

Verständnis Ladeinfrastruktur 2050

Wie lädt die Schweiz in Zukunft? – Modelle & Annahmen

Mai 2023



Auftraggeberin
Bundesamt für Energie, Sektion Mobilität, Delphine Morlier

Projektleiter
Bundesamt für Energie, Sektion Mobilität, Alois Freidhof

Autoren
Silvan Rosser, EBP
Lukas Lanz, EBP
Peter de Haan, EBP

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Bitte verwenden Sie folgende Zitierung:

Bundesamt für Energie (2023): Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 – Wie lädt die Schweiz in Zukunft?

Modellaufbau in 7 Schritten

Wie findet man heraus, wie sich die Ladeinfrastruktur bis 2050 entwickelt?

Annahmen aus Fachpersonen-Workshops und EBP-Rechenmodelle dienen als Grundlage

Szenarien für Antriebsarten bei Neuwagen entwickeln^{5,9}

Annahmen

- 250 000 bis 300 000 Neuzulassungen von Personenwagen/Jahr
- Es werden 16 Typen von Steckerfahrzeugen modelliert

Fahrleistung und Energiebedarf ermitteln

Annahmen

- Im Durchschnitt hat ein Personenwagen eine Fahrzeugleistung von 12 500 km/Jahr
- Ein Steckerfahrzeug verbraucht 2035 durchschnittlich 18 kWh/100 km

Ladeverhalten je Ladetyp bestimmen⁵

Annahmen

- Es werden 52 Ladetypen definiert

Quellen:

- ¹ ARE, 2022: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050
- ² ARE, 2017: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015
- ³ BFS, 2021: Szenarien für die Schweiz und der Kantone 2020 bis 2050
- ⁴ ASTRA, 2022: Fahrzeugdaten
- ⁵ Experteneinschätzungen «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050»
- ⁶ TCS, 2022: TCS-Barometer E-Mobilität
- ⁷ ARE 2020, Nationalen Personenverkehrsmodells NPVM 2017
- ⁸ BFE, 2022: Ladestationen für Elektroautos
- ⁹ EBP, 2022: Electric and Hydrogen Mobility Scenarios 2022

1

Entwicklung Bevölkerung und Verkehr



Szenarien für alle Schweizer Gemeinden erstellen^{1,2,3}

Annahmen

- Die Gesamtfahrleistung der Personenwagen bleibt in etwa konstant

2

Entwicklung Neuwagenmarkt



3

Entwicklung Fahrzeugbestand



Fahrzeugbestand modellieren

Annahmen⁴

- Es gibt 4 Grössenklassen je Antriebstechnologie
- Ein Personenwagen hat eine mittlere Lebensdauer von 16 Jahren

4

Entwicklung Endenergiebedarf



5

Zuteilung Haushalte und Nutzung



Zusammenhang Demografie und E-Fahrzeug-Nutzung erörtern

Annahmen

- Haushaltstyp und Einkommen haben Einfluss auf den Erwerb eines Steckerfahrzeugs⁵
- Es gibt 5 Nutzungstypen

6

Entwicklung Ladeverhalten



7

Entwicklung Ladeinfrastruktur



Verkehrsflüsse von rund 8000 Verkehrszonen simulieren, Zubau-logik von EBP anwenden⁷

Annahmen

- Das heutige Ladenetz wird berücksichtigt⁸
- Es werden Schwellenwerte für die Auslastung der Ladepunkte verwendet (Utilisation rates)⁵

Modelle und Annahmen

1 Entwicklung Bevölkerung und Verkehr

Die vorliegende Studie betrachtet die Elektromobilität als Bestandteil einer ressourceneffizienten Mobilität, in dem sie als Grundlage für die verkehrliche Entwicklung in der Schweiz das Szenario «Basis» der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2050¹ verwendet. Auf dieser Grundlage wurden Szenarien zur Bevölkerung, Arbeitsplätze und Verkehr für alle Gemeinden der Schweiz für die Jahre 2022 bis 2050 gebildet. Auf Ebene Gemeinde wurden eigene Bevölkerungsszenarien unter Einhaltung der kantonalen Bevölkerungsentwicklung² verwendet. Bezüglich der verkehrlichen Entwicklung wurde das Szenario «Basis» der Verkehrsperspektiven 2050 verwendet. Die Verkehrsleistung wächst in diesem Szenario unterproportional zur Bevölkerung aufgrund der im Szenario hinterlegten Annahmen. Vor allem eine weitergehende Urbanisierung, die demographische Alterung (weniger sehr mobile Erwerbstätige), Homeoffice und kürzere Freizeitwege (die vermehrt zu Fuss und mit dem Velo zurückgelegt werden) dämpfen die Entwicklung der Verkehrsleistungen pro Kopf.

Das Szenario «Basis» zeigt eine Entwicklung hin zu einer ressourceneffizienten Mobilität von Personen und Gütern, indem es sich an den Zielen des Bundes von «Mobilität und Raum 2050: Sachplan Verkehr, Teil Programm³» orientiert.

Das Szenario umfasst ein Set an verkehrspolitischen Massnahmen, die Nachhaltigkeit und ressourceneffiziente Mobilität begünstigen. Eine gesellschaftliche Bereitschaft zur Akzeptanz dieser Massnahmen ist die Voraussetzung für das Szenario «Basis».

Die zunehmende Verbreitung von E-Bikes in Verbindung mit dem Ausbau der Velo-Infrastruktur sorgt für eine höhere Velo-Nutzung. Im Vergleich zum öffentlichen Verkehr verteuert sich die Nutzung eines eigenen Autos. Die Arbeit im Homeoffice gehört zur Normalität, wodurch die Anzahl der Wege für Arbeits- und Geschäftsreisen stark sinkt. Gleichzeitig nehmen die Freizeitverkehre deutlich zu.

Zur Abbildung des unterschiedlichen Mobilitätsverhalten bezüglich Fahrzeugbesitz, Modalsplit und Jahresfahrleistung je Gemeinde wurde der Mikrozensus Mobilität und Verkehr⁴ herangezogen.

2 Entwicklung Neuwagenmarkt

Der Neuwagenmarkt wird anhand von vier Fahrzeuggrössenklassen (Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittel- und Oberklasse) und vier Antriebstechnologien (Benzin/ Diesel, batterie-elektrisch, Plug-in-Hybride, Wasserstoff-Brennstoffzelle) modelliert.

Die Steckerfahrzeuge (batterie-elektrische und Plug-in-Hybride) werden anhand von 16 verschiedenen Fahrzeugtypen modelliert. Sie unterscheiden sich bezüglich Grösse, maximale Aufnahmeleistung, Strombedarf und Batteriekapazität. Die Szenarien zum Mix der Antriebstechnologien im Neuwagenmarkt basieren auf den EBP Electric and Hydrogen Mobility Scenarios⁵ und den Einschätzungen der Fachexpertinnen und Experten⁶.

1 ARE, 2022: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050. [Link](#).

2 BFS, 2021: Szenarien für die Schweiz und der Kantone 2020-2050. [Link](#).

3 ARE, 2021: Mobilität und Raum 2050: Sachplan Verkehr, Teil Programm. [Link](#).

4 ARE, 2017: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. [Link](#).

5 EBP, 2022: Electric and Hydrogen Mobility Scenarios 2022. Szenario ZERO-E. [Link](#).

6 Experteneinschätzungen «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050», siehe Kapitel 8.

Dabei wurden folgende Prämissen festgelegt:

- Die Marktanteile von Plug-in-Hybriden gehen bereits zwischen 2025 und 2030 zurück.
- Nach 2035 werden keine Plug-in-Hybride mehr neu zugelassen.
- AC 11 kW und DC-Fähigkeit bei allen batterie-elektrischen Fahrzeuge
- Der batterie-elektrische Antrieb dominiert klar.
- DC 150 kW wird zum Standard; in der Mittel- und Oberklasse zunehmend auch DC 350 kW
- Effizienzsteigerung bei batterie-elektrischen Personenwagen bis 2035 von 7 bis 11 Prozent ggü. 2022: *durchschnittlicher Verbrauch batterie-elektrisch Personenwagen im Jahr 2035: 18 kWh/100 km.*
- Standard-Reichweite im Jahr 2035 bei batterie-elektrischen Personenwagen bei 360 bis 530 km

Die durchschnittliche Reichweite neuzugelassener batterie-elektrischer Personenwagen erhöht sich gegenüber 2022 um 70 bis 120 Prozent auf 360 bis 530 Kilometer (je nach Grössenklasse) im Jahr 2035. Hauptgrund dafür sind höhere Batteriekapazitäten, aber auch effizientere Fahrzeuge. Zwischen 2035 und 2050 erwarten die Fachexpertinnen und Experten nur noch geringe Kapazitätssteigerungen bei den Batterien. Die Fachexpertinnen und Experten erwarten keine Steckerfahrzeuge im Massenmarkt mit 800 bis 1'000 Kilometer Reichweite. Rund zwei Drittel, der im Jahr 2035 neuzugelassenen batterie-elektrischen Fahrzeuge, sind fähig DC-Ladungen von mehr als 150 kW aufzunehmen.

Das Volumen des Neuwagenmarktes wurde anhand der Altersverteilung des aktuellen Fahrzeugbestandes⁷ auf ca. 6 Prozent geschätzt. Schweizweit werden damit zwischen 250'000 und 300'000 Personenwagen pro Jahr neu zugelassen. In den Jahren 2020 bis 2022 lagen die Neuzulassungen aufgrund der Coronakrise und der nachfolgenden Lieferkettenprobleme allerdings unter diesem Wert (220'000 bis 230'000).

3 Entwicklung Fahrzeugbestand

Die zukünftigen Fahrzeugbestände werden ausgehend von den tatsächlichen Beständen⁸ und den erwarteten Neuzulassungen auf Ebene der Gemeinden bis 2050 detailliert modelliert, segmentiert in vier Fahrzeuggrössenklassen (Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittel- und Oberklasse) und vier Antriebstechnologien (Benzin/ Diesel, batterie-elektrisch, Plug-in-Hybride, Wasserstoff-Brennstoffzelle).

Dabei wird die gemeindespezifische Fahrleistung (siehe Modellschritt 1) sowie die spezifische Fahrzeugzusammenstellung je Gemeinde berücksichtigt. Die Jahresfahrleistung der Fahrzeuge liegt im Durchschnitt bei 12'500 km, ist aber je Antriebstechnologie, Fahrzeuggrössenklasse und Alter unterschiedlich, siehe auch jüngste Auswertung im Mikrozensus Mobilität und Verkehr⁹.

Die mittlere Lebensdauer der Personenwagen liegt bei ca. 16 Jahren. Die Überlebenswahrscheinlichkeit ist aber nicht linear mit dem Fahrzeugalter. Die Umwälzung des Fahrzeugbestandes wird je Gemeinde und Fahrzeugschicht detailliert modelliert. EBP hat ein eigenes Modell für die Neuwagenanteile und die Entwicklung des Fahrzeugbestands angewendet. Dadurch kommt es zu Abweichungen gegenüber bisherigen Annahmen¹⁰.

7 ASTRA, 2022: Fahrzeugdaten. [Link](#).

8 ASTRA, 2022: Fahrzeugdaten. [Link](#).

9 BFS, ARE, 2023: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2021. [Link](#).

10 BFE, 2022: Energieperspektiven 2050+. [Link](#) & ARE, 2022: Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050. [Link](#).

4 Entwicklung Endenergiebedarf

Der Energiebedarf wird anhand der jahresspezifischen Zusammensetzung des Fahrzeugbestandes (siehe Modellschritt 3) und spezifischen Energieverbräuchen in Abhängigkeit der Erstverkehrssetzung modelliert. Die spezifischen Stromverbräuche der batterie-elektrischen Personenwagen sinken bis 2035 um 7 bis 11 Prozent gegenüber heute.

5 Zuteilung Haushalte und Nutzung

Soziodemografische Faktoren wie Haushaltstyp (Mieter, Stockwerkeigentümer, Hauseigentümer) und das Einkommen haben einen grossen Einfluss auf den Erwerb und Besitz eines Steckerfahrzeugs^{11 12}. Haushalte mit hohem Einkommen und Hauseigentümer besitzen deutlich häufiger Steckerfahrzeuge. Der Einfluss dieser soziodemografischen Faktoren bleibt über das Jahr 2035 hinaus relevant. Im Hinblick auf das Jahr 2050 verlieren sie bei einer weitgehenden Elektrifizierung an Bedeutung.

Der Haushaltstyp ist insbesondere relevant, da zwischen Mieter, Stockwerkeigentümer, Hauseigentümer unterschiedliche Hürden zur Realisierung eines privaten Heimpladepunktes zu Hause bestehen.

Zur Berücksichtigung dieser soziodemografischen Faktoren und zur robusten Schätzung des Anteils der Steckerfahrzeuge, die zukünftig zu Hause laden können, werden alle Steckerfahrzeuge in der Modellierung bis 2050 entsprechend auf Haushalte und Firmen verteilt. Dazu wird die synthetische Bevölkerung von EBP¹³ verwendet, welche alle 3.6 Millionen Haushalte und Firmen der Schweiz synthetisch mit einem spezifischen Einkommen, Haushaltstyp, Gebäudetyp, Mobilitätsverhalten, etc. abbildet. Die Entwicklung des Gebäudeparks und der Haushalte wird entsprechend bis ins Jahr 2050 modelliert.

Die synthetische Bevölkerung von EBP hilft zudem dabei, alle Personenwagen in fünf Nutzertypen aufzuteilen. Alle Fahrzeuge lassen sich in die fünf Nutzertypen einteilen. Die fünf Nutzertypen lassen sich aufgrund der Besitzverhältnisse^{14 15} und der Verkehrszwecke¹⁶ bestimmen.

Es werden folgende fünf Nutzertypen unterschieden, die auch ein grundsätzlich unterschiedliches Ladeverhalten (siehe auch Modellschritt 6) aufweisen:

- Pendler- und Freizeitfahrzeug (keine / kaum Dienstwege), lädt zu Hause (falls Heimpladestation verfügbar) und am Arbeitsplatz.
- Reines Freizeitfahrzeug (keine Pendler- oder Dienstwege), lädt zu Hause (falls Heimpladestation verfügbar), lädt nicht am Arbeitsplatz.
- Dienstfahrzeug, Pendler- und Freizeitfahrzeug im Privatbesitz (inkl. User Chooser), lädt zu Hause (falls Heimpladestation verfügbar), und am Arbeitsplatz (falls vorhanden), am Zielort und an Schnell-Ladern als Ergänzung (je nach Use Case).
- Dienstfahrzeug, Pendler- und Freizeitfahrzeug im Firmenbesitz (inkl. User Chooser), lädt zu Hause (falls Heimpladestation verfügbar), Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz höher, am Zielort und an Schnell-Ladern als Ergänzung (je nach Use Case).
- Reines Dienstfahrzeug, lädt nur am Arbeitsplatz und an Schnell-Ladern als Ergänzung.

11 TCS, 2022: TCS-Barometer E-Mobilität. [Link](#).

12 BFS, ARE, 2023: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2021. [Link](#).

13 EBP, 2022: synPop – Synthetische Bevölkerung der Schweiz. [Link](#).

14 ASTRA, 2022: Fahrzeugdaten. [Link](#).

15 ARE 2020, Nationalen Personenverkehrsmodells NPVM 2017. [Link](#)

16 ARE, 2017: Mikrozensus Mobilität & Verkehr 2015. [Link](#).

Die Elektrifizierung der Nutzertypen verläuft nicht gleich schnell:

- Personenwagen in Firmenbesitz werden früher elektrifiziert als Privatfahrzeuge.
- Freizeitfahrzeuge im Privatbesitz werden früher elektrifiziert als private Pendlerfahrzeuge.
- Im Jahr 2022 sind rund 31 Prozent der Steckerfahrzeuge in Firmenbesitz.

6 Entwicklung Ladeverhalten

Es werden 52 verschiedene Ladetypen differenziert. Die Differenzierung erfolgt anhand des Nutzertyps, der Verfügbarkeit einer privaten Ladeinfrastruktur zu Hause, am Arbeitsplatz und im Quartier sowie von der Reichweite und der Aufnahmeleistung der Steckerfahrzeuge. Die Ladetypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ladebedürfnisse (wo laden sie wieviel?). Das individuelle Ladeverhalten der Ladetypen passt sich im Laufe der Zeit den technischen Entwicklungen an. Aufgrund der höheren Reichweiten und der höheren Ladeleistungen reduziert sich die Anzahl Ladevorgänge pro Steckerfahrzeug bei gleichzeitig grösserer Strommenge pro Ladevorgang an allgemein zugänglichen Ladepunkten.

Jedem Steckerfahrzeug wird ein entsprechender Ladetyp zugewiesen. Die Ladetypen unterscheiden sich hinsichtlich der Anteile der fünf Ladebedürfnisse.

Zur Beschreibung der Ladetypen gelten folgende mit den Fachexpertinnen und Experten abgestimmten Prämissen:

- Wer einen privaten Heimladepunkt zu Hause hat, lädt dort mit 2-3 Ladevorgänge pro Woche ca. 80 Prozent des Jahresbedarfs.
- Wer eine Lademöglichkeit nur am Arbeitsplatz hat, lädt dort mit 1-2 Ladevorgänge pro Woche 70-80 Prozent des Jahresbedarfs.
- Wer zu Hause und am Arbeitsplatz eine Ladeinfrastruktur hat, lädt dort ca. 80 Prozent des Jahresbedarfs (etwas höherer Anteil zu Hause als am Arbeitsplatz). Der restliche Ladebedarf mit ca. 10 Ladevorgänge pro Jahr an allgemein zugänglicher Ladeinfrastruktur.
- Wer keine Ladeinfrastruktur zu Hause oder am Arbeitsplatz hat, lädt im Wochenrhythmus an allgemein zugänglichen Ladepunkten.
- Fahrzeuge mit geringer Aufnahmeleistung und kleiner Batterie (wie PHEV) laden häufiger und mit tiefer Ladeleistung
- Je grösser die Batterie, desto weniger Ladevorgänge, dafür höhere Lademengen pro Ladevorgang

Die geladene Lademenge pro Ladevorgang ist abhängig von der angebotenen Ladeleistung am Ladepunkt, vom Steckerfahrzeug und vom Jahresstrombedarf des Steckerfahrzeug. Im Modell werden die Ladevorgänge einzeln modelliert. Im *Durchschnitt* wird von einem batterie-elektrischen Fahrzeug im Jahr 2035 je Ladebedürfnis folgende Strommenge pro Ladevorgang geladen:

- Laden zu Hause: 15 kWh
- Laden am Arbeitsplatz: 25 kWh
- Laden im Quartier: 25 kWh
- Laden am Zielort: 30 kWh
- Schnell-Laden: 45 kWh

7 Entwicklung Ladeinfrastruktur

Die Ladevorgänge finden abgesehen vom Laden zu Hause nicht genau dort statt, wo das Fahrzeug registriert ist, sondern anderswo, z. B. am Arbeitsplatz, am Zielort, im Quartier oder an Schnell-Ladepunkten. Um den Ladebedarf je Ladebedürfnis räumlich differenziert zu modellieren, wird eine agentenbasierte Simulation mit den Verkehrsflüssen des nationalen Personenverkehrsmodells¹⁷ nach Verkehrszweck (Arbeit, Freizeit, Dienstwege, etc.) durchgeführt. Der aggregierte Ladebedarf je Ladebedürfnis wird für alle rund 8'000 Zonen der Schweiz modelliert. Wie viele Ladepunkte benötigt werden, um den Ladebedarf zu decken, hängt vom heutigen Ladenetz¹⁸ und von der angenommenen Auslastung der Ladepunkte (Utilisation Rate) in Zukunft ab. Die Utilisation Rate gibt an, wieviel Ladeenergie pro Tag, respektive pro Jahr über einen Ladepunkt abgegeben wird (im Verhältnis zur maximal möglichen Stromabgabe an diesem Ladepunkt). Die Auslastung der Ladepunkte ist je Ladeoption unterschiedlich. An einem Schnell-Ladepunkt wird pro Jahr viel mehr Strom abgegeben als an einem Ladepunkt am Arbeitsplatz. Die Annahmen zur zukünftigen Auslastung der Ladepunkte je Ladeoption wurde mit den Fachexpertinnen und Experten¹⁹ abgestimmt.

Es werden die folgenden Ladeoptionen differenziert und aggregiert:

- Laden zu Hause: AC 3.7 kW und 11 kW
- Laden am Arbeitsplatz: AC 11 kW je für reine Dienstfahrzeuge und Pendler
- Laden im Quartier: AC 11 kW und DC 150 kW
- Laden am Zielort: AC 11 kW und DC 50 kW
- Schnell-Laden: DC 150 kW und DC 350 kW

Die angebotene Ladeleistung pro Ladepunkt nimmt bis im Jahr 2050 zu. Die Ladeoption mit der höheren Ladeleistung wird entsprechend im Hinblick auf das Jahr 2035 und 2050 häufiger realisiert in der Zubaulogik.

Die geladene Strommenge an allgemein zugänglichen Ladepunkten ist je Ladeoption nicht in allen Ladewelten identisch. Sie nimmt gegenüber dem Stand 2022 bis im Jahr 2035 kontinuierlich zu und bleibt dann bis 2050 konstant. Die meisten allgemein zugänglichen Ladepunkte konnten im Jahr 2022 nicht wirtschaftlich betrieben werden. Das allgemein zugängliche Ladenetz im Jahr 2022 war nicht gut ausgelastet und hätte deutlich mehr Steckerfahrzeuge versorgen können. Die Auslastung der allgemein zugänglichen Ladepunkte steigt deshalb im Modell bis im Jahr 2035 an. Das Modell bildet entsprechend ein effizientes Ladenetz ab, welches mehrheitlich wirtschaftlich betrieben werden kann. Ab 2035 entstehen proportional zum Anstieg des Ladebedarfs auch neue Ladepunkte. Die geladene Strommenge pro Ladepunkt bleibt entsprechend auf dem hohen Niveau konstant.

Wie oben ausgeführt, wurde die Analyse auf Ebene der rund 8'000 Verkehrszonen durchgeführt. Ob in einer Zone ein Ladepunkt einer bestimmten Ladeoption (z.B. ein Ladepunkt mit DC 150 kW) entsteht, hängt vom modellierten Ladebedarf in dieser Zone ab. Für Ladepunkte am Zielort und für Schnell-Lader wurden daher mehrere Verkehrszonen zu einem Einzugsgebiet zusammengezogen, um den zukünftigen Bedarf an Ladepunkten zu bestimmen. Im Modell wurden jeweils Cluster von mindestens 6-9 Ladepunkte pro Standort abgebildet.

17 ARE 2020, Nationalen Personenverkehrsmodells NPVM 2017. [Link](#).

18 BFE, 2022: Ladestationen für Elektroautos. [Link](#).

19 Experteneinschätzungen «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050», siehe Kapitel 8.