



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

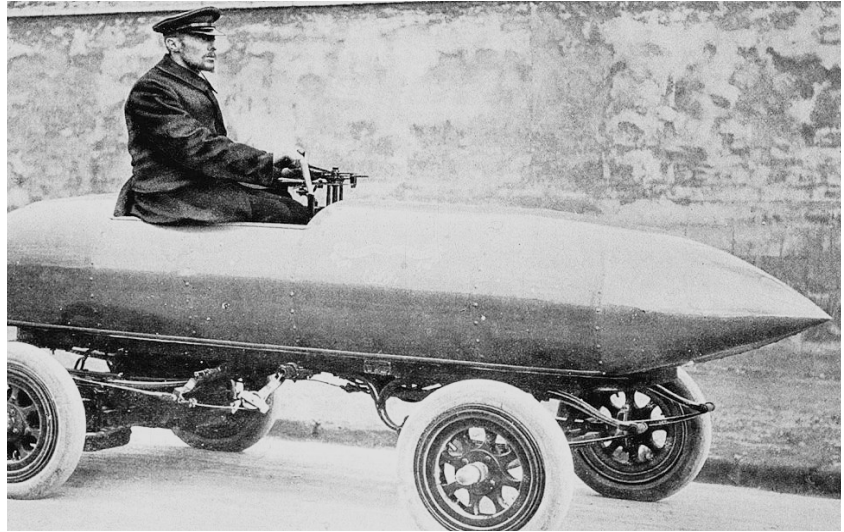
Elektromobilität

Fokus Personenwagen



Entwicklung

Der Elektroantrieb für Personenwagen ist alles andere als neu. Mangels einfacher und kostengünstiger Speicherung des «Treibstoffes» Strom konnte sich diese über 100-jährige Technik aber bislang nicht breit durchsetzen. Derzeit erfährt die Elektromobilität jedoch ein Comeback.



Der Wagen Jamais Contente von 1899 wurde von zwei 25 kW Elektromotoren angetrieben.

Elektromotoren besitzen einen hohen Wirkungsgrad von über 90% und entfalten ihre Leistung bereits bei geringer Drehzahl. Diesbezüglich also ein idealer Antrieb für Autos, wenn nicht die Speicherung der Elektrizität sehr aufwändig wäre. Denn die Reichweite der Fahrzeuge ist von der Kapazität der Batterien abhängig; diese sind schwer und teuer. Die letzten Jahre brachten der Speichertechnik Fortschritte, sodass Elektrofahrzeuge gute Chancen haben, sich weiter zu verbreiten.

Lokal

In der Schweiz sind Elektrofahrzeuge nach wie vor selten. Im Kanton Zürich ist der Anteil derzeit am höchsten. 2016 waren 2 % der Neuzulassungen ausschliesslich elektrisch angetriebene Fahrzeuge, 3,5 % betrug der Anteil der Hybridfahrzeuge. In seinem langfristigen Szenario «Vision Energie 2050» geht der Kanton Zürich von einem Anteil von 15 % rein elektrisch betriebene Personenwagen und 15 % Hybridfahrzeugen aus.

International

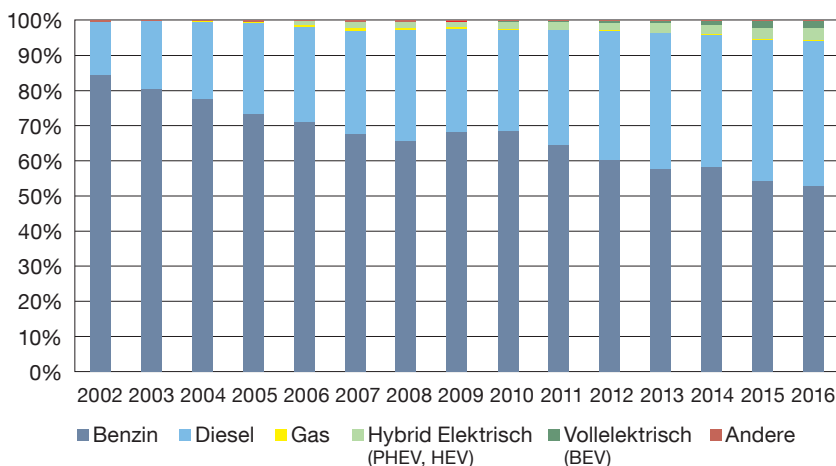
Elektrofahrzeuge, eingeschlossen die Hybrid-Varianten, haben derzeit eine hohe mediale Aufmerksamkeit. Je nach Studie wird ihnen in den nächsten 20 Jahren einen Anteil von bis zu einem Drittel an den neu zugelassenen Personenwagen prognostiziert. Die tatsächliche Entwicklung ist jedoch schwierig vorauszusagen. Sie ist insbesondere abhängig von den Kosten, der Nutzbarkeit und den Rahmenbedingungen. Im Jahr 2015 wurden weltweit bei 80 Millionen verkauften Fahrzeugen eine halbe Million Elektrofahrzeuge verkauft. Dies entspricht einem Marktanteil von rund einem halben Prozent und einem Plus gegenüber dem Vorjahr von 60 %.

Zwei- und Dreiräder

2015 wurden 66 000 E-Bikes verkauft, was einem Anteil von 20 % am gesamten Veloabsatz entspricht. Die Zuwachsrate gegenüber dem Vorjahr lag bei 15 %. Dieser Trend ist im Sinne des kantonalen Ziels zur Veloförderung: Rund die Hälfte der mit E-Bikes zurückgelegten Kilometer ersetzen Strecken, die sonst mit konventionellen Autos zurückgelegt würden.

Im Schweizer Nischenmarkt der Kleinmotorräder mit jährlich rund 800 verkaufte Fahrzeugen, liegt der Marktanteil bei Neuzulassungen elektrisch betriebener Fahrzeuge dank der Schweizer Post bei 40 %. Im bedeutenderen Segment der Motorräder mit über 20 000 Neuzulassungen pro Jahr, unter 1 %.

Antriebsarten neuzugelassener Personenwagen



Geschichte der Elektromobilität

1821

Idee des Elektromotors

Michael Faraday zeigt erstmals Bewegung durch Elektromagnetismus.

1881

Das erste Elektrofahrzeug

Der Franzose Gustave Trouvé stellt das Elektrofahrzeug «Trouvé Tricycle» mit Elektromotor und Blei-Akku vor.

1899

Rennwagen mit Elektroantrieb

Als erstes Strassenfahrzeug erreicht der Elektro-Rennwagen «La Jamais Contente», Übername «Torpedo», eine Geschwindigkeit von mehr als 100 km/h.

1911

Verbrennungsmotor verdrängt Elektroauto

Vor mehr als 100 Jahren verloren Elektrofahrzeuge ihre Stellung im Automarkt. Otto- und Dieselmotoren waren in der Folge über Jahrzehnte bestimmend.

2003

Comeback der Elektromobilität

Kleine unabhängige Firmen produzieren Elektrofahrzeuge. Auch grosse Automobilhersteller dringen mit serienreifen Autos in den e-Fahrzeugmarkt ein.

2013

Elektromobilität heute

Zahlreiche Serienmodelle sind auf dem Markt verfügbar. Der Anteil an Elektrofahrzeugen und Modellen mit Hybridantrieb steigt.

Kurz und Bündig

Elektroautos sind alltagstauglich, denn im Durchschnitt fährt eine Person 40 km pro Tag, was mit Elektroautos problemlos möglich ist. Trotzdem kann der geringere Aktionsradius ein Nachteil sein, wenn das Auto auch auf Langstrecken eingesetzt werden soll. Mit erhöhter Kapazität der **Batterien** und einer auf die Bedürfnisse von Elektrofahrzeughalter ausgerichtete **Ladeinfrastruktur** könnte dieser Nachteil behoben werden (Seite 4, 5). An Schnellladestationen kann eine Volladung in einer halben Stunde erfolgen, zu Hause über Nacht.

Elektroautos sind heute auch über die **Lebenszykluskosten** teurer als mit Treibstoff betriebene Autos, werden aber zusehends günstiger (Seite 5).

Die **Treibhausgasbilanz** eines Elektrofahrzeugs hängt im Wesentlichen vom Strommix ab. Sie ist in der Regel jedoch besser als die eines herkömmlichen Fahrzeugs, in der Schweiz derzeit sogar deutlich. Andere Faktoren wie die Belastung des Strassennetzes bleiben jedoch gleich (Seite 6, 7).

Elektrofahrzeugtypen

Battery Electric Vehicle (BEV): ausschliesslich elektrisch angetriebene Fahrzeuge, ohne Verbrennungsmotor.

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): PHEV kombinieren einen Elektro- und einen Verbrennungsmotor. Bei klassischen PHEV handelt es sich um Hybridfahrzeuge, bei welchen die Batterie über das Elektrizitätsnetz aufgeladen werden kann. PHEV mit Range Extender (RE) sind Elektrofahrzeuge, deren Reichweite mit einem Verbrennungsmotor (via Generator und Elektromotor) gesteigert wird.

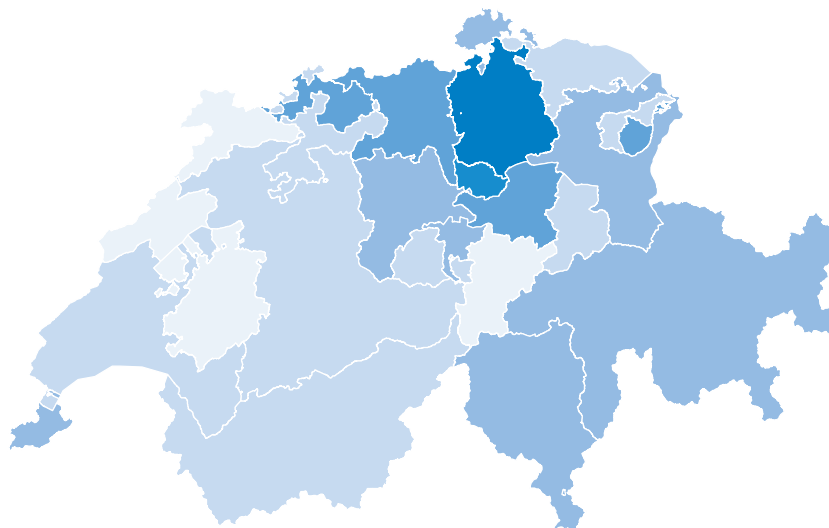


Nicht als Elektrofahrzeuge gelten

Hybrid Electric Vehicle (HEV): hybridelektrische Fahrzeuge mit Elektro- und Verbrennungsmotor, aber ohne externe Lademöglichkeiten für die Batterie.



Anteil neuzugelassener Elektroautos (BEV, PHEV) im Jahr 2015
(0,8 bis 3,5%, je dunkler desto höher der Anteil)



Kosten und Technologie

Die Batterie ist der Schlüssel zum Erfolg der Elektroautos; bereits heute sind die Kosten nahezu konkurrenzfähig.



Eine Ladestation an einer Strassenlaterne in Schlieren (Quelle: BMW/Thomas Buchwalder)

Fahrzeugkosten

Ein Vergleich der Gesamtkosten über acht Jahre und 160 000 km zeigt, dass Autos mit Elektroantrieb nur noch unwesentlich teurer sind als mit Erdöl betriebene Autos (vgl. Abbildung unten). Im Vergleich mit konventionellen Personenwagen sind E-Autos in der Anschaffung teurer, bei den Betriebskosten dagegen günstiger. Die Energiekosten sind stark abhängig von den Lademodi: Home Charging ist naturgemäss kostengünstiger als das beschleunigte Laden an kommerziellen Stationen. Auch die Wartungskosten liegen tiefer als bei Verbrennungsmotoren, weil die Fahrzeuge ohne Kupplung, Getriebe und Motorenöl verkehrstauglich sind.

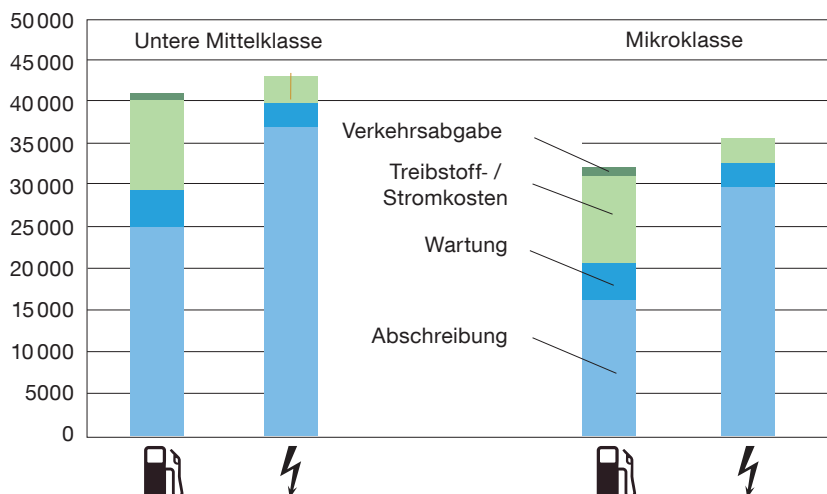
Batterie

In BEV, also in «echten» Elektrofahrzeugen, kommen Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz wie sie in Smartphones und Laptops üblich sind. Diese Batterien sind die teuersten Komponenten in den Autos und sie

limitieren gleichzeitig die Reichweite – der wichtigste Faktor für den Erfolg dieser Fahrzeugart. Forschung und Entwicklung verbessern die Batterien periodisch, allerdings ohne sprunghafte Effekte. Wie in anderen industriellen Produkten wirkt sich der Skaleneffekt bei der Produktion von Elektrofahrzeugen und ihren Komponenten stark aus. Auch deshalb werden die spezifischen Kosten von Batterien in den nächsten Jahren sinken. Allerdings bleibt die Energiedichte von Batterien um Größenordnungen (zwischen 60- und 80-fach) unter jener von herkömmlichem Treibstoff.

Die Internationale Energieagentur (IEA) rechnet bis 2040 mit Batteriekosten um die Fr.100 pro kWh, was ambitioniert erscheint im Vergleich zu den heutigen Kosten von rund Fr. 300. Inwieweit sich die Anschaffung eines Elektroautos rechnet, ist auch vom Öl- und Strompreis abhängig.

Gesamtbetriebskosten in Fr. im Kanton Zürich



Stromumwandlung

Alle Batterien arbeiten mit Gleichstrom (DC), das Stromnetz dagegen führt ausschliesslich Wechselstrom (AC). Notwendig ist deshalb eine Umrichtung. Bei DC-Ladestationen ist der Gleichrichter in die Station integriert, bei AC-Ladestationen dagegen ist ein Gleichrichter im Fahrzeug notwendig. Das Laden mit Wechselstrom ist auf eine Ladeleistung von 43 kW begrenzt, mit Gleichstrom liegt das Leistungsspektrum zwischen 20 kW und 50 kW, künftig sogar bis zu 350 kW. Derart hohe Leistungen können je nach vorhandenen Stromleitungen Netzverstärkungen bedingen.

Parkplätze

Wenn Parkplätze nachträglich mit Ladestationen ausgerüstet werden, entfällt ein Grossteil der Installationskosten auf Tiefbauarbeiten. Um diese Kosten zu reduzieren, sollten infrastrukturelle Kriterien vor rein verkehrlichen beachtet werden. Der frühzeitige Einbezug des örtlichen Stromversorgungsunternehmens ist deshalb wichtig. Auch bei Parkplätzen in Neubauten können mit einer frühzeitigen Planung Kosten reduziert werden. Auch wenn nicht sofort eine Ladestation gebaut wird, so können bereits die Verlegung entsprechender Leerrohre und Installationen im Verteilerschrank die Kosten gegenüber einem nachträglichen Einbau nahezu halbiert werden.

Steckertypen

Um die Steckertypologie zu vereinheitlichen, hat die EU den Typ-2-Stecker für eine AC-Ladung und das CCS-Stecksystem (Combined Charging System) für den DC-seitigen Anschluss standardisiert. Der EU-Entscheid lässt erwarten, dass künftig alle neuen Elektroautos, auch jene aus nicht europäischen Staaten, diesem Standard entsprechen. In der Schweiz

sind diesbezüglich keine Anforderungen geplant, was bedeutet, dass neue Ladestationen mit den verbreiteten Stecksystemen kompatibel sein sollten.

Bezahlsystem

Der Bezüger identifiziert sich und bezahlt pro Energiemenge, Zeiteinheit (also pro Parkdauer) oder pauschal. mittels Mobiltelefon, Bank- oder Kundenkarte. Bei kontakloser Datenübertragung kommen verschiedene Technologien wie RFID, NFC, QR oder SMS in Frage.

Ausblick Ladestationen

Einige Autokonzerne aus Deutschland und den USA planen gemeinsam den Aufbau eines Schnellladenetzes in Europa. Unabhängig der Automarke können alle Fahrzeuge, die mit dem Ladestandard CCS ausgerüstet sind, die Schnellladestationen nutzen. Die Stationen sollen mit einer Leistung von bis zu 350 kW ausgerüstet werden, was deutlich mehr ist als die bisher eingesetzten Stationen mit 150 kW. Gestartet wird mit rund 400 Stationen, bis 2020 sollen es mehrere Tausend sein. Häufige Schnellladungen (vor allem bei sehr hohen oder tiefen Ausstemperaturen) bedingen jedoch eine schnellere Alterung der Batterien.

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich haben in der Stadt Schlieren die ersten Ladestationen an Strassenleuchten errichtet. Mit diesem Pilotprojekt sollen die bestehenden Infrastrukturen genutzt und dadurch Kosten gespart werden.

Die Ladung von Batterien, zum Beispiel mittels kabellosem induktiven Laden oder durch Batterie-Wechsel, haben bislang nur marginale Bedeutung.

Die vier Auflademodi

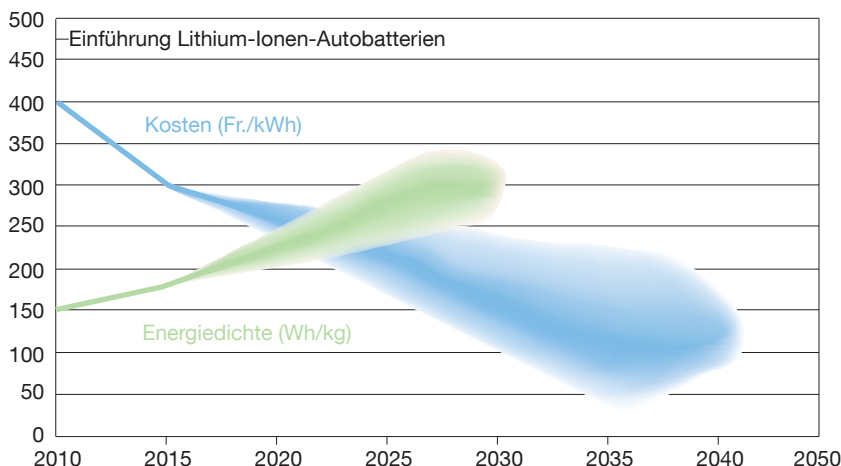
Home Charging: Aufladen am Wohnort oder in dessen unmittelbarer Nähe während 8 bis 12 Stunden mit Wechselstrom. Die 30 kWh Batterie eines Kleinwagens kann mit einer Leistung von 3,7 kW (230 Volt/16 Ampere) in 8 Stunden voll aufgeladen werden. Damit liessen sich rund 150 km fahren. Mit einer 11 kW Station (400V/16A) kann in der gleichen Zeit die 90 kWh Batterie eines Wagens aus der Luxusklasse aufgeladen werden.

Workplace Charging: Aufladen am Arbeitsplatz mit Wechselstrom während 6 bis 8 Stunden und einer Leistung zwischen 3,7 kW und 22 kW. Eine 30 kWh Batterie ist bei 22 kW nach eineinhalb Stunden wieder voll aufgeladen, für eine 90 kWh Batterie werden vier Stunden benötigt.

Leisure Charging: Aufladen während des Einkaufens oder in der Freizeit mit Wechselstrom während 1 bis 2 Stunden mit Leistungen zwischen 22 kW und 43 kW. Eine 30 kWh Batterie könnte bei einer Ladeleistung von 43 kW in einer Dreiviertelstunde voll aufgeladen werden, für 90 kWh sind zwei Stunden notwendig.

Fast Charging: Schnellladung mit Wechselstrom oder Gleichstrom während 10 bis 30 Minuten und mit Leistungen zwischen 22 kW und 350 kW. Eine 30 kWh Batterie liess sich bei einer 350 kW Ladeleistung in weniger als 10 Minuten aufladen, was schon fast dem heutigen Tankverhalten entspricht. Bei 90 kWh braucht es eine Viertelstunde.

Kosten und Energiedichte von Lithium-Ionen-Autobatterien



Umwelt und Gesellschaft

Die Umweltrelevanz von Elektrofahrzeugen ist nicht nur durch deren Technologie bestimmt. Auch das Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer bestimmt die langfristige Umweltwirkung.



Ein serienmässig hergestelltes Elektrofahrzeug beim Laden der Batterie.

Das Elektrofahrzeug gilt als «sauber», was aber nicht durchwegs für die Herkunft des Stromes und die Herstellung der Batterie gilt. Insofern verlagert sich die Umweltbelastung vom Betrieb des Fahrzeugs zur Stromerzeugung und zur Batterieproduktion.

Umweltbilanz

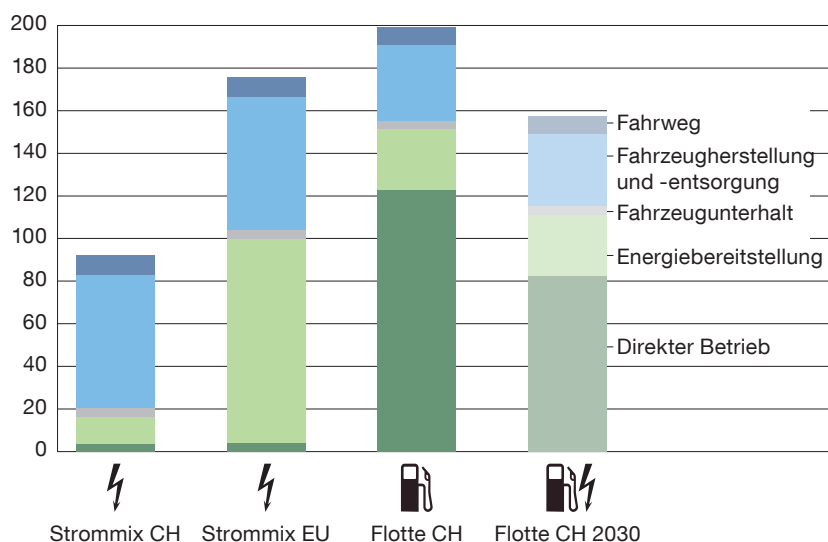
Die Treibhausgasbilanz eines Elektrofahrzeuges, auch im Vergleich zu fossil betriebenen Personenwagen, ist ganz wesentlich durch den Strommix bestimmt. Bei Strom aus erneuerbaren Quellen oder, wie heute in der Schweiz, aus Wasserkraft und Kernenergie, stossen Elektrofahrzeuge 50 % weniger Treibhausgase aus als ein mit Treibstoff betriebener Personenwagen. Mit dem Strommix der EU beträgt die Reduktion lediglich 10 %. Ein beträchtlicher Teil der Umweltbelastung von Elektroautos fällt bei der Herstellung und Entsorgung an, was zu einer Verlagerung der Umweltschäden in Länder mit Batterieproduktionsstätten respektive mit Abbaustandorten

von Rohstoffen führt. Während durch den schadstoffarmen Betrieb und die geringe Lärmbelastung die Siedlungsräume aufgewertet werden, können an Orten mit Produktionsstätten die lokalen Feinstaubbelastungen zunehmen.

Strombedarf

Würde die bestehende Flotte von 4,5 Mio. Personenwagen in der Schweiz rein elektrisch betrieben, müssten dafür rund 15 TWh Strom produziert werden (Annahmen: Heutige durchschnittliche Verkehrsleistung von 100 000 Mio. Personenkilometer und einem spezifischen Bedarf von 15 kWh/100 km). Heute werden in der Schweiz rund 60 TWh benötigt. Der Strombedarf würde sich demnach um einen Viertel erhöhen. Während gegenwärtig die Aufwendungen für Treibstoff ins Ausland abfliessen, könnte die Nutzung von Strom für die Mobilität die lokale Wertschöpfung erhöhen und einen volkswirtschaftlichen Nutzen stiften.

Treibhausgasbilanz von Personenwagen (CO₂-eq/Pkm)



Akzeptanz

Der geringe Aktionsradius gilt als Hemmnis für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen; auch wenn die durchschnittliche Kilometerleistung pro Tag und 90 % der mit dem Auto zurückgelegten Etappen unter 40 km liegen. Oft erreichen die Autos die von den Herstellern deklarierten Reichweiten in der Praxis nicht. Analog zu den Verbrennungsmotoren liegen die effektiven Reichweiten in der Praxis rund 20 bis 30 % tiefer. Mit erhöhter Kapazität der Batterien könnte dieser Nachteil behoben werden. Heute sind Fahrzeuge mit Reichweiten um die 150 km verbreitet. Je nach Fahrzeugkategorie können im Alltag bei voll aufgeladener Batterie zwischen 100 und 400 km gefahren werden. Doch deren Maximierung ist nicht das einzige Ziel der Entwicklung. Denn mit höheren Reichweiten steigt das Gewicht der Batterien, was den Verbrauch wachsen lässt. Zudem sind die Grenzkosten des zusätzlichen Kilogramms Gewicht – also des zusätzlichen Kilometers – sehr hoch. Das Optimum könnte zwischen 300 km und 400 km liegen. Was etwa dem zehnfachen der täglichen durchschnittlichen Kilometerleistung in der Schweiz entspricht.

Verhaltensänderung

Das Leistungsspektrum der Elektrofahrzeuge könnte zu einem modifizierten Mobilitätsverhalten in der Bevölkerung führen. Denn die geringere Reichweite und die – aufgrund der schweren Batterien – kleineren Ausmasse der Elektroautos führen im Durchschnitt zu kleineren Fahrzeugen. Auf der anderen Seite sind mit der stärkeren Verbreitung von Elektroautos Rebound-Effekte zu erwarten. Denn der Betrieb der Fahrzeuge ist im Gegensatz zur Anschaffung kostengünstig, sodass finanzielle Anreize fehlen, auf deren Gebrauch zu verzichten. Zu-

dem entlastet das ökologische Image der E-Autos das «Gewissen» der Fahrzeugnutzer, was erfahrungsgemäss zu Mehrfahrten führt.

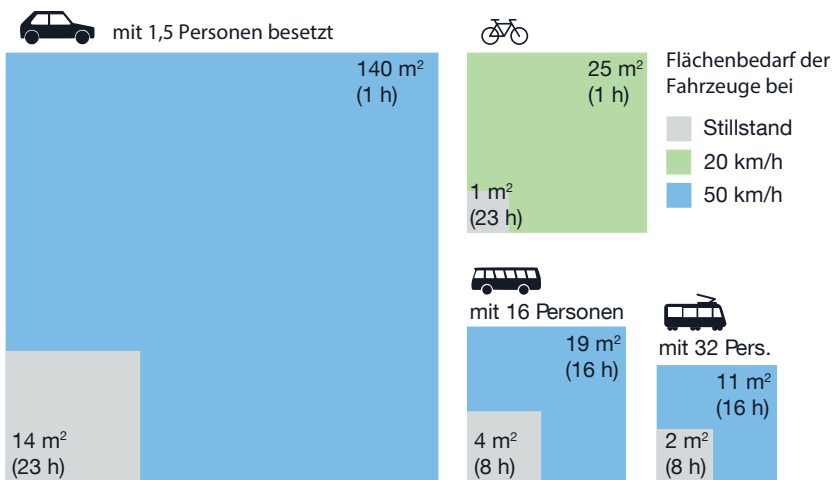
Steuern

Im Kanton Zürich sind, wie in anderen Kantonen, Fahrzeuge mit ausschliesslich elektrischem Antrieb von der kantonalen Motorfahrzeugsteuer gänzlich befreit. Dem Bund entgeht gleichzeitig die Mineralölsteuer. Damit auch Elektroautos zum Unterhalt, Neubau und zur Instandsetzung der Verkehrsinfrastruktur beitragen, hat das Schweizer Stimmvolk mit Zustimmung zum Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrsfonds (NAF) auch einer Abgabe für Elektrofahrzeuge zugestimmt.

Raum- und Verkehrsplanung

Sofern die Energie aus erneuerbaren Ressourcen stammt, leistet Elektromobilität einen Beitrag zur klimaverträglicheren Abwicklung von Autofahrten. Sie führt jedoch nicht zu einer Entlastung des Strassennetzes, auch der hohe Flächenbedarf durch die Parkierung der Fahrzeuge und durch die geringen Besetzungsgrade erfährt keine wesentliche Änderung. An dieser Stelle setzt die Raumplanung an: Nutzungsmischung und massvolle Verdichtung führen zu einer Verkürzung der Wege, zu besseren Möglichkeiten für den ÖV und damit zu einer Vermeidung unnötiger Autofahrten. Durch den Ausbau von Infrastrukturen für den Fuss- und Veloverkehr und durch die Verbesserung von ÖV-Angeboten ergeben sich im urbanen Raum grosse Potenziale für eine klimafreundliche Mobilität. Die Ziele der kantonalen Raum- und Verkehrsplanung bleiben deshalb auch im Zeitalter der Elektromobilität aktuell.

Flächenbedarf städtischer Verkehrsmittel in m²



Impressum

Bezug: AWEL, Abteilung Energie, 8090 Zürich

Tel. 043 259 42 66, www.awel.zh.ch

Titelbild: Elektroauto an einer Ladestation (Quelle EKZ)

Zürich, April 2017