	2035	2050	2050	2050	2050
EV	electricity	traction	kWh/100km	20.0	13.0	10.7	4.1	16.7	10.8	9.0	4.1
		traction @ plug	kWh/100km	20.6	13.4	11.0	4.2	17.1	11.0	9.2	4.2
		auxiliaries	kWh/100km	1.33	1.33	1.13	0.75	1.33	1.33	1.13	0.75
		auxiliaries @ plug	kWh/100km	1.37	1.37	1.16	0.77	1.36	1.36	1.15	0.77
		total @ plug	kWh/100km	21.97	14.77	12.16	4.97	18.46	12.36	10.35	4.97
PHEV	electricity	traction	kWh/100km	16.8	10.9	9.0		14.8	9.5	8.0	
		traction @ plug	kWh/100km	17.3	11.2	9.3		15.1	9.7	8.1	
		auxiliaries	kWh/100km	1.33	1.33	1.13		1.33	1.33	1.13	
		auxiliaries @ plug	kWh/100km	1.37	1.37	1.16		1.36	1.36	1.15	
		total @ plug	kWh/100km	18.67	12.57	10.46		16.46	11.06	9.25	
	gasoline	total gasoline	l/100km	0.8	0.5	0.4		0.4	0.3	0.2	
ICE	gasoline	traction	l/100km	6.3	3.9	3.2		4.8	3.0	2.5	
		auxiliaries	l/100km	0.17	0.17	0.17		0.16	0.15	0.15	
		total gasoline*	l/100km	6.47	4.07	3.37		4.96	3.15	2.65	

*diesel and CNG converted to gasoline equivalents

Tabelle 3. Energiebedarf je Antriebsart, Energieträger, Grössenkategorie und Bezugsjahr.

Quelle: TA Swiss (2013).

7 Autokaufverhalten und Elektromobilität

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 2016a; 2015a; 2014).

Die Präferenz für Alternativantriebe hat in den letzten Jahren klar zugenommen: Bereits haben 6% der befragten Zielpersonen vor, beim nächsten Kauf ein Plug-in-Hybrid oder Range-Extender zu erwerben, und weitere 8% wollen ein rein batterieelektrisches Fahrzeug kaufen. Dies entspricht nahezu einer Verdopplung gegenüber dem Vorjahr.

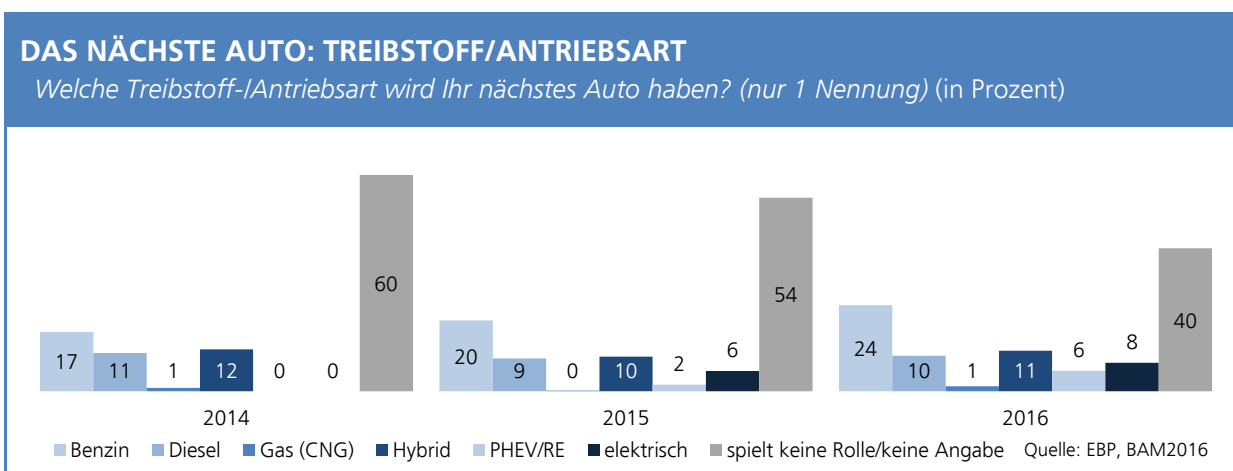


Abbildung 15. Beabsichtigte Antriebs-/Treibstoffart des nächsten Autos. Abbildung aus EBP (2016a).

Zunehmend kommen Elektro-Kleinwagen auf den Markt mit 1 bis 2 Sitzplätzen, halb so gross wie ein Auto. Bekanntester Vertreter ist aktuell der Renault Twizy. Solche Fahrzeuge gelten als Kleinwagen der Kategorien L5e, L6e oder L7e, nicht als Personenwagen. Ein zunehmender Teil der befragten Zielpersonen kann sich vorstellen, einen solchen Kleinwagen zu erwerben (entweder als Ersatz für ein Auto oder ein E-Bike, oder als zusätzliches Fahrzeug).

MOBILITÄT VON MORGEN: ELEKTRISCHE KLEINWAGEN

Zunehmend kommen Elektro-Kleinwagen mit 1 bis 2 Sitzplätzen auf den Markt. Wofür kommen diese für Sie in Frage? (Mehrfachnennungen möglich)

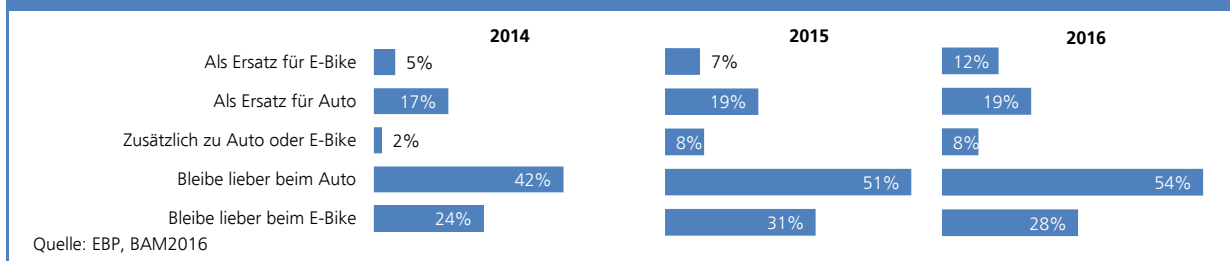


Abbildung 16. Möglicher Einsatz von elektrischen Kleinwagen. Abbildung aus EBP (2016a).

Die Befragten wurden auch gebeten sich vorzustellen, den Kauf eines Elektroautos zu planen. Welche Angebote und Leistungen wünschen sie sich dann von ihrem Stromversorger? Die meisten Wünsche der Befragten betreffen die Bereitstellung öffentlicher Lade-Infrastruktur. Nach 35% im 2015 gaben im 2016 nur noch 28% der befragten Zielpersonen an, kein Elektroauto kaufen zu wollen.

MOBILITÄT VON MORGEN: KAUF EINES ELEKTROAUTOS

Nehmen wir an, Sie planen den Kauf eines Elektroautos. Welche Angebote und Dienstleistungen wünschen Sie sich von Ihrem Stromversorger? (Mehrfachnennungen möglich)

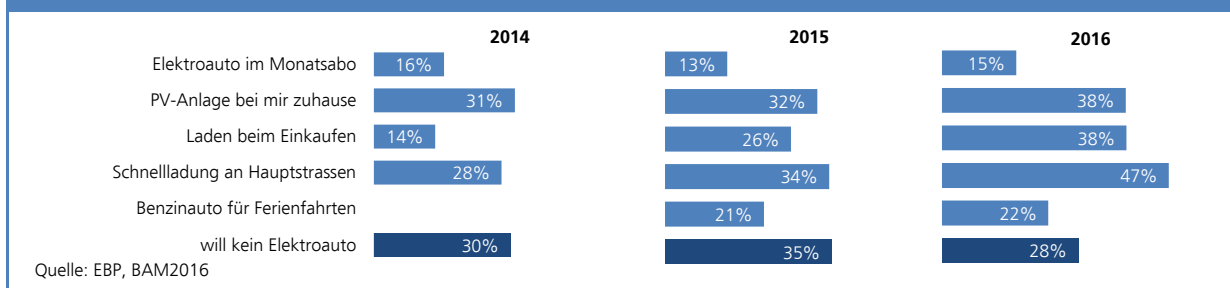


Abbildung 17. Elektromobilität-Dienstleistungen, welche potenzielle Elektroauto-Käufer von ihrem Stromversorger wünschen. Abbildung entnommen aus EBP (2016a).

8 Unterschiede zwischen den Kantonen

Die Verbreitung der Elektromobilität in der Schweiz wird, je nach Kanton, unterschiedliche Verläufe aufweisen. Aufgrund diverser Faktoren unterscheidet sich die „Affinität“ zur Elektromobilität von Kanton zu Kanton. Die Marktpenetration ist deshalb den kantonalen Voraussetzungen und der „Affinität“ jeweils anzupassen.

Der Einfluss soziodemographischer Grössen wird mittels einer Analyse der Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (ARE und BFS 2012)³ bestimmt. Es werden jene Kriterien identifiziert, welche die Affinität für Elektromobilität beeinflussen können (Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt, Anteil Autofahrten länger als 50 km, Ausbildung, Motorisierungsgrad, Carsharing, Verteilung nach Haushaltstyp). Es wird angenommen, dass sich diese Faktoren mit der Zeit nicht verändern und dass die Unterschiede für alle drei Szenarien innerhalb eines Kantons gelten. In einem zweiten Schritt wird für jedes Kriterium die relative, prozentuale Abweichung der Kantone vom schweizerischen Durchschnitt berechnet und ein kantonales Ranking erstellt.

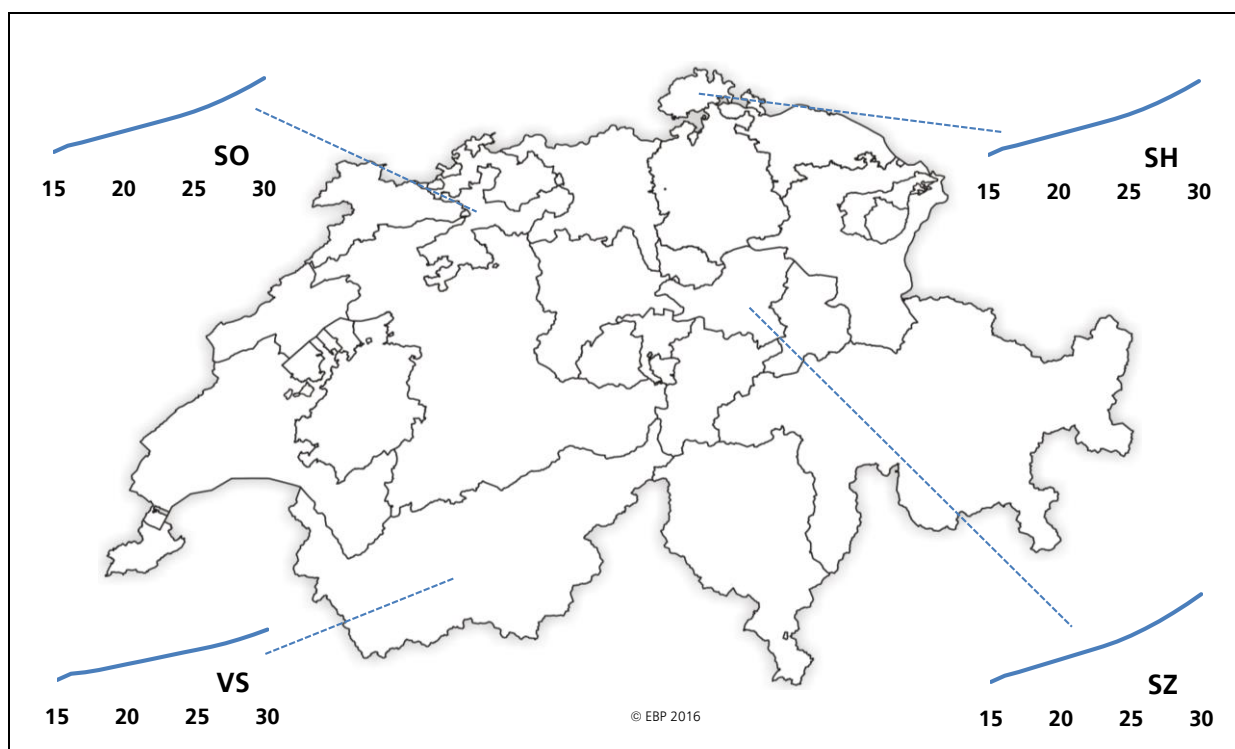


Abbildung 18. Illustrative Darstellung des Anteils der Elektrofahrzeuge an den Neuzulassungen in ausgewählten Kantonen, hier für das EFF-Szenario.

³ Im Rahmen des Mikrozensus (MZ) Mobilität und Verkehr werden alle fünf Jahre Tausende Personen telefonisch zu ihrem Verkehrsverhalten befragt. Im Jahr 2010 haben 63'000 Einzelpersonen in der ganzen Schweiz an der Befragung teilgenommen.

Zusätzlich werden weitere Kriterien untersucht, die einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben (Policy, Bereitschaft für Innovation, Existierende Ladeinfrastruktur / Pilotprojekte, Anzahl Pendler, Einfluss Qualität ÖV-Netz, Topographie, Klima). Die Zuteilung des Kantons in den unterschiedlichen Kategorien wird jeweils qualitativ geschätzt.

Die folgenden Faktoren beeinflussen die kantonalen Marktpenetrationen betreffend der Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion (es handelt sich um eine Verschiebung der Kurve der Marktnachdringung hin zu früheren oder späteren Jahren): Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt; Anteil Autofahrten länger als 50 km; Ausbildung; Motorisierungsgrad; Carsharing; Policy; Bereitschaft für Innovation; Existierende Ladeinfrastruktur / Pilotprojekte. Weiter haben die folgenden Faktoren einen Einfluss auf den längerfristigen Elektrofahrzeuge-Marktanteil: Verteilung der Haushalte nach Haushaltstyp; die Qualität des ÖV-Netzes; die Topographie; das Klima.

Anhand der kantonalen Inputdaten werden die drei nationalen Szenarien direkt auf den jeweiligen Kanton angepasst. Die angepassten Marktpenetrationen ermöglichen die Berechnung des kantonalen Neuwagenmarkts und des daraus resultierenden Fahrzeugbestands, welche die Grundlagen für die Ermittlung des kantonalen Ladestations-Bedarfs darstellen.

Für die Modellierung der (statischen) Fahrzeugflotte wird ein Flottenmodell verwendet: Jährlich kommen die Neuzulassungen hin-zu, während ein Teil der älteren Flotte ausscheidet. Dies wird über sogenannte Überlebensraten je Kohorte simuliert: In Abhängigkeit von der Fahrzeuggrößenklasse sowie dem Alter wird jedes Jahr ein Teil jeder Kohorte ausser Dienst gesetzt. Jährlich werden etwa 7.5 % des Gesamtbestandes ersetzt. Damit dauert es länger als zehn Jahre, bis der Bestand umgewälzt wird; erst nach mindestens fünf Jahren zeigen sich technologische Trendbrüche auch im Gesamtbestand deutlich.

Ausgehend von der statischen Fahrzeugflotte wird sodann die so genannte dynamische kantonale Flotte berechnet. Dazu wird den Fahrzeugkohorten eine jährliche Fahrleistung zugeordnet – in Abhängigkeit vom Alter. Je älter ein Auto ist, desto mehr nimmt seine jährliche Fahrleistung ab. Diese Schritte ermöglichen die folgenden Prognosen, jeweils für den betreffenden Kanton: Strombedarf, Anzahl Ladevorgänge, räumlicher Bedarf an Ladestationen je nach Typ (*home charging, workplace charging, leisure charging, fast charging*).

9 Chancen und Risiken der Elektromobilität

Elektromobilität weist zahlreiche Chancen wie auch bedeutende Risiken auf. Es ist wichtig, durch rechtzeitiges Handeln und frühzeitige gesamtheitliche Koordination die Chancen zu wahren und die Risiken zu vermeiden. Nur so wird Elektromobilität ihren Beitrag zu einer verträglichen Zukunftsmobilität leisten können. Die ausführliche Darstellung dieser Chancen und Risiken findet sich in der TA-Swiss-Studie (de Haan, Zah et al. 2013). Stellvertretend erwähnen wir hier die drei relevantesten Aspekte:

Bedeutung des Strommixes. In der TA-Swiss-Studie wurde eine vollständige Lebenszyklusanalyse durchgeführt, inklusive Herstellung und Entsorgung/Rezyklierung sowie Bereitstellung des Stroms. Wichtigstes Ergebnis ist, dass Elektromobilität deutlich bessere Treibhausgasemissionen aufweist, wenn Ökostrom eingesetzt wird. Auch wenn der heutige EU-Strommix eingesetzt wird, „lohnt“ sich die Elektromobilität aus Sicht der Treibhausgasemissionen. Damit die Elektromobilität aber die ihr zugedachte Rolle in der Energiestrategie 2050 erfüllen kann, ist der Einsatz von Ökostrom zwingend erforderlich und sollte auch bei allfälligen Förderinstrumenten vorausgesetzt werden.

Zunahme des Strassenverkehrs infolge Rebound-Effekte. Werden Fahrzeuge effizienter, besteht die Gefahr, dass sie auch mehr gefahren werden. Dies darf jedoch kein Argument sein, um effiziente Fahrzeuge nicht möglichst rasch in den Markt zu bringen. Vielmehr müssen die potenziellen direkten und indirekten Rebound-Effekte durch geschicktes Massnahmenedesign eingedämmt bzw. vermieden werden. Nur so kann die Elektromobilität die ihr zugedachte Rolle in der Energiestrategie 2050 erfüllen. Die wichtigsten Grundlagen zu Rebound-Effekten und deren Eindämmung finden sich in de Haan et al. (2009) und de Haan, Peters et al. (2015). Wichtig ist vor allem, Privilegien und Anreize nur temporär auszugestalten; z.B. allenfalls bestehende Parkplätze am Bahnhof zeitlich befristet exklusiv den Elektrofahrzeugen zur Verfügung zu stellen, aber keine zusätzliche Parkmöglichkeit zu schaffen.

Vermeidung von Kosten durch frühzeitiges und stufengerechtes Handeln. In zehn bis fünfzehn Jahren wollen 1 Million Elektrofahrzeuge gerne geladen werden, zuhause und am Arbeitsplatz. Die betreffenden Parkplätze sind heute nicht mit einer hinreichenden Leistung elektrifiziert und die bezogene Strommenge kann nicht anwohner- oder arbeitnehmerscharf abgelesen werden. Wenn die Marktpenetration der Elektromobilität rechtzeitig geplant wird, kann sie die natürlichen Erneuerungszyklen der Infrastruktur ausnutzen. Auch findet sich die heutige Ladeinfrastruktur schon in 5 bis 7 Jahren in einem gewandelten Umfeld.

A1 Literaturverzeichnis

ARE und BFS (2012). Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. 120 Seiten. ISBN 978-3-303-11254-0

ARE (2016). Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040. Hauptbericht. INFRAS, EBP und PTV in Auftrag Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). Bern, 30. August 2016, 169 Seiten. Download von ARE-Website: [PDF](#) (2.4 MB)

BFE (2012). Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050. Prognos im Auftrag Bundesamt für Energie. Basel, 12.09.2012, 904 Seiten. Download von BFE-Website: [PDF](#) (13.8 MB)

BFS (2016a). Bevölkerungsszenarien SCENARIO, Referenzszenario A (mittleres Szenario)

BFS (2016b). Strassenfahrzeugbestand je Fahrzeuggruppe und Kanton 1970–2015. Tabelle 11.3.2.1.1

BFS (2016c). Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton 1990–2015. Neuchâtel.

BFS (2016d). Strassenfahrzeuge in der Schweiz, Inverkehrsetzung neuer Strassenfahrzeuge 1990–2015. Neuchâtel.

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, IED-NSSI für Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie, Bern. 154 Seiten. Download von BFE: [PDF](#) (1.2 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, 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, 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)
- EBP, 2014. 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, 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, 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).
- IEA 2016. Global EV Outlook 2016. International Energy Agency, Paris 2016, 51 Seiten.

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

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)