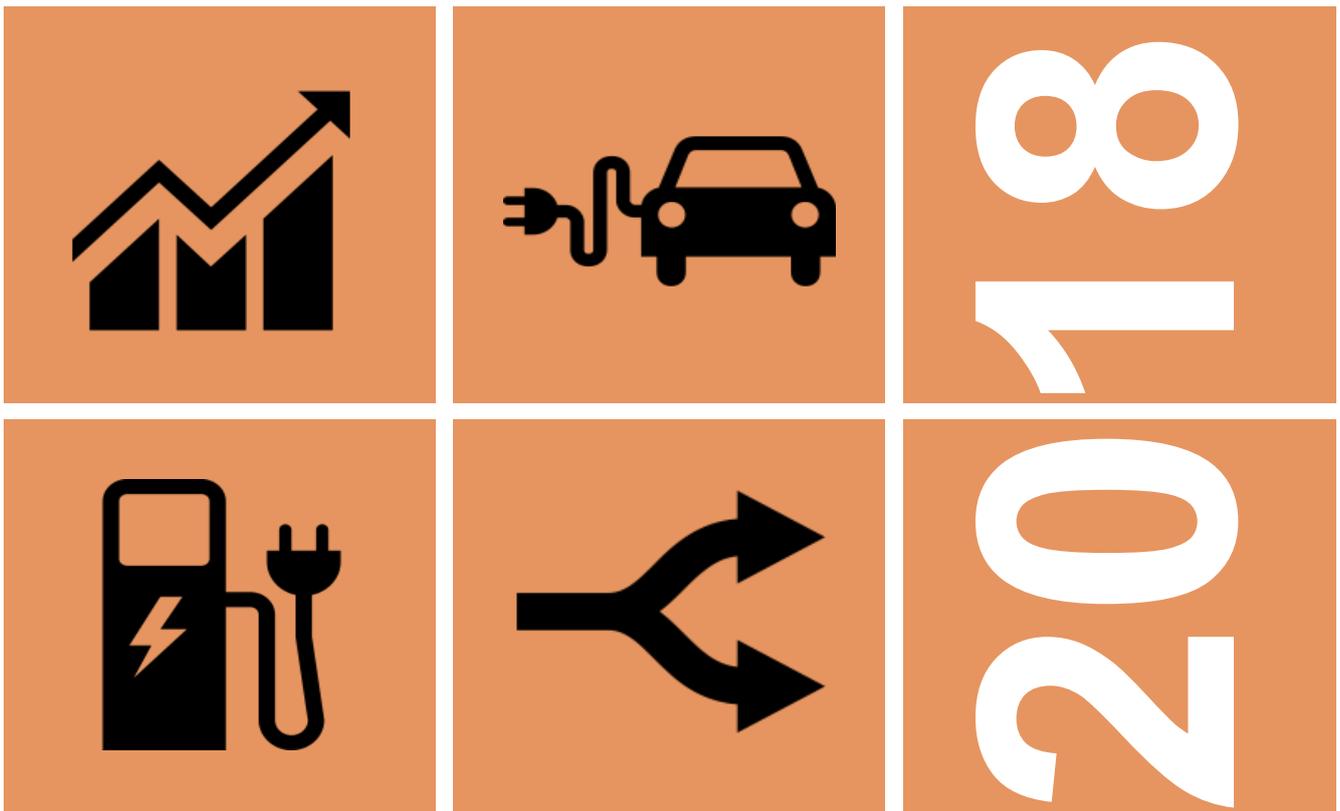


# Szenarien der Elektromobilität in Deutschland

EBP-Hintergrundbericht  
20. April 2018



Dieser öffentlich zugängliche, unentgeltliche Bericht beschreibt Systemgrenze, Annahmen und Datenquellen der «Szenarien der Elektromobilität in Deutschland» sowie das zugrundeliegende diffusionstheoretische Modell. Die Abbildungen illustrieren die Resultate. Ergänzend sind u.a. die folgenden Einzeldaten in einem kostenpflichtigen Lizenzmodell verfügbar:

**EU:**

- Abschätzungen der Neuwagenmarkt-Anteile, getrennt für BEV & PHEV, jährlich von 2018 bis 2025 für alle EU28-Mitgliedstaaten einzeln

**Deutschland:**

- Neuwagenmarkt-Anteile, relativ und absolut, getrennt für BEV & PHEV, inkl. maximale DC-Ladeleistungsstufe, jährlich von 2018 bis 2035.
- Fahrzeugbestand (registrierter, statischer Fahrzeugbestand) und fahrleistungsgewichtete (dynamische) Flotte, getrennt für BEV & PHEV, inkl. maximale DC-Ladeleistungsstufe, jährlich von 2018 bis 2035.
- Benötigte Strommenge, getrennt für BEV & PHEV in je 4 Fahrzeuggrößenklassen und je Ladestations-Typ.
- Anzahl Ladevorgänge, getrennt für BEV & PHEV in je 4 Fahrzeuggrößenklassen und je Ladestations-Typ.
- Aufteilung von Neuwagenmarkt, Fahrzeugbestand und Fahrleistung nach DC-Ladeleistung (getrennt für BEV und PHEV; in 4 kW-Stufen).

**Bundesländer, Zulassungsbezirke:**

- Sämtliche oben genannten Größen sind auch für alle Bundesländer und Zulassungsbezirke einzeln disaggregiert verfügbar.

**Gemeinden:**

- Benötigte Strommenge, getrennt für BEV & PHEV und je Ladestations-Typ.
- Anzahl Ladevorgänge, getrennt für BEV & PHEV und je Ladestations-Typ.
- Anzahl Ladestationen je Ladestations-Typ.

Sämtliche Resultate liegen für die drei Szenarien «Business As Usual», «Technology-Focused Mobility» und «Climate-Forced Mobility» vor.

## Projektteam

Dr. Peter de Haan  
Roberto Bianchetti  
Silvan Rosser  
Holger Frantz

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

EBP Deutschland GmbH  
Am Hamburger Bahnhof 4  
10557 Berlin  
Deutschland  
Telefon +49 30 120 86 82 0  
info@ebp.de  
www.ebp.de

## Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	4
2.	Die Diffusion des Elektroantriebs in den Neuwagenmarkt	7
2.1	Diffusion von Innovationen nach Rogers	7
2.2	Diffusion von Innovationen mit linearer Wachstumsphase nach Moore	8
3.	Entwicklung von Automarkt und Batterien	10
4.	Definition der drei Szenarien für Deutschland	13
5.	Marktdurchdringungen in den drei Szenarien	17
5.1	Marktdurchdringungen in den drei Szenarien bis 2035	17
5.2	Ladeverhalten: vom Automarkt bis zur Ladestation	18
5.3	Auswirkungen der Elektromobilität auf das Stromsystem	21
5.4	Regionalisierung auf Ebene Zulassungsbezirk	22
5.5	Auswirkung der Faktoren auf Diffusionsgeschwindigkeit und längerfristigen Marktanteil	24
5.6	Regionaler Verlauf der Neuzulassungen, der statischen und der dynamischen Flotte	25
6.	Regionalisierung auf Ebene Gemeinde	26
7.	Künftige Herausforderungen der Elektromobilität	27

## Anhang

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

## 1. Ausgangslage und Zielsetzung

Mit der Elektromobilität bricht für den Straßenverkehr die Möglichkeit einer technologischen Zeitenwende an: die Elektrifizierung der Antriebe bietet die Chance, den Energieverbrauch der Mobilität zu senken, die Abhängigkeit vom Öl zugunsten regional erzeugter erneuerbarer Energie zu reduzieren und die lokalen Emissionen zu minimieren.

Der Marktanteil der Elektrofahrzeuge am Neuwagenmarkt ist in den letzten Jahren weltweit stark angestiegen (IEA 2017). Die Neuzulassungszahlen erreichen weltweit und auch in Deutschland jedes Jahr höhere Werte. In Norwegen waren im Dezember 2017 bereits 52 % der Neuwagen elektrisch. Nahezu alle großen Automobilhersteller haben in den vergangenen Jahren umfassende Elektromobilitätsstrategien und Rollout-Konzepte zur Elektrifizierung ihrer Modellpalette angekündigt, darunter auch Volkswagen, Daimler, der französische PSA-Konzern, Mercedes oder Porsche.

Auch von Seiten der Politik gibt es klare Indizien dazu, dass das Wachstum der Elektromobilität in den kommenden Jahrzehnten steil nach oben zeigen dürfte. Mit dem Inkrafttreten des Abkommens von Paris müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor deutlich zurückgehen. In der EU gilt ab 2021 der neue Zielwert von 95 gCO<sub>2</sub>/km für neuzugelassene Personenkraftwagen. Bis 2030 soll die Emissionsvorschrift weiter verschärft werden. China ist der mit Abstand größte Markt der Elektromobilität. Im Jahr 2016 wurden rund 40 % aller weltweit verkauften Elektrofahrzeuge in China abgesetzt (IEA 2017). Ab 2019 müssen Autohersteller in China zehn Prozent ihrer Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb verkaufen. Im Jahr 2020 gilt dann eine Quote von 12 %.

Anfang 2018 gab es in Europa zahlreiche Beschlüsse und Ankündigungen zu (partiellen) Fahr- und Verkaufsverboten von Diesel- und Benzinautos. In einigen deutschen Städten könnten bereits Ende 2018 partielle Fahrverbote für Dieselfahrzeuge eingeführt werden. In der französischen Hauptstadt sollen ab dem Jahr 2030 keine Diesel- und Benzinautos mehr fahren dürfen. Auch in Dänemark stehen Diesel-Fahrverbote zur Debatte. Pläne der französischen und britischen Regierungen sehen ab 2040 ein Verkaufsverbot für Neuwagen mit Verbrennungsmotoren vor.

Die Bundesregierung unterstützt vor dem Hintergrund der konjunktur-, energie- und klimapolitischen Zielsetzungen den Auf- und Ausbau Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität, um in der Wissenschaft, der Automobil- und Zulieferindustrie eine Führungsrolle zu behaupten. Vor diesem Hintergrund wurden seit 2009 eine Reihe von Politikinstrumenten etabliert. In der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung werden die Ziele für den Sektor Verkehr des Energiekonzepts der Bundesregierung übersetzt und Wege aufgezeigt, wie die Energiewende im Verkehr langfristig umgesetzt werden kann. Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität (NEP) soll die Einführung der Elektromobilität vorbereiten und unterstützen; konkrete Maßnahmen werden definiert durch das Regierungsprogramm Elektromobilität. Im Rahmen der nationalen Plattform Elektromobilität werden relevante Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft über

Arbeitsgruppen in die politischen Prozesse eingebunden. Die Bundesregierung hat zudem ein ganzes Paket von Fördermaßnahmen geschnürt: das Förderprogramm Elektromobilität im Rahmen von Konjunkturpaket II, die Kaufprämie für Elektroautos, das Bundesprogramm Ladeinfrastruktur zur Förderung von Ladestationen im öffentlichen Raum sowie das Elektromobilitätsgesetz zur Kennzeichnung und Privilegierung von E-Autos im Straßenverkehr. Als Basis für den Markthochlauf der Elektromobilität hat die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) einen Fahrplan für einheitliche Standards veröffentlicht (DIN 2017). Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020 wurde an die Bundesregierung übergeben. Diese zeigt den konkreten Status und Handlungsbedarf der Normung, Standardisierung und Zertifizierung zur Weiterentwicklung der Elektromobilität auf, beispielsweise beim kabellosen Laden. Weiter hat die NPE eine Roadmap zur langfristig orientierten, integrierten Zell- und Batterieproduktion in Deutschland erarbeitet (NPE 2016). Dabei fokussiert man sich im Kern auf die Batteriezelle inklusive Zelltechnologie, Produktion und Produktionstechnologie.

Die vorliegenden deutschen Szenarien sind die Basis für Konzepte für den Ausbau der Ladeinfrastruktur, die Anpassung der Verteilnetze, für regionale Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität oder zur Ausrichtung neuer Geschäftsstrategie der Energieversorgerunternehmen. Für die Szenarien der Elektromobilität in Deutschland wurde für jedes Jahr von 2018–2035 eine Mikrosimulation des Neuwagenmarkts Deutschland 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.

#### **Andere Prognosen aus der Literatur**

Im Jahr 2013 wurden Markthochlaufszenarien für Elektrofahrzeuge im Auftrag von NPE von Fraunhofer ISI durchgeführt (Fraunhofer ISI 2013). Diese sehen drei Szenarien vor: Contra-EV-Szenario, mittleres Szenario, Pro-EV-Szenario, welche im Jahr 2020 den Verkauf von 200'000, 600'000 resp. 1'200'000 Fahrzeuge prognostizieren.

PricewaterhouseCoopers (pwc) hat 2016 im VDA Konjunkturbarometer den Beitrag „Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität“ (pwc 2016) veröffentlicht. Das dort vorgestellte Szenario basiert auf den Ankündigungen, Strategien und Zielen der Automobilhersteller zur Massenelektrifizierung. Nach diesem Szenario würden bereits 2025 gut 20 % der Neuzulassungen ein Elektrofahrzeug oder ein Plug-In-Hybrid sein. 2030 steigt die Quote dann bereits auf fast 50 %.

In den Shell PKW-Szenarien (Prognos 2014) sind zwei Szenarien bis 2040 entwickelt worden. Das Trend-Szenario sieht eine Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge (BEV + PHEV) im Jahr 2040 von 17 %, das Alternativszenario von 35 % vor.

Die zwei Szenarien von Öko-Institut (2014) prognostizieren, dass im Jahr 2040 15 Millionen Elektrofahrzeuge (Szenario Regional eMobil) bzw. 25 Millionen (Szenario Grenzenlos eMobil) auf den Straßen zirkulieren 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 aufladbaren Batterie, sie können auch rein elektrisch fahren, typischerweise 20 bis 80 km, und 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.
- FCEV** Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeuge) sind Brennstoffzellenfahrzeuge, die aus den Energieträgern Wasserstoff oder Methanol in einer Brennstoffzelle elektrische Energie erzeugen und mit dem Elektroantrieb in Bewegung umwandeln. Zeitweise wird die elektrische Energie in einer Traktionsbatterie zwischengespeichert. Somit ist der Antrieb wie ein serieller Hybridantrieb (REEV) aufgebaut. Da FCEV eine separate Tankstelleninfrastruktur benötigen, ist ihre längerfristige Marktdurchdringung – über Nischenanwendungen hinaus – noch unklar. Sie werden deshalb unter den REEV geführt und nicht separat ausgewiesen.

## 2. Die Diffusion des Elektroantriebs in den Neuwagenmarkt

Modelle zur Diffusion von Innovationen in einen Markt versuchen, die zugrundeliegenden 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 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

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

- *Innovators*: hoher sozialer Status; überdurchschnittliche Kaufkraft; hohe soziale Vernetzung; 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
- *Late Majority*: sind skeptisch gegenüber Neuem und unbekanntem Technologien; unterdurchschnittlicher Sozialstatus und Kaufkraft
- *Laggards*: adoptieren eine Innovation zuletzt; risikoavers; traditionsbewusst; überdurchschnittliches Alter

## 2.2 Diffusion von Innovationen mit linearer Wachstumsphase nach Moore

Da absehbar ist, dass in den nächsten Jahren noch keine sehr breite Modellpalette an Elektrofahrzeugen vorhanden sein wird und außerhalb urbanen Gebieten noch keine einfach zu nutzende Ladeinfrastruktur vorhanden sein wird, dessen Nutzung als flächendeckend und problemlos wahrgenommen werden wird, 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 «chasm» also einer «Kluft» vor der Massenmarkt-Phase kommt. Nachstehende Abbildung 1 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.

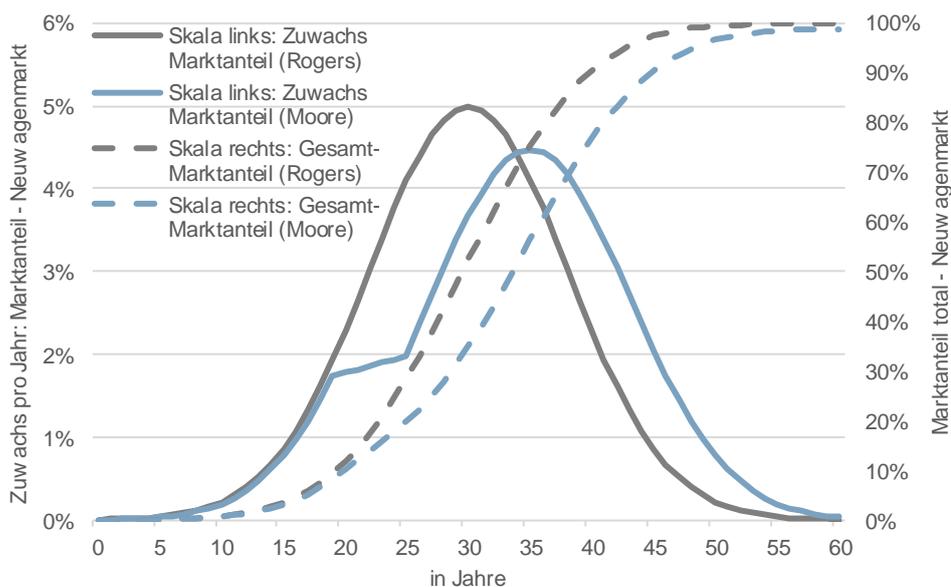


Abbildung 1: Illustratives Beispiel zu den beiden diffusionstheoretischen Konzepten nach *Rogers* (1995) und nach *Moore* (2014).

Die bescheidene Modellpalette der Elektrofahrzeuge und die noch nicht flächendeckende Ladeinfrastruktur wird in den nächsten Jahren ein Hindernis für die Elektromobilität darstellen. Die vorliegende Studie verwendet deshalb den durch Moore (2014) erweiterten diffusionstheoretischen Ansatz. Es werden drei Phasen mit unterschiedlichen Wachstumsraten unterschieden:

- Pionierphase bis inkl. 2018 (Marktdaten bis inkl. 2017) («innovators» & «early adopters»)
- Phase linearen Wachstums im Gleichschritt mit der Entwicklung der Auswahl an Neuwagen und der Ladeinfrastruktur («chasm»)
- Massenmarkt-Phase (S-Kurve-Wachstum) («early market», «late market» sowie «laggards»).

### 3. Entwicklung von Automarkt und Batterien

Der Deutschen Neuwagenmarkt wird in Jahresschritten von 2018 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 inkl. deren (auf das Gewicht bezogene) Energiedichte, durch Experten-Abschätzungen zur Entwicklung des Fahrzeugangebots 2019–2022, und durch Annahmen zum Energieverbrauch (in kWh je km). Die eingesetzte Mikrosimulation «sim.car» wurde erstmals an der ETH Zürich eingesetzt und seither weiterentwickelt (de Haan et al. 2007). Die Mikrosimulation verwendet Treue-Raten (Markentreue, Modellsegmenttreue, Treibstofftyptreue und Antriebstyptreue). 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.

Strom lässt sich nicht einfach speichern. Die Batterie ist die teuerste Komponente eines Elektroautos und stellt zurzeit den wichtigsten limitierenden 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, welche die dominierende Speichertechnologie in den nächsten Jahrzehnten bleiben wird. Dank Forschung und Entwicklung werden die Energiedichten der Batterien auf dem Markt stetig ansteigen, jedoch zeichnet sich kein sprunghafter technologischer Durchbruch ab. Nachstehende Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte bis 2035. Die Energiedichte soll bis 2022 um weitere 15 % gesteigert werden. Relevant ist auch die volumenbezogenen Energiedichte. Von nahezu allen serienfertigen Elektroautos der ersten Generation sind im Jahr 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.

Weil immer mehr Elektroautos hergestellt werden, werden die Kosten pro Speicherkapazität dank Skaleneffekten weiter sinken (Abbildung 3). Innerhalb von sieben Jahren sind die Preise um beinahe zwei Drittel gesunken. Der Preisrückgang hat sich in den letzten drei Jahren jedoch stark abgeschwächt; nichtdestotrotz wird vorhergesagt, dass die Preise nochmals um 75 % bis 2035 sinken werden. Die weitere Steigerung der Produktion und die Erhöhung der Kapazität der einzelnen Batteriemodule von 60 auf 100 kWh, und somit die Reduzierung des Verpackungsanteils pro Batteriemodul, soll die angestrebte Preisreduktion ermöglichen (IEA 2017). Es wird aber so bleiben, dass die Energiedichte von Batteriespeichersystemen um Größenordnungen schlechter ist als von einem Benzintank.

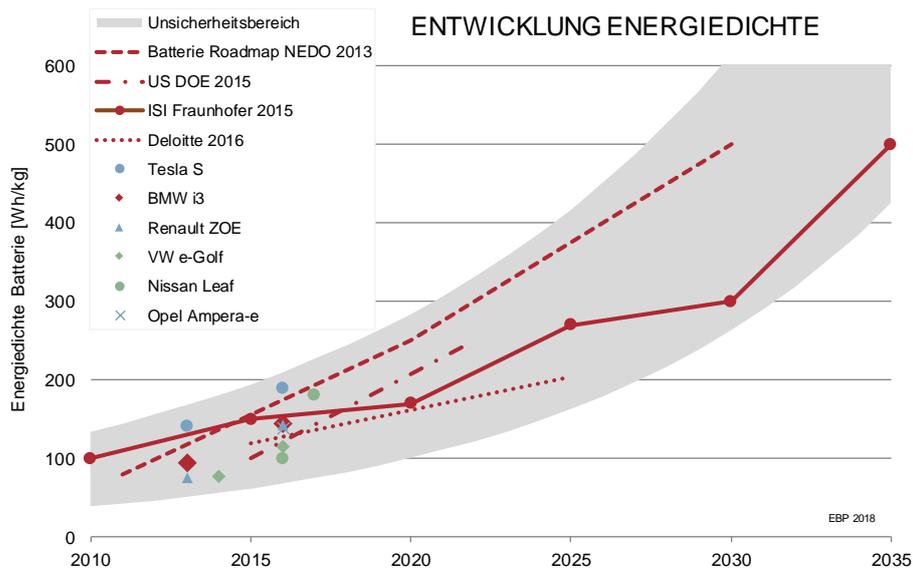


Abbildung 2. Entwicklung der gewichtsbezogenen Energiedichte der Batterien bis 2035 (eigene Darstellung EBP).

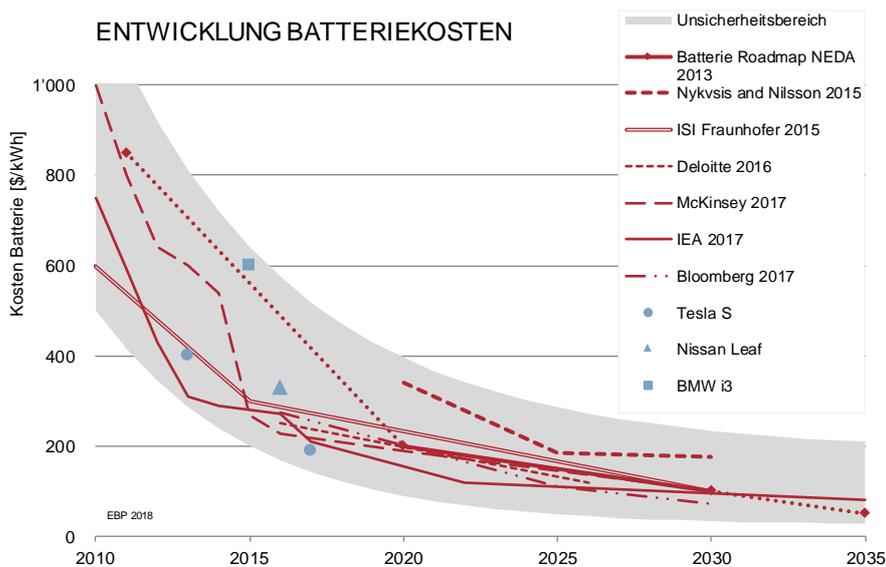


Abbildung 3. Entwicklung der spezifischen Batteriekosten bis 2035 (eigene Darstellung EBP).

Batterien können ausschließlich mit Gleichstrom (DC) geladen werden, das Stromnetz funktioniert mit Wechselstrom (AC) – es findet also immer eine Umwandlung statt. Bei DC-Ladestationen erfolgt diese in der Ladestation, bei AC-Ladestationen im Fahrzeug. AC-Laden ist begrenzt auf maximal 43 kW. Gleichstrom (DC) ermöglicht mit CCS- und CHAdeMO-Steckern Ladeleistungen bis 150 kW, in Zukunft bis 350 kW. Solche hohen Leistungen erfordern aber netzseitig Anpassungen und Kühlung der Ladekabel. Diese senkt die Effizienz des Ladevorgangs, da mehr Energie benötigt wird. Abbildung 4 (AC Ladeleistungen) und Abbildung 5 (DC-Ladeleistungen) zeigen die maximalen Ladeaufnahmeleistungen aller Elektrofahrzeuge auf dem Markt. Die meisten Fahrzeuge erlauben 3.7 kW AC-Ladungen, können aber auch an Ladesäulen mit höherer Leistung laden. Die Leistung wird vom Batteriemanagementsystem abgeregelt. Die DC-Ladeleistung ist in diesem Falle für die meisten Modelle zurzeit noch auf 50 kW begrenzt.

Die Leistung der Ladestationen soll zukünftig bis zu 350 kW betragen. Damit könnten die Ladezeiten – gegenüber heute üblichen Ladelösungen – signifikant verringert werden. IONITY<sup>1</sup> ist ein Joint Venture der Automobilhersteller BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company sowie des Volkswagen Konzerns mit Audi und Porsche und hat sich das Ziel gesetzt, ein Netz zuverlässiger und leistungsstarker Ladestationen bis zu 350 kW entlang der europäischen Hauptverkehrsachsen zu realisieren. Die heutige Generation von Elektrofahrzeugen ist jedoch nicht kompatibel mit derartig hohen Ladeleistungen. Batterien und Ladegeräte für derart hohe Ladeleistungen müssen erst noch entwickelt werden. Bei den Personenwagen ist jedoch zu erwarten, dass die maximalen Aufnahmeleistungen sich höchst wahrscheinlich auf 150 kW beschränken werden. Schnellladungen mit Leistungen jenseits der 150 kW sind mit zusätzlichem Aufwand verbunden: Die elektrischen Verluste in der Ladestation, im Ladekabel und in der Batterie würden zu hohen Temperaturen führen, weshalb sie aufwändig gekühlt werden müssten. Es ist anzunehmen, dass das Laden mit solch hohen Leistungen immer deutlich teurer sein wird als eine Ladung mit Leistungen bis 11 kW. Mittel- bis langfristig ist zu erwarten, dass On-Board-Umwandler eher bei 3.7 kW oder 11 kW limitiert sein werden (kleineres und leichteres Gerät als Notfalllösung im Auto). Falls sich entsprechende Branchenstandards durchsetzen würde, ist längerfristig sogar denkbar, dass On-Board-AC-DC-Wandler verschwinden, so dass auch im Home-charging-Bereich mit niedrigen Ladeleistungen mit Gleichstrom geladen würde (Wallboxen mit AC/DC-Umwandler).

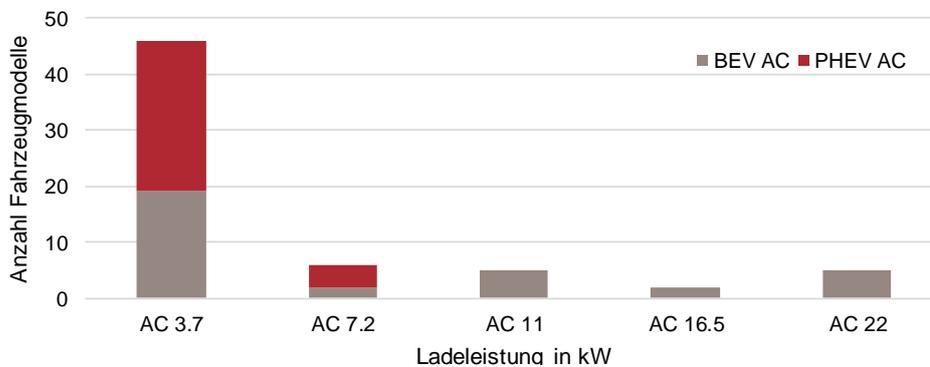


Abbildung 4: Maximale AC-Ladeaufnahmeleistungen (Stand Ende 2017, EBP).

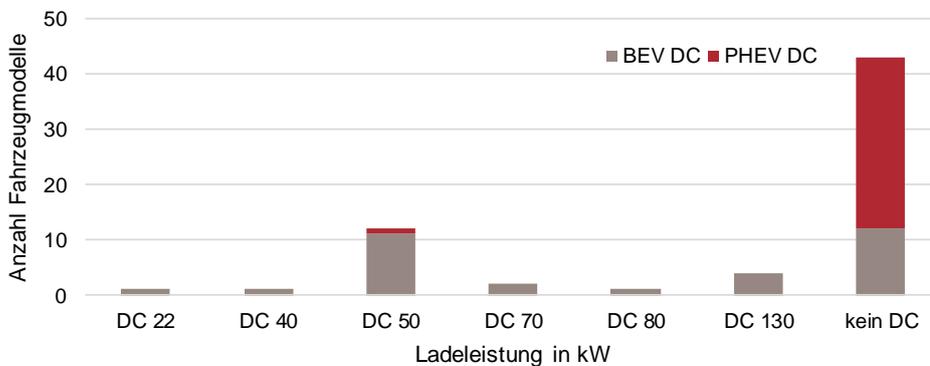


Abbildung 5: Maximale DC-Ladeaufnahmeleistungen (Stand Ende 2017, EBP).

1 Siehe: <http://www.ionity.eu/>

## 4. Definition der drei Szenarien für Deutschland

Die drei Szenarien der Elektromobilität Deutschland unterscheiden sich in ihrer Ausprägung der Rahmenbedingungen, wie sie bis ins Jahr 2035 angenommen werden. Nachfolgend werden sie grob charakterisiert:

### **BAU** (Business As Usual)

Das BAU-Szenario unterstellt, dass sich an den aktuellen Rahmenbedingungen und Entwicklungen auch in der Zukunft nichts Grundlegendes ändert. Die aktuell beschlossenen Gesetzgebungen, Förderungen und Maßnahmen und die aktuell zu verzeichnenden Entwicklungen werden aber berücksichtigt.

### **TFM** (Technology-Focused Mobility)

Das TFM-Szenario zeichnet die mögliche Entwicklung, wenn die Innovationskraft der Automobilindustrie und Änderungen des Neuwagenkaufverhaltens vollständig zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Erhöhung der Energieeffizienz im Realbetrieb eingesetzt werden. Dazu gehören die weitere Fortschreibung der CO<sub>2</sub>-Flottenziele für Neuwagen auf Ebene der EU, Branchenvereinbarungen in Deutschland, Forschungspolitik und Fördermaßnahmen, sowie die Ökologisierung von Abgaben und Steuern. Zulassungsverbote für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor werden jedoch vermieden.

### **CFM** (Climate-Forced Mobility)

Das CFM-Szenario unterstellt eine Entwicklung, in welcher das Klimaziel der Bundesregierung im Sektor Verkehr erreicht wird (weitgehende Dekarbonisierung des Straßenverkehrs bis 2050<sup>2</sup>, was eine vollständige Dekarbonisierung der PKW erfordert). Dabei kommen über die für das TFM-Szenario genannten Maßnahmen hinaus auch antriebstechnologie-spezifischen Quoten für den deutschen Markt und später Zulassungsverbote für Verbrennungsfahrzeuge zum Einsatz.

Die drei bottom-up gerechneten Szenarien BAU, TFM und CFM werden im Folgenden näher beschrieben:

**BAU (Business As Usual)**

<b>Rahmenbedingung</b>	<b>Beschreibung</b>
Förderung Elektromobilität	E-Mob Förderung im heutigen Rahmen: Kaufprämie für EV, Förderung von Konzepten (bis 2019)
Zentrale Koordination der LIS <sup>3</sup>	Koordination der Ausbauprojekte im heutigen Rahmen
Förderung von LIS <sup>3</sup>	Förderbeiträge für Schnell- und Normalladesäulen im heutigen Rahmen (bis 2020)
Energie- und Mobilitätspreise	Energiepreise bleiben generell auf heutigem Niveau
Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung	Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung bleibt gleich.
Ziele des Bundes (Klima, Energie)	Am Ausbaupfad Erneuerbare Energien wird festgehalten → keine Änderungen gegenüber heute Die Klimaziele 2050 im Verkehrssektor werden deutlich verfehlt -> keine Änderung gegenüber heute
Intermodale Mobilität: Funktionalität und Nutzung	Keine Änderungen gegenüber heute
Diesel-Fahrverbote/Umweltzonen	Keine
Emissionszielwerte (CO <sub>2</sub> )	Keine Änderungen gegenüber heute Emissionsziel seit 2015: 130 g CO <sub>2</sub> /km für neue Personenwagen ab dem Jahr Emissionsziel ab 2020: 95 g CO <sub>2</sub> /km. Fahrzeuge mit einem CO <sub>2</sub> -Ausstoß kleiner 50 g können mehrfach auf die Flotte der Hersteller angerechnet werden.
Steuer & Ordnungsrecht	Keine Änderungen gegenüber heute
Verkaufsverbote Verbrenner	Keine
Maut für ICE	Keine
Kredite	Keine
Kaufpreise für EV sinken	Ja
Markenverfügbarkeit	Ausreichendes Angebot an EV nur in Klein- und Kompaktwagenklasse
Reichweite > 500 km (mit elektrischer Reichweite > 100 km)	Nein. Keine Änderungen gegenüber heute.

---

3 LIS: Abkürzung für Ladeinfrastruktur

**TFM (Technology-Focused Mobility)**

<b>Rahmenbedingung</b>	<b>Beschreibung</b>
Förderung Elektromobilität	E-Mob Förderung im heutigen Rahmen: Kaufprämie für EV, Förderung von Konzepten (bis 2019)
Zentrale Koordination der LIS <sup>3</sup>	Koordination der Ausbauprojekte mit Fokus auf Schnellladen und ein Überangebot von LIS <sup>3</sup> .
Förderung von LIS <sup>3</sup>	Förderbeiträge für Schnell- und Normalladesäulen im heutigen Rahmen (bis 2020); Barrierefreiheit für Nutzer und Stromproduzenten wird gewährleistet
Energie- und Mobilitätspreise	Energiepreise bleiben generell auf heutigem Niveau
Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung	Technologischer Fortschritt beeinflusst den Neuwagenkauf hin zu mehr EV. Der Effekt wird durch den fortschreitenden gesellschaftlichen Wandel bzgl. eines geänderten Mobilitäts- und Besitzverhaltens verstärkt.
Ziele des Bundes (Klima, Energie)	Am Ausbaupfad Erneuerbare Energien wird festgehalten → keine Änderungen gegenüber heute Die Klimaziele 2050 im Verkehrssektor werden verfehlt, aber positivere Entwicklung gegenüber BAU.
Intermodale Mobilität: Funktionalität und Nutzung	Stärkere Förderung von intermodaler Mobilität und Fokus auf Ausbau von intermodalen Knotenpunkten und ÖPNV-Kombi-Angebote. Weil längere Strecken mehr durch die Kombination von Auto und Bahn zurückgelegt werden, braucht es weniger lang-streckenfähige Personenwagen. Für die 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 gemäß EG-Richtlinie 70/156/EWG) erbracht.
Diesel-Fahrverbote/Umweltzonen	Keine
Emissionszielwerte (CO <sub>2</sub> )	EU verschärft weiter die Emissionsgrenzwerte: — Emissionsziel seit 2015: 130 g CO <sub>2</sub> /km für neue Personenwagen — Emissionsziel ab 2020: 95 g CO <sub>2</sub> /km. Fahrzeuge mit einem CO <sub>2</sub> -Ausstoß kleiner 50 g können mehrfach auf die Flotte der Hersteller angerechnet werden. — Emissionsziel 2025: -15% gegenüber 2020, d.h. ca. 81 g CO <sub>2</sub> /km im NEFZ, Bonus für Hersteller, welche mehr als 15% der Fahrzeuge mit weniger als 50g CO <sub>2</sub> verkaufen — Emissionsziel 2030: -30% gegenüber 2020, d.h. ca. 67 g CO <sub>2</sub> /km im NEFZ, Bonus für Hersteller, welche mehr als 30% ihrer Fahrzeuge mit weniger als 50 g CO <sub>2</sub> /km verkaufen
Steuer & Ordnungsrecht	Privilegien in der StVo und im Steuerrecht (gemäß Shell 2014: Alternativszenario)
Verkaufsverbote Verbrenner	Keine
Mautbefreiung für Elektro-Fahrzeuge	Keine
Kredite	Für den Kauf von BEV/PHEV werden KfW-Kredite mit günstigeren Konditionen als generell üblich auch für Privatpersonen angeboten.
Kaufpreise für EV sinken	Ja
Markenverfügbarkeit	Ausreichendes Angebot an EV in allen Fahrzeugklassen
Reichweite > 500 km (mit elektrischer Reichweite > 100 km)	Mehr als 30% der verfügbaren EV haben eine Reichweite von mind. 500 km mit elektrischer Reichweite > 100 km

## CFM (Climate-Forced Mobility)

Rahmenbedingung	Beschreibung																		
Förderung Elektromobilität	E-Mob Förderung mit heutigen Förderquoten und einem verlängerten Programm bis 2030: Kaufprämie für EV, Förderung von Konzepten																		
Zentrale Koordination der LIS <sup>3</sup>	Koordination der Ausbauprojekte mit Fokus auf ein deutliches Überangebot von Schnell- und Normalladestationen																		
Förderung von LIS <sup>3</sup>	Förderbeiträge für Schnell- und Normalladesäulen mit einem Nachfolgeprogramm bis 2030); Barrierefreiheit für Nutzer und Stromproduzenten wird gewährleistet																		
Energie- und Mobilitätspreise	Strompreis bleibt auf heutigem (niedrigem) Niveau; Kraftstoffe werden deutlich teurer („5 €/Liter“).																		
Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung	Höhere Energie- und Mobilitätspreise führen zu Änderungen im Kauf- und Mobilitätsverhalten. Der Effekt wird durch den fortschreitenden gesellschaftlichen Wandel bzgl. eines geänderten Mobilitäts- und Besitzverhaltens verstärkt.																		
Ziele des Bundes (Klima, Energie)	Ausbaupfad Erneuerbare Energien wird korrigiert → Ziele werden erreicht. Die Klimaziele 2050 im Verkehrssektor werden erreicht.																		
Intermodale Mobilität: Funktionalität und Nutzung	Aufbau eines funktionstüchtigen intermodalen Mobilitätsnetzes (mehr als TFM) und ÖPNV-Kombi-Angebote: Weil längere Strecken mehr durch die Kombination von Auto und Bahn zurückgelegt werden, braucht es weniger lang-streckenfähige Personenwagen. Für die Vergleichbarkeit wird in diesem Szenario dennoch mit der gleichen Anzahl Fahrzeugkilometer gerechnet, jedoch wird neu ein größerer Teil (mehr als TFM) dieser Fahrleistung durch Kleinwagen (Fahrzeugklassen L5e, L6e, L7e statt M1 gemäß EG-Richtlinie 70/156/EWG) erbracht.																		
Diesel-Fahrverbote/Umweltzonen	Diesel-Fahrverbote gelten in deutschen Umweltzonen																		
Emissionszielwerte (CO <sub>2</sub> )	Gleich wie TFM-Szenario																		
Steuer & Ordnungsrecht	Privilegien in der StVo und im Steuerrecht (gemäß Shell 2014: Alternativszenario)																		
Verkaufsverbote Verbrenner	Verkaufsverbot für Kfz mit reinem Verbrennungsmotor ab 2030																		
Mautbefreiung für Elektro-Fahrzeuge	EV werden von der Maut auf Autobahnen befreit. (Kosten für inländische PKW heute bzw. geplant: <b>Kosten der Jahresvignette für inländische Pkw (je angefangene 100 cm<sup>3</sup> Hubraum)</b>																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Emissionsklasse</th> <th>Benzinmotor</th> <th>Dieselmotor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Euro 0, 1, 2, 3</td> <td>6,50 €</td> <td>9,50 €</td> </tr> <tr> <td>Euro 4, 5</td> <td>2 €</td> <td>5 €</td> </tr> <tr> <td>Euro 6</td> <td>1,80 €</td> <td>4,80 €</td> </tr> <tr> <td>Wohnmobile</td> <td colspan="2">16 € je angefangene 200 kg zulässiges Gesamtgewicht</td> </tr> <tr> <td>Oldtimer</td> <td colspan="2">130 € pauschal</td> </tr> </tbody> </table>	Emissionsklasse	Benzinmotor	Dieselmotor	Euro 0, 1, 2, 3	6,50 €	9,50 €	Euro 4, 5	2 €	5 €	Euro 6	1,80 €	4,80 €	Wohnmobile	16 € je angefangene 200 kg zulässiges Gesamtgewicht		Oldtimer	130 € pauschal	
Emissionsklasse	Benzinmotor	Dieselmotor																	
Euro 0, 1, 2, 3	6,50 €	9,50 €																	
Euro 4, 5	2 €	5 €																	
Euro 6	1,80 €	4,80 €																	
Wohnmobile	16 € je angefangene 200 kg zulässiges Gesamtgewicht																		
Oldtimer	130 € pauschal																		
	Die Kosten sind auf maximal 130 € beschränkt. )																		
Kredite	Für den Kauf von BEV/PHEV werden KfW-Kredite mit günstigeren Konditionen als generell üblich auch für Privatpersonen angeboten.																		
Kaufpreise für EV sinken	Ja																		
Markenverfügbarkeit	Großes Angebot an EV in allen Fahrzeugklassen																		
Reichweite > 500 km (mit elektrischer Reichweite > 100 km)	Mehr als 30 % der verfügbaren EV haben eine Reichweite von mind. 500 km mit elektrischer Reichweite > 100 km																		

## 5. Marktdurchdringungen in den drei Szenarien

### 5.1 Marktdurchdringungen in den drei Szenarien bis 2035

Die Abbildung 6 zeigt den Elektrofahrzeug-Marktanteil (BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt bis 2035, in den drei Szenarien. Die Abbildung 7 illustriert am Beispiel des CFM-Szenarios die zeitlich verzögerte Auswirkung auf den Gesamtfahrzeugbestand.

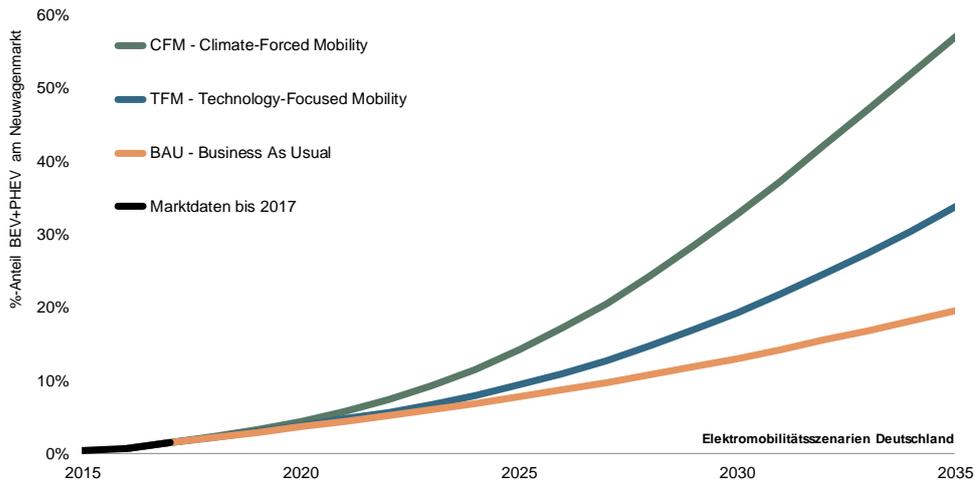


Abbildung 6: Anteil der Elektrofahrzeuge (Summe von BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt in Deutschland bis 2035.

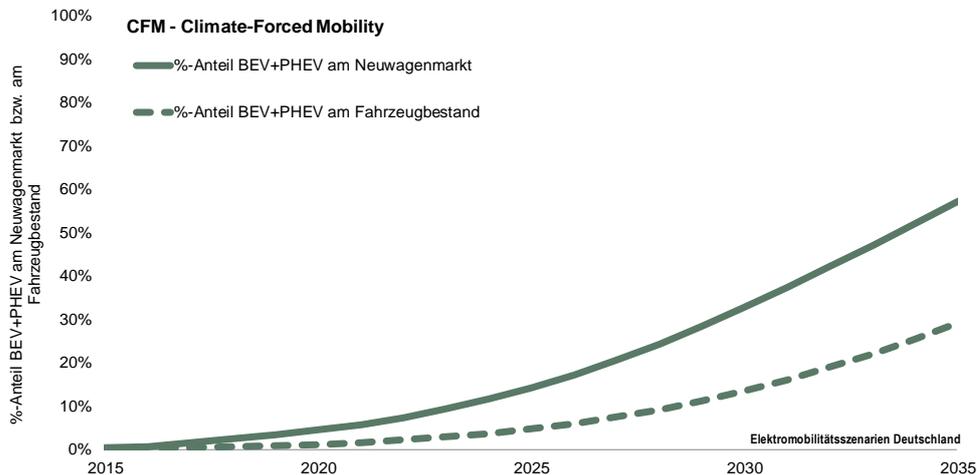


Abbildung 7: Anteil der Elektrofahrzeuge (Summe von BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt und die verzögerte Auswirkung auf den Gesamtfahrzeugbestand in Deutschland bis 2035 im Szenario CFM.

### Maximal mögliche DC-Ladeleistung

Zur Lösung der Reichweitenproblematik können einerseits immer größere Batteriepakete eingesetzt werden. Andererseits ist es 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 Jahres ausreicht. Es ist davon auszugehen, dass ab der dritten Generation von serienfertigten Elektrofahrzeugen 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 BEV wird es jedoch auch längerfristig Fahrzeuge mit weniger als 100 kW DC-Ladeleistung geben. Dieser Aspekt spielt eine wichtige Rolle, um die öffentliche Ladeinfrastruktur planen zu können (optimale Ladeleistung, Diskriminierungsfreiheit).

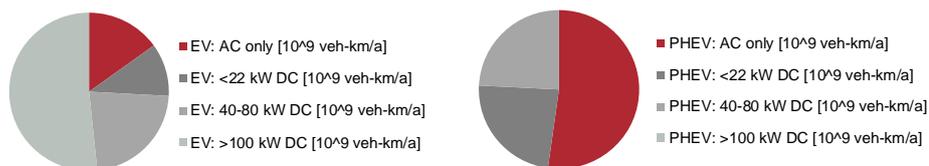


Abbildung 8: Aufteilung der EV- und PHEV-Fahrleistung nach maximal möglicher Ladeleistung (hier: für das Jahr 2025 im Szenario TFM).

## 5.2 Ladeverhalten: vom Automarkt bis zur Ladestation

Das Ladeverhalten beschreibt wie häufig und wo Elektrofahrzeuge laden. Geschäftsmodelle mit der Elektromobilität und die Interaktion mit dem Stromsystem hängen daher grundlegend vom Ladeverhalten ab. Aktuell besitzen praktisch alle Elektrofahrzeughalter eine private Ladestation zu Hause, wo sie täglich kleine Strommengen (Tagesbedarf) nachladen. Elektrische Flottenfahrzeuge haben eine private Lademöglichkeit am Firmenstandort. Wird auch in Zukunft hauptsächlich privat geladen? Oder wird das öffentliche Laden an «Point of Interest (POI)», also beispielsweise beim Einkaufen, beim Fitnesscenter oder beim Zoo künftig immer wichtiger? Wird der Kostenvorteil des Heimladens Elektrofahrzeughalter davon abhalten an öffentlichen Ladestationen nachzuladen? Werden Elektrofahrzeuge nur dann öffentlich geladen, wenn die Fahrzeugbatterie schon stark entleert ist? Und wie präsentiert sich in diesem Fall die Zahlungsbereitschaft für eine hohe Ladeleistung (Schnellladung), welche die Ladezeit deutlich verkürzt?

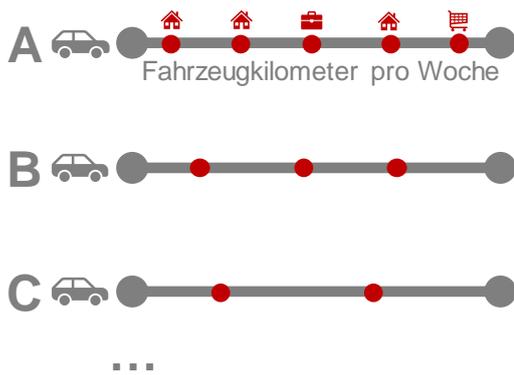


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Bottom-up-Modellierung des Ladeverhaltens der Elektrofahrzeughalter.

EBP modelliert das Ladeverhalten der Elektrofahrzeuge bottom-up nach charakteristischen Nutzertypen (Abbildung 9). Dabei werden zahlreiche Datensätze ausgewertet (u.a. Mobilität in Deutschland 2017, Bestand an Personenkraftwagen aus Kraftfahrtbundesamt KBA 2017, BDEW-Erhebung Elektromobilität vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft BDEW 2016).

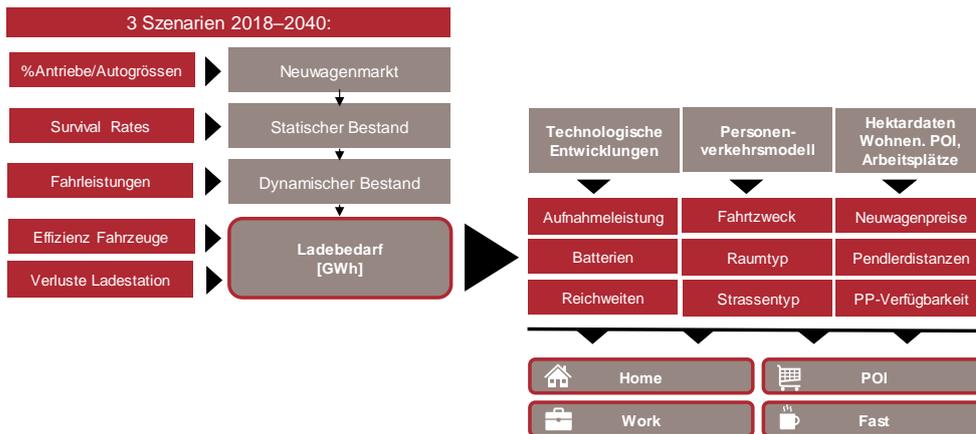


Abbildung 10: Modellierungsstruktur des Ladeverhaltens: vom Automarkt bis zur Ladestation.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der exakten Koordinaten von potenziellen Standorten öffentlicher Ladestationen in Deutschland kann das zukünftige Ladeverhalten der Elektrofahrzeughalter prognostiziert werden. Ausgewiesen werden Stromverbrauch, Anzahl Ladevorgänge, sowie die durchschnittlich geladene Strommenge je Ladevorgang und Anzahl Ladestationen je Ladestationstyp. Dabei werden vier Ladestationstypen unterschieden (Abbildung 11).

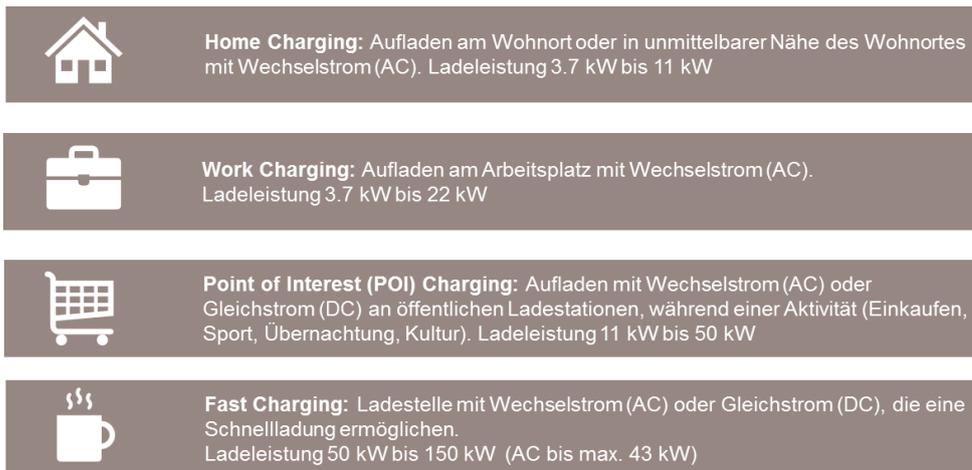


Abbildung 11: Kurzbeschreibung der vier Ladestationstypen.

Das zukünftige Ladeverhalten kann je nach Elektromobilitätsszenario unterschiedlich abgebildet werden. Die Abstimmung erfolgt dabei in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden.

Abbildung 12 zeigt die Aufteilung aller Ladevorgänge je Ladestationstyp (links) für das Szenario EFF im Jahr 2035. An öffentlichen Ladestationen (POI und Fast) wird in diesem Modellierungsbeispiel deutlich weniger häufig geladen als an privaten Ladestationen (Home und Work). Aufgrund der größeren geladenen Strommenge pro Ladevorgang ist der Stromverbrauch anteilmäßig aber deutlich größer (Abbildung 12, rechts).

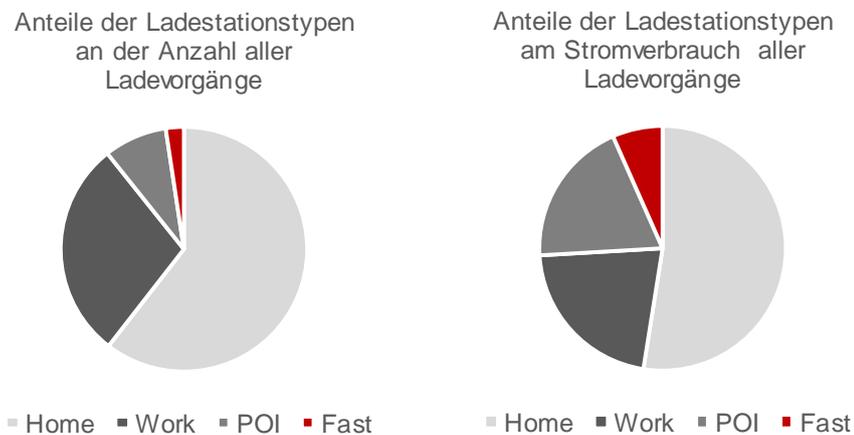


Abbildung 12: Anteile der Ladestationstypen an der Anzahl (links) und am Stromverbrauch aller Ladevorgänge (rechts), hier für das Szenario TFM und das Jahr 2035.

### 5.3 Auswirkungen der Elektromobilität auf das Stromsystem

Der Strombedarf der Elektromobilität in Deutschland liegt je nach angenommenem Szenario im Jahr 2035 bei 11.4 (Szenario BAU) bis 24.1 TWh (Szenario CFM). Dies entspricht rund 2–5 % des deutschen Stromverbrauchs im Jahr 2017. Bei starker Marktdurchdringung der Elektromobilität steigt der Stromverbrauch in der Folge rasch an und erreicht 2040 (Szenario CFM) deutschlandweit bereits 39 TWh (knapp 8 % des heutigen Stromverbrauchs).

Auf Basis der Modellierung des Ladeverhaltens können stündliche Profile der Stromnachfrage der Elektromobilität erzeugt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ladeleistung und der geladenen Strommenge je Ladestationstyp ergibt sich eine spezifische zeitliche Stromnachfrage (Abbildung 13). Die Nachfrageprofile je Ladestationstyp orientieren sich an den Ankunftszeitpunkten je Verkehrszweck (Mobilität in Deutschland 2017). Wird angenommen, dass Elektrofahrzeuge vor allem bei der Rückkehr nach Hause am Abend eingesteckt und geladen werden (Heimladung), verstärkt dies die abendliche Lastspitze in den Verteilnetzen. Gleiches gilt für das morgentliche Laden am Arbeitsplatz. Vor allem im Winter wird die Elektromobilität daher das Stromsystem in den anhin schon angespannten Stunden weiter belasten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Stromverbrauch der Elektromobilität temperaturabhängig ist. Im Winter verschlechtern tiefe Außentemperaturen den Wirkungsgrad der Fahrzeugbatterien und das zusätzliche Heizen des Fahrzeugs führt zu einem Strommehrverbrauch. Der Stromverbrauch der Elektromobilität ist im Winter daher höher als im Sommer.

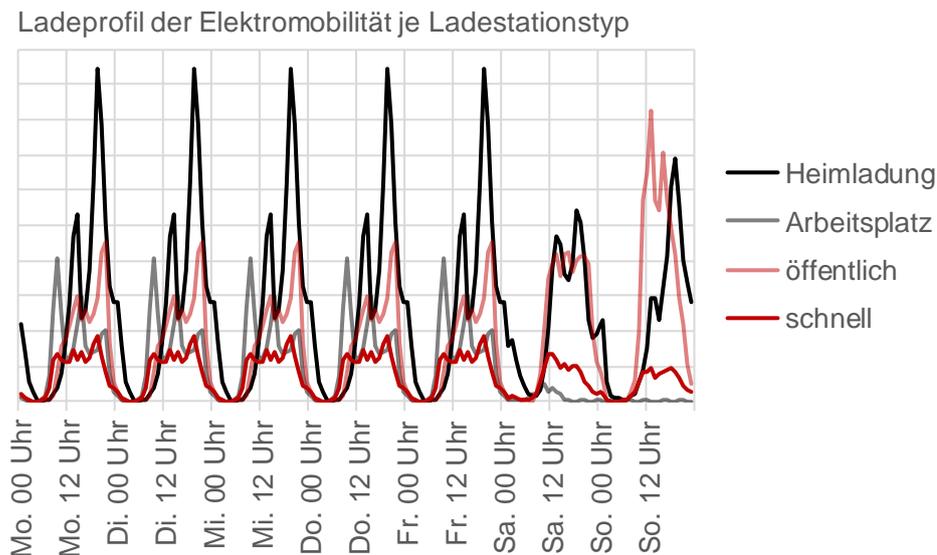


Abbildung 13: Stündliche Nachfrageprofile der Elektromobilität je Ladestationstyp für eine Beispielwoche.

Durch zeit- oder ferngesteuertes Laden oder den Einsatz von dezentralen Speichern, können Lastspitzen, ohne gleichzeitig hohe Stromproduktion von erneuerbaren Energien, vermieden werden. Längerfristig ist deshalb eine Steuerung der Ladevorgänge, vor allem bei Heimladungen, sinnvoll. Verteilnetzbetreiber haben daher schon heute ein Interesse daran, dass vorwiegend smarte Ladestationen eingebaut werden und die Ladeleistungen bei Heimladungen begrenzt wird.

## 5.4 Regionalisierung auf Ebene Zulassungsbezirk

Ausgehend von Szenarien der Elektromobilität für Deutschland können die Szenarien mithilfe von örtlichen Strukturdaten regionalisiert und anschließend kommunalisiert werden. Dies geschieht in einem ersten Schritt auf Ebene der Fahrzeug-Zulassungsbezirke und in einem zweiten Schritt auf eine kleinere Gebietskörperschaftsebene (z. B. Gemeinde).

Die Marktdurchdringung der Elektromobilität in Deutschland wird, je nach Zulassungsbezirk, unterschiedliche Verläufe aufweisen. Die Unterschiede kommen aufgrund diverser soziodemographischer und räumlicher Faktoren. Die Faktoren gelten auf Ebene Zulassungsbezirke oder übergeordnet auf Ebene Bundesland.

Der Einfluss soziodemographischer Größen wird mittels einer Analyse der Ergebnisse der Mobilität in Deutschland (2017) bestimmt. Es werden jene Kriterien identifiziert, welche die Marktdurchdringung für Elektromobilität beeinflussen können. Zusätzlich werden weitere Faktoren untersucht, die einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben.

Die folgenden Faktoren beeinflussen die Marktdurchdringung auf Ebene Zulassungsbezirk betreffend Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion (es handelt sich um eine Verschiebung der Kurve der Marktdurchdringung hin zu früheren oder späteren Jahren):

- Anzahl Elektrofahrzeuge
- Ladestationsdichte
- Motorisierungsgrad
- Erneuerungsrate des Fahrzeugbestands
- Befürwortung der Energiewende in der Bevölkerung
- Anteil der Bevölkerung mit Fachhochschul- oder Universitätsabschluss

Weiter haben die folgenden Faktoren einen Einfluss auf den längerfristigen Elektrofahrzeuge-Marktanteil in den Zulassungsbezirken:

- Anzahl Haushalte mit mehr als zwei Fahrzeuge
- Anteil Personen mit mehr als 25'000 km MIV-Jahresfahrleistung
- Anteil ÖPNV-Stammkunden
- Einwohnerdichte
- Topografie

Für jeden Faktor werden relative, prozentuale Abweichungen der Zulassungsbezirke vom deutschlandweiten Durchschnitt berechnet und ein Ranking erstellt. Es wird zwischen Faktoren unterschieden, welche die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung beeinflussen und solchen, welche die Höhe der maximalen Marktdurchdringung beeinflussen. Es wird angenommen, dass sich diese Faktoren mit der Zeit nicht verändern und dass die Unterschiede für alle drei Szenarien innerhalb eines Zulassungsbezirks gelten.

Anhand dieser Faktoren werden die drei Deutschland-Szenarien auf die jeweiligen Zulassungsbezirke regionalisiert. Die spezifischen Annahmen zur Marktdurchdringung ermöglicht die Berechnung des Neuwagenmarkts und des daraus resultierenden Fahrzeugbestands auf Ebene Zulassungsbezirke, welche die Grundlagen für die Ermittlung des Ladebedarfs darstellen. Für die Modellierung der (statischen) Fahrzeugflotte wird ein Flottenmodell verwendet: Jährlich kommen die Neuzulassungen hinzu, 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. 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 Flotte eines Zulassungsbezirks berechnet. Dazu wird den Fahrzeugkohorten eine jährliche Fahrleistung zugeordnet – in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter. Je älter ein Auto ist, desto mehr nimmt seine jährliche Fahrleistung ab. Diese Schritte ermöglichen Aussagen zum Strombedarf und zur Anzahl Ladevorgänge.

Die Anzahl Ladevorgänge und das Ladeverhalten – also wie häufig Elektrofahrzeuge an unterschiedlichen Ladestationstypen geladen werden – variieren je nach Szenario (BAU, TFM, CFM). Für die in Abbildung 11 beschriebenen vier Ladestationstypen werden folgende durchschnittliche Strommengen pro Ladevorgang angenommen:

- *Home Charging*: 5-14 kWh/Ladevorgang.
- *Workplace charging*: 5-14 kWh/Ladevorgang.
- *Point of Interest (POI) charging*: 12-18 kWh/Ladevorgang.
- *Fast charging*: 13-20 kWh/Ladevorgang.

Es wird angenommen, dass im Durchschnitt an öffentlichen Ladestationen größere Strommengen pro Ladevorgang geladen werden als zuhause und am Arbeitsplatz. Am Wohnort und Arbeitsplatz wird grundsätzlich täglich geladen. Entsprechend sind die durchschnittlich geladenen Strommengen klein, da zumeist nur die zurückgelegte Tagesdistanz nachgeladen wird. Nur selten werden komplett leere Batterien wieder aufgeladen. An öffentlichen Ladestationen wird weniger regelmäßig geladen, also nur dann, wenn die Batterie stärker entleert ist. Entsprechend ist die durchschnittlich geladene Strommenge pro Ladevorgang an *POI*- und *fast charging* Stationen im Durchschnitt doppelt so hoch wie zuhause oder am Arbeitsplatz (siehe oben).

## 5.5 Auswirkung der Faktoren auf Diffusionsgeschwindigkeit und längerfristigen Marktanteil

Die Modellierung der Marktdurchdringung der Elektromobilität wird anhand diverser soziodemographischer und räumlicher Faktoren durchgeführt. Es wird angenommen, dass sich die Faktoren mit der Zeit nicht verändern, und dass die Unterschiede für alle drei Szenarien innerhalb eines Zulassungsbezirks gleichermaßen gelten.

Die folgenden Faktoren beeinflussen die regionale Marktdurchdringung betreffend der *Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion* (im Resultat eine zeitliche Verschiebung der Kurve der Marktdurchdringung hin zu früheren, oder späteren, Jahren): Anzahl Elektro- und Plug-In-Hybrid-Pkw pro 1.000 Fahrzeuge; Elektro-Ladepunkte pro 1.000 km<sup>2</sup>; Anzahl Pkw pro Haushalt; Befürwortung der Energiewende; Neuzulassungen pro Fahrzeugbestand; Anteil Fachhochschule oder Universitätsabschluss. Die verbleibenden, folgenden Faktoren haben einen Einfluss auf den längerfristigen *Elektrofahrzeuge-Marktanteil*: Anteil Haushalte mit 2 oder mehr Autos; Topographie; Anteil > 25.000 km Jahresfahrleistung aller Autos im Haushalt; Anteil ÖPNV-Stammkunden.

Im Endeffekt unterscheiden sich die Elektromobilitäts-Szenarien zwischen den Zulassungsbezirken nach ihrem zeitlichen Verlauf und nach der Höhe des längerfristigen Marktanteils. Die Abbildung 14 zeigt illustrativ (hier für das TFM-Szenario) die Unterschiede für einen Landkreis bzw. Zulassungsbezirk.

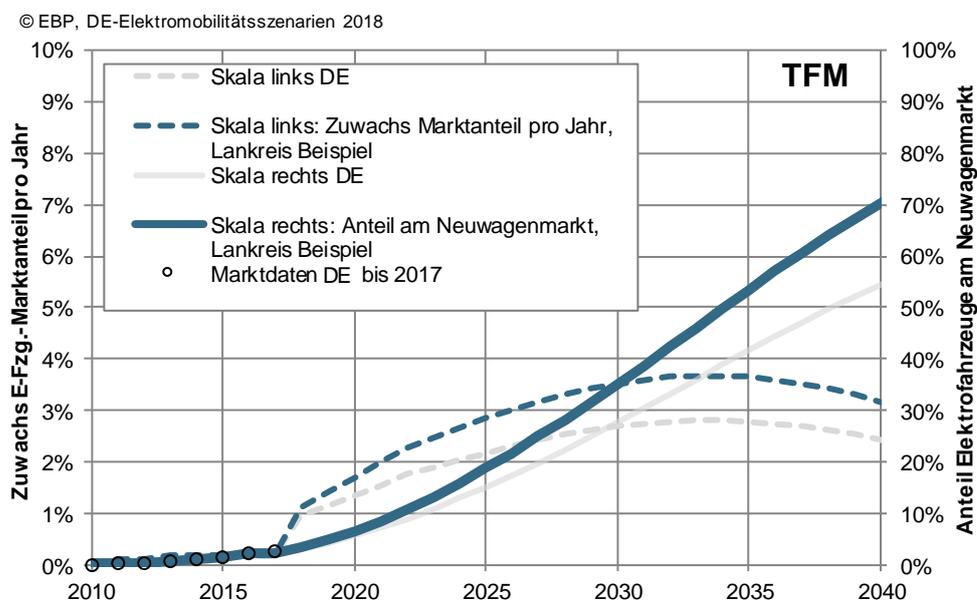


Abbildung 14. Illustrative Darstellung des Anteils der Elektrofahrzeuge an den Neuzulassungen in einem ausgewählten Landkreis bzw. Zulassungsbezirk, hier für das Szenario TFM.

## 5.6 Regionaler Verlauf der Neuzulassungen, der statischen und der dynamischen Flotte

Anhand der regionalen Faktoren werden die nationalen Szenarien direkt für den jeweiligen Zulassungsbezirk disaggregiert. Die angepasste Marktdurchdringung ermöglicht dann die Berechnung (A) des regionalen Neuwagenmarkts, (B) des daraus resultierenden (statischen) Bestands der zugelassenen Fahrzeuge in einem Zulassungsbezirk sowie (C) die dynamische, fahrleistungsgewichtete Flotte. Letzteres stellt die Grundlagen für die Ermittlung des regionalen Ladestations-Bedarfs dar. Für die Modellierung der (statischen) Fahrzeugflotte wird ein Flottenmodell verwendet: Jährlich kommen die Neuzulassungen hinzu, 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 (je nach Zulassungsbezirk) rund 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.

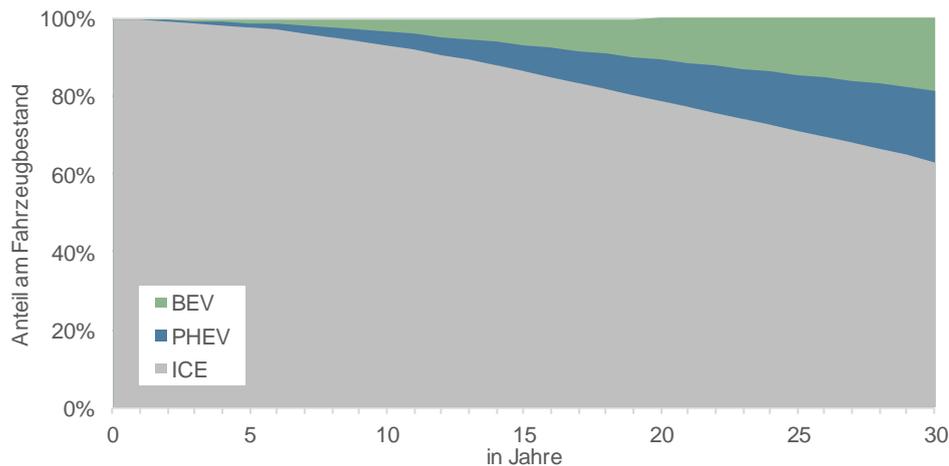


Abbildung 15: Illustrative Darstellung der Entwicklung des Fahrzeugbestandes (eigene Darstellung EBP).

Der statische Fahrzeugbestand umfasst die Anzahl Fahrzeuge, welche zu einem Stichtag immatrikuliert sind. Aber nicht jedes Fahrzeug fährt gleich viele Kilometer: Je neuer ein Fahrzeug ist, desto mehr Kilometer pro Jahr legt es statistisch gesehen zurück. Die neuesten 10 % des Fahrzeugbestands legen also deutlich mehr als 10 % aller Fahrzeugkilometer zurück. Das ist gerade für die Elektromobilität relevant. Ausgehend von der statischen Fahrzeugflotte wird deshalb die so genannte dynamische Flotte berechnet. Dazu wird den Fahrzeugkohorten eine jährliche Fahrleistung in Abhängigkeit vom Alter zugeordnet. Der dynamische Fahrzeugbestand beschreibt die zurückgelegte Fahrleistung je Fahrzeugsegment, die Einheit ist hier also „Anzahl gefahrene Kilometer“. Diese Schritte ermöglichen die folgenden Prognosen, jeweils für den betreffenden Zulassungsbezirk: Strombedarf, Anzahl Ladevorgänge, räumlicher Bedarf an Ladestationen je nach Typ (*home charging, workplace charging, POI charging, fast charging*).

## 6. Regionalisierung auf Ebene Gemeinde

Ausgehend von den Szenarien der Elektromobilität auf Ebene der Zulassungsbezirke können die Szenarien auf die Ebene kleinerer Gebietskörperschaften wie beispielsweise Gemeinden regionalisiert. Damit sind Aussagen zur Anzahl Ladevorgänge je Ladestationstyp und zur Stromnachfrage der Elektromobilität je Gemeinde möglich.

Die Regionalisierung auf Gemeindeebene geschieht anhand von gemeinde-spezifischen Daten:

- Anzahl Wohnbevölkerung je Gemeinde
- Anzahl Arbeitsplätze je Gemeinde
- Anzahl POIs (Restaurants, Sehenswürdigkeiten, Touristenattraktionen, Fitnesscenter, Museen, Schwimmbäder, Einkaufsläden, Hotels, Kinos, etc.) je Gemeinde
- Anzahl konventionelle Tankstellen je Gemeinde

Mithilfe dieser Daten können Aussagen zum Strombedarf der Elektromobilität je Gemeinde sowie zur Aufteilung des Ladebedarfs je Ladestationstyp (Home, Workplace, POI und fast) auf Gemeindeebene gemacht werden.

## 7. Künftige Herausforderungen der Elektromobilität

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). Stellvertretend sind hier zukünftige Herausforderungen der Elektromobilität für verschiedene Marktakteure aufgeführt:

### **Herausforderungen und neue Geschäftsfelder für Energieversorger**

Der Markt der Elektromobilität ist zwar stark wachsend, doch Gewinne im Ladegeschäft zu erwirtschaften ist nicht einfach, denn der Aufbau des Ladestellennetzes führt zu beträchtlichen Kosten, viele Konkurrenten bieten das Laden gratis oder zu sehr tiefen Preisen an und das Marktvolumen ist noch klein. Aufgrund der herausfordernden Marktsituation sind Energieversorger gewillt, ihre strategische Positionierung in der Elektromobilität zu überprüfen und attraktive Geschäftsfelder innerhalb der künftigen Wertschöpfungskette der Elektromobilität zu identifizieren (EBP 2017e, EBP 2018a).

### **Innovative und intelligente Lösungen für Einstellhallen**

Die Mehrheit der Ladevorgänge wird künftig hauptsächlich zu Hause erfolgen. Innovative Konzepte und Komplettlösungen sind für eine rechtzeitige Elektrifizierung der Parkplätze nötig. Diverse Ansätze für eine intelligente Ladeinfrastruktur (Langsam- und Schnellladungen inkl. Lademanagement-System) für (closed) Community Parkplätze sind in diesem Zusammenhang denkbar (EBP 2017e, EBP 2018a, EBP 2018c).

### **Herausforderungen für Tankstellenbetreiber**

Das Ladegeschäft unterscheidet sich vom heutigen Tankstellengeschäft, da Elektromobile nicht nur an zentralen Schnellladestellen, sondern vermehrt auch auf Parkplätzen zuhause, bei der Arbeit oder während des Einkaufens geladen werden. Für Tankstellenbetreiber stellt sich die Frage, ob, wann und wie sie in diesen Markt einsteigen sollen. Die Elektromobilitätszenarien stellen eine wichtige quantitative Grundlage dar, um sich strategisch zu positionieren (EBP2017e, EBP2018b).

### **Elektrifizierung von Busflotten**

Mehrere Verkehrsbetriebe haben sich das Ziel gesetzt, mittelfristig emissionsfrei zu fahren. Um solche Zielsetzungen erreichen zu können, wird die Beschaffung von elektrischen Bussen in den nächsten Jahren geplant. Die Umstellung auf voll-elektrische Busse löst einen Bedarf nach umfangreichen und angemessenen Ladeinfrastrukturen aus, sowie eine bedarfsgerechte Strategie betreffend technologischer Varianten (Nachtladung im Depot vs. Opportunity Charging) (EBP 2018d).

### **Verbreitung von Elektrotaxis**

Gerade für Taxis macht der Elektroantrieb Sinn: Sie sind viel in der Stadt unterwegs, nur wenig auf Autobahnen – von der Lärm- & Emissionsreduktion sowie von der Vorbildfunktion profitieren also viele. Taxis haben besondere Bedürfnisse und brauchen eine für spezifisch ausgelegte Ladeinfrastruktur. Auf dieser Basis hat Basel-Stadt im Jahr 2017 eine Aktion zur Förderung von Elektrotaxis gestartet (EBP 2017f).

### **Maßnahmenpläne Elektromobilität**

Landkreise und Regionen brauchen Konzepte und eine Strategie, ob und in welchem Umfang sie die Elektromobilität unterstützen und fördern wollen. Zentrale Aspekte sind die Eindämmung oder Vermeidung von Rebound-Effekten und die Berücksichtigung möglicher Kosteneinsparungen bei der Einführung der Elektromobilität. Relevant erscheint die rechtzeitige Planung und die Berücksichtigung natürlicher Erneuerungszyklen der Infrastruktur. Die Elektromobilität kann einen relevanten Beitrag zur Erreichung regionaler Energie- und Klimaschutzziele beitragen. Dabei ist aber die Umweltauswirkung der Elektromobilität umfassend über den gesamten Lebenszyklus zu analysieren, inklusive Herstellung und Rezyklieren von Fahrzeugen und Batterien sowie der Bereitstellung der Elektrizität. Der Einfluss des eingesetzten Strommix ist entscheidend für die insgesamt verursachten Treibhausgasemissionen der Elektromobilität (EBP 2018e, EBP2015d, EBP 2015e).

## A1 Literaturverzeichnis

- Bundesregierung, 2012. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Fortschrittsbericht 2012. Berlin.
- Bundesregierung, 2011. Regierungsprogramm Elektromobilität. Berlin.
- Bundesregierung, 2009. Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW): BDEW-Erhebung Elektromobilität. Stand 31.12.2016. <https://www.bdew.de/inter-net.nsf/id/bdew-erhebung-elektromobilitaet-de>, Abruf am 30. März 2018.
- 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. Download von BFE-Website: [PDF](#) (3.0 MB)
- de Haan P, Peters A, Semmling E, Marth H, Kahlenborn W, 2015. Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. EBP, Fraunhofer ISI und adelphi für Umweltbundesamt (UBA). Texte 31/2015, Forschungskennzahl 3711 14 104, ISSN 1862-4804, Desslau-Roßlau, Juni 2015, 112 Seiten. Download von UBA: [PDF](#) (2.6 MB)
- de Haan P, Zah R, Bernath K, Bruns F, 2013. Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. EBP und EMPA im Auftrag des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzungen der Akademien der Schweiz (TA Swiss). Download von vdf-Verlag: [PDF](#) (10.0 MB)
- de Haan P, et al, 2009. Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Eindämmung. ETH Zürich IED-NSSI, für Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie. Zürich, 265 Seiten. Download von ETH-Bibliothek: [PDF](#) (5.1 MB)
- de Haan P, Müller M G, Peters A, Hauser A, 2007. Lenkungsabgaben zur Senkung des CO<sub>2</sub>-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)
- DIN, 2017. <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/presse/mitteilungen/basis-fuer-markthochlauf-der-elektromobilitaet-npe-veroeffentlicht-fahrplan-fuer-einheitliche-standards-234360> (abgerufen am 20.04.2018).

- EAFO, 2018. European Alternative Fuels Observatory, Marktdaten für Deutschland, <http://www.eafo.eu/content/germany> (abgerufen am 20.04.2018)
- EBP, 2018a. Elektromobilität: Ladebedürfnisse von Privatkunden und neue Geschäftsfelder. Im Auftrag eines nationalen Energieversorgers.
- EBP, 2018b. Grundlagen für die Entwicklung von Geschäftsfeldern im Bereich Elektromobilität. Im Auftrag eines nationalen Tankstellenbetreibers.
- EBP, 2018c. Elektromobilität: Marktanalyse und Review strategische Positionierung. Im Auftrag eines regionalen Energieversorgers.
- EBP, 2018d. Studie «Garagen-Ladeinfrastruktur für Elektrobusse». Im Auftrag eines städtischen Verkehrsbetriebs.
- EBP, 2018e (noch nicht veröffentlicht). Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau. Im Auftrag des Kantons Thurgau, Abteilung Energie, Frauenfeld.
- 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 Personenkraftwagen 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, Wuppertal Institut, HiTec, 2017. Evaluation des deutschen Schaufensterprogramms Elektromobilität, im Auftrag des Deutschen Dialog Instituts. Frankfurt am Main.
- 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 Personewagen 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, 2015c. Realverbrauch von Personewagen 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)
- Fraunhofer ISI, 2013. Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Im Auftrag der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Karlsruhe.
- IEA, 2017. Global EV Outlook 2017. International Energy Agency, Frankreich, Juni 2017, 71 Seiten. Downloadlink: [PDF](#) (3.6 MB)
- Infas, 2017. Mobilität in Deutschland, im Auftrags des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.
- Krafftahrtbundesamt (KBA): Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2017 nach Bundesländern und ausgewählten Kraftstoffarten absolut, <http://www.kba.de>, Abruf am 20. März 2018.
- 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
- NPE (Nationale Plattform Elektromobilität), 2016 Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland. Berlin.
- Öko-Institut e.V., 2014. eMobil 2050, Szenarien zum möglichen Beitrag des elektrischen Verkehrs zum langfristigen Klimaschutz. Berlin.
- Prognos, 2014. Shell PKW-Szenarien bis 2040. Hamburg.
- Pwc, 2016. Felix Kuhnert, Christoph Stürmer: Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität. September 2016
- Rogers E M, 1995. Diffusion of innovations. 4<sup>th</sup> 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>