

Das Elektroauto unter der Lupe

Die Meinungen zum Batteriefahrzeug gehen auseinander, doch wie viel wissen wir wirklich über seine Vor- und Nachteile?

Alles Wissenswerte rund um die Strome, wie sie funktionieren, was sie können, was sie bringen. VON HERBIE SCHMIDT (TEXT) UND JASMINE RUEEGG (INFOGRAFIK)

Alle reden über das Elektroauto, doch nur wenige wissen wirklich genug, um sich ein umfassendes Urteil über die neue Antriebstechnologie bilden zu können. Ist es so gut für die Umwelt, wie viele sagen? Ist es zu kostspielig? Kann man es bequem aufladen? Muss man sich vom geliebten Schaltgetriebe verabschieden? Setzt man sich im Stromelektrosmog aus und riskiert einen Stromschlag oder den Verbrennungstod? Sollte man jetzt in die E-Mobilität einsteigen oder die Entwicklung lieber noch skeptisch abwarten?

In der 130-jährigen Automobilgeschichte ist das Elektroauto eine noch junge Spezies, deren Entwicklung erst seit rund 20 Jahren rasch voranschreitet. Da kann man leicht den Überblick über Pro und Contra verlieren. Fassen wir die wichtigsten Fakten zusammen.

Die Batterie ist der Energiespender

Der Akku ist das zentrale Element aller batterieelektrischen Autos. Er ist zugleich das schwerste Teil im E-Auto und wird idealerweise flach im Unterboden des Wagens verbaut, wo er für einen tiefen Schwerpunkt des Autos und damit für bessere Fahrstabilität sorgt. Das Mehrgewicht ist jedoch höher als die Ersparnis aus dem Wegfall eines Verbrennungsmotors mit vollem Tank und Abgasanlage.

Es gibt verschiedene chemische Zusammensetzungen für Batterien im Elektroauto. Derzeit wird stets Lithium verwendet, dazu entweder Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) oder Eisenphosphat (LFP). Solche Akkus arbeiten mit flüssigen Elektrolyten zwischen den Batteriepolen, lassen sich rasch aufladen und halten ihre Ladung bei Nichtbenutzung über eine lange Zeit. Sie sind jedoch brennbar. Und wenn sie erst einmal brennen, lassen sie sich schlecht löschen.

Anders als von vielen Experten bis anhin erwartet, halten Batterien in Elektroautos über die Jahre ihre Leistung erstaunlich gut. Die Hersteller garantieren in der Regel eine maximale Speicherleistung von 70 oder 80 Prozent nach einer gewissen Fahrleistung oder Nutzungsdauer. Ein Test der auf E-Mobilität spezialisierten Unternehmensberatung P3 mit 7000 gebrauchten E-Autos hat ergeben, dass der Kapazitätsverlust auch nach vielen Jahren und hoher Kilometerleistung im Schnitt bei bescheidenen 10 Prozent lag.

Im nächsten Entwicklungsschritt soll bis 2030 die sogenannte Feststoffbatterie eingeführt werden. Sie verfügt über eine höhere Leistungsdichte, weshalb Akkus künftig wesentlich kleiner und leichter sein werden.

Die wichtigsten Komponenten

Zu den wichtigsten Bestandteilen eines Elektroautos gehören die E-Motoren. Ein solcher Motor genügt, wenn nur

eine Achse angetrieben werden soll. Für einen Allradantrieb sind mindestens zwei Motoren eingebaut, meist je einer an jeder Achse. Es gab in der frühen Automobilgeschichte jedoch auch eine Bauweise mit vier Elektromotoren, je einer an jedem Rad. Heute gibt es verschiedene Autos mit vier E-Motoren, doch sind sie nicht direkt am Rad angebracht – das Risiko für Beschädigungen während der Fahrt, etwa bei einer Randsteinberührung, wäre zu gross.

Ein klassisches Getriebe mit fünf oder mehr Gängen ist bei Elektroautos nicht eingebaut, da ihre Leistungsentfaltung sehr linear verläuft. Daher lassen sich Getriebe bei Stromern oft platzsparend in das Motorgehäuse integrieren. Besonders leistungsstarke Stromer, etwa der Porsche Taycan, verfügen über ein Zweiganggetriebe, das automatisch schaltet. Eine Handschaltung entfällt.

Zur Steuerung der Leistungsabgabe von der Batterie zum Antrieb ist eine ausgeklügelte Elektronik erforderlich, die sich auch auf die Reichweite und die Ladegeschwindigkeit auswirken kann. Als weiteres wichtiges Element ist eine Temperaturregelung für die Batterie eingebaut. Befindet sich diese für den Betrieb oder das Aufladen im richtigen Temperaturfenster, ergeben sich ein tiefer Verbrauch, eine hohe Reichweite und eine rasche Ladegeschwindigkeit. Immer öfter kommen Wärmepumpen zum Einsatz, die den Akku noch schneller in den idealen Temperaturbereich bringen.

So arbeiten die Organe zusammen

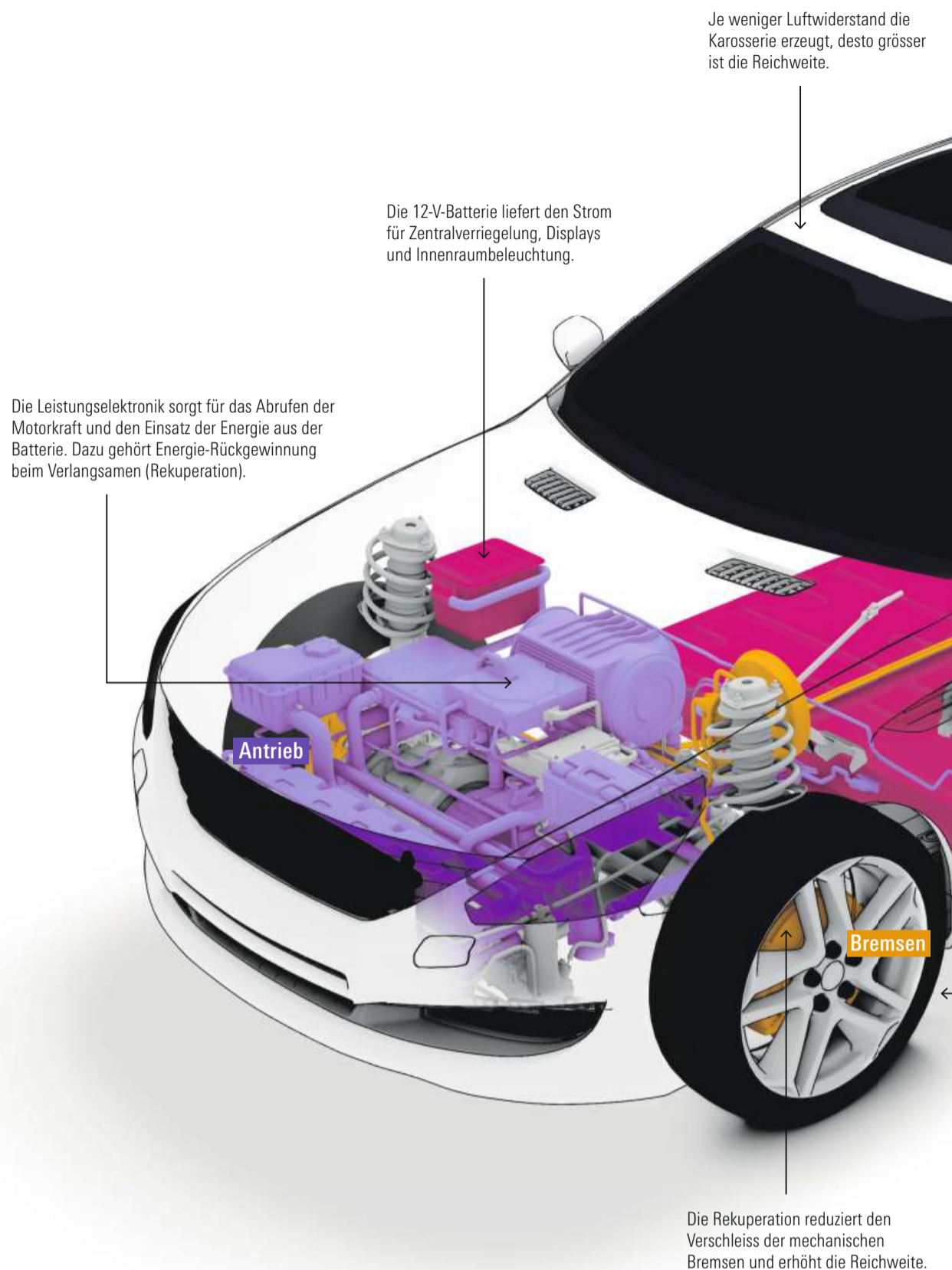
Viele Elektroautos haben ein Bordnetz mit einer Spannung von 400 Volt. Neuere Stromer bieten sogar 800 und mehr Volt. Damit ermöglichen sie höhere Ladegeschwindigkeiten und damit kürzere Aufladezeiten an der Ladesäule. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, bei höherer Bordspannung Kabel und Isolierungen mit deutlich geringerem Durchmesser einzubauen, was sich positiv auf das Fahrzeuggewicht und damit die Reichweite auswirkt.

Ein entscheidender Faktor für den Erfolg eines Elektroautos am Markt ist die Ausgestaltung der Betriebssoftware. Viele Hersteller entwickeln eigene Software, einige Konzerne wie Renault, Stellantis und Volvo nutzen Google Automotive. Dort kommen auch Apps aus dem Google-Play-Store zum Einsatz. Nicht mit der Betriebssoftware zu wechseln ist die Smartphone-Anbindung ans Infotainmentsystem, etwa per Google Auto oder Apple Carplay.

Insbesondere im Softwarebereich haben chinesische Elektroautohersteller mit spielerischen und intuitiven Lösungen in letzter Zeit mehr Kunden überzeugen können als europäische oder amerikanische Konzerne – hier gibt es Nachholbedarf.

Schutz gegen Cyberkriminalität gibt es in allen modernen Fahrzeugen, nicht nur bei Stromautos. Mit der Einführung

Ein Elektroauto hat sechsmal weniger Teile als ein Verbrenner



vernetzter Fahrzeuge mit Anbindung ans Internet und den oft verwendeten Zugangssystemen per Smartphone sind neue Herausforderungen an die Cybersicherheit entstanden.

Die Autohersteller haben ihre Bemühungen, ihre Fahrzeuge gegen Hackerangriffe und Datendiebstahl zu schützen, deutlich gesteigert. Die Unternehmensberatung McKinsey schätzt, dass der Bedarf an Cybersicherheitslösungen von 4,3 Milliarden Dollar im Jahr 2020 auf 9,7 Milliarden Dollar bis 2030 ansteigen wird.

Rollen und Bremsen spart Energie

Reifen haben einen grossen Einfluss auf die Reichweite von Elektroautos. Doch müssen Stromer nicht zwingend mit speziellen Reifen für E-Fahrzeuge ausgerüstet sein. Spezialpneus für Batterieautos haben oft grosse Durchmesser mit schmalen Laufflächen. Der Rollwiderstand kann aber auch über die Gummimischung reduziert werden. Ein konventioneller Sommerreifen hat einen Rollwiderstand zwischen 7 und 9 kg/t. Eco- und Leichtlaufreifen kommen auf Werte von 6,5 kg/t und weniger. Damit lassen sich Reichweitengewinne bis 4 Prozent erzielen. Die Preise für solche Leichtlaufpneus sind dabei nicht höher als für konventionelle Reifen.

Bei Elektroautos werden die Bremscheiben und -zangen nicht so stark beansprucht wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Da Stromer über die Möglichkeit verfügen, beim Verlangsamen

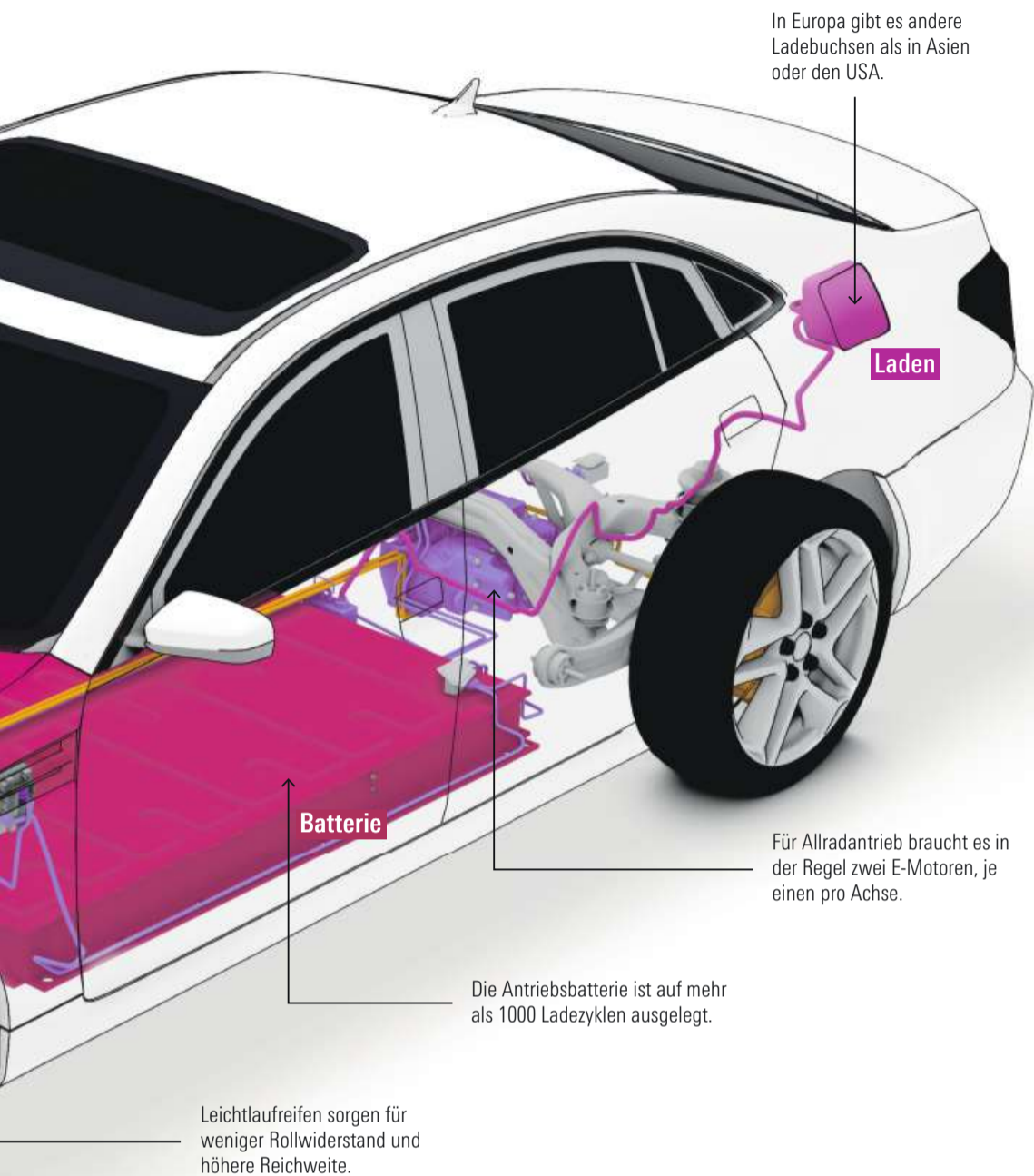
Energie aus den E-Motoren zurückzugewinnen (Rekuperation), werden die mechanischen Bremsen entlastet und haben so einen geringeren Verschleiss als bei einem Verbrenner.

Tanken an der Dose

Es gibt neben der normalen Haushaltsteckdose – sie sollte nur als Notlösung gewählt werden – zwei Varianten, den Akku eines Elektroautos aufzuladen. Praktisch ist ein fest installierter Ladepunkt, eine sogenannte Wallbox. Sie liefert Wechselstrom mit einer Ladeleistung von 11 oder 22 Kilowatt und einer Schutzschaltung. Dafür ist ein spezielles Ladekabel erforderlich, das entweder direkt an der Wallbox angeschlossen ist oder im Fahrzeug mitgebracht wird. Die Ladebuchse ist in Europa üblicherweise siebenpolig, man spricht vom Typ-2-Stecker.

Für die Installation einer Wallbox gibt es insbesondere für E-Auto-Fahrer mit Mietwohnung noch Hindernisse, da nur der Wohneigentümer solche Ladepunkte beauftragen kann. Doch es fehlt in manchen Fällen an der Bereitschaft, die Liegenschaft mit Wallboxen aufzuwerten.

Die zweite Möglichkeit ist die bequemere: das Aufladen an einer Schnellladesäule, wie man sie an Autobahnraststätten, Tankstellen oder speziellen Ladeparks findet. Hier sorgt Gleichstrom für hohe Ladeleistung von 100 bis 350 Kilowatt und kurze Ladepausen. Bezahl wird an solchen Schnellladern mit Kreditkarte oder speziellen Ladekarten



der Anbieter. Die Preise für den schnellen Strom liegen im Bereich von Benzin/Diesel und damit deutlich über denen von Wallboxen, bei denen Hausstromtarife gelten. Nötig ist dafür eine Vorbereitung des Fahrzeugs mit einer neupoligen Ladebuchse (CCS Typ 2).

Der Nachteil: Die Preise an Schnellladesäulen sind variabel wie beim Hausstrom, jedoch erschliessen sie sich erst während des Ladens, etwa bei der Echtzeitabfrage in einer Smartphone-App. Eine gesetzliche Regelung zur transparenten Preisangabe der Stromtarife zum Voraus wie bei Benzin und Diesel an der Tankstelle gibt es bis jetzt noch nicht.

So grün ist ein E-Auto

Vollkommen emissionsfrei fahren auch Elektroautos nicht, obwohl ihnen ein Auspuff und Abgase fehlen. Während der Fahrt fallen bei E-Fahrzeugen etwa Emissionen wie Feinstaub vom Reifenabrieb, von den Bremsbelägen oder von der Strasse aufgewirbeltem Staub an, dies in der gleichen Grössenordnung wie bei Autos mit anderem Antrieb. Doch steigt die Feinstaubemission mit der Grösse und dem Gewicht der batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV), die normalerweise schwerer sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Betrachtet man die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs, weisen Autos, die mit Strom fahren, eine bessere Ökobilanz auf als ein Verbrenner. Das bestätigt eine Studie des Paul-Scherrer-Instituts, berech-

net für die Jahre 2018 und 2040, wenn schärfere Umweltnormen bestehen werden. Die Wissenschaftler berücksichtigten für den Vergleich der verschiedenen Antriebsarten die Herstellung, die Nutzung und das Recycling der Fahrzeuge.

In den Werten enthalten sind die graue Energie bei der Akku-Herstellung, sämtliche Umwelteinflüsse und der durchschnittliche Strommix der Schweiz. Dieser hat einen Anteil von 75 Prozent erneuerbaren Energien, in anderen europäischen Ländern fällt die Bilanz für Elektroautos schlechter aus. Dies dürfte sich mit dem Zubau erneuerbarer Stromquellen in den kommenden Jahren ändern.

Wer sich für den erwartbaren CO₂-Ausstoss eines spezifischen Elektroautos interessiert, kann mit dem Klimabilanzrechner des TCS berechnen lassen, welche Emissionen über die Lebensdauer des Fahrzeugs anfallen.

Auf die Dauer lohnt es sich

Elektroautos verfügen über geringere laufende Kosten als Verbrenner. Die Steuerbelastung ist bei Stromfahrzeugen in der Schweiz je nach Kanton unterschiedlich. Für alle E-Autos gilt in der Schweiz die Importsteuer von 4 Prozent des Kaufpreises. Hinzu kommen kantonale Fahrzeugsteuern, je nach Kanton gibt es eine vollständige Befreiung, Teilbefreiung oder Rabatte. Einige Kantone bieten zusätzliche Förderprogramme. Der Kanton Tessin beispielsweise gewährt eine Pauschalprämie von

4000 Franken für den Kauf eines Elektroautos und 500 Franken Zuschuss für die Installation einer Ladestation.

Bei der Versicherung ergeben sich je nach Gesellschaft, Fahrzeug, Fahrerprofil und Wohnsitz Unterschiede wie bei Autos mit Verbrennungsmotor. Der Dienstleister Comparis hat errechnet, dass die Prämien für Elektroautos im Schnitt bis zu 22 Prozent günstiger als bei Benzin- oder Dieselmotoren ausfallen.

Auch die Unterhaltskosten liegen bei E-Fahrzeugen tiefer als bei Verbrennern. Die vorgegebenen Service-Intervalle sind in der Regel länger, weil es weniger Verschleisssteile als bei Benzin- und Dieselmotoren gibt. Zudem werden die mechanischen Bremsen (Beläge und Scheiben) aufgrund der im E-Auto eingebauten Rekuperation deutlich geringer belastet. Ölwechsel und rostende Abgasanlagen fallen ebenfalls weg, auch wenn gewisse Betriebsflüssigkeiten für Kühlung, Getriebe usw. ersetzt werden müssen.

Insbesondere für Firmen mit Fahrzeugflotten sind die tieferen laufenden Kosten und Gebühren ein Grund, den derzeit noch etwas höheren Anschaffungspreis von Elektroautos in Kauf zu nehmen. Zusätzliche Investitionen wie Wallboxen werden durch die derzeit im Vergleich zu Treibstoff tiefen Stromkosten amortisiert.

Dieser Vorteil könnte aber verlorengehen, wenn der für E-Autos verwendete Strom dereinst höher besteuert wird als der Hausstromtarif.

Pannen sind nicht immer trivial

Noch ist das Durchschnittsalter der Elektroautos auf der Strasse deutlich geringer als das der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Deshalb überrascht es wenig, dass Stromer deutlich weniger pannenfällig sind als Verbrenner. Hinzu kommt, dass E-Autos viel weniger Einzelteile aufweisen, es fehlen etwa Treibstoff- und Öltank oder die gesamte Abgasanlage.

Der TCS verzeichnet für 2023 insgesamt gut 7500 Pannenhilfe-Einsätze bei Elektroautos, das sind jedoch nur 2,4 Prozent aller Fahrzeugpannen des Jahres. Der grösste Teil der Pannenfälle betraf laut TCS-Statistik defekte Reifen. Darauf folgt die 12-Volt-Batterie, die den Strom für Zentralverriegelung, Displays und Innenraumbeleuchtung liefert. Entlädt sie sich im Stand, bleiben die Türen von aussen verschlossen, und ein Wegfahren wird unmöglich. Deutlich weniger defektanfällig ist der zentrale Akku, der für die Antriebsleistung sorgt. Zudem kommt es bei Stromern viel seltener zu Fahrzeugbränden als bei Verbrennern und Hybridfahrzeugen.

Stromer müssen keine Toaster sein

Die ersten in Grossserie hergestellten Elektroautos gaben sich äusserlich als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb zu erkennen. Es war den Autoherstellern wichtig, zu zeigen, dass die Fahrzeuge über eine fortschrittliche Technik verfügten. Aus diesem Grund gaben sie ihren Karosseriedesignern den Auftrag, die Aussenhaut der Stromer besonders progressiv und windschlüpfig zu gestalten. Fahrzeuge der nuller Jahre wie der Mitsubishi i-MiEV und der Nissan Leaf waren von weitem als Elektroautos zu erkennen.

Diese Philosophie wurde im Laufe der Jahre aufgegeben. Die Gestaltung der E-Fahrzeuge unterscheidet sich von Verbrennern heute oft nur durch das Fehlen von Auspuffrohren und die Verkleidung der Front ohne Kühlergrill, da unter der vorderen Haube kein Verbrenner mehr arbeitet. Zudem ist die Aerodynamikentwicklung so weit fortgeschritten, dass auch eckigere Karosserieformen keinen grossen Luftwiderstand mehr erzeugen.

Dem Geschmack der Automobilkunden folgend, entstanden in den 2010er Jahren vor allem grosse und schwere Elektrofahrzeuge im Stile von SUV. Mittlerweile hat sich das Interesse der Autobauer jedoch von den grossen Wagen hin zu kleinen und kompakten E-Autos verlagert. Das Resultat dieser neuen Fokussierung sind die derzeit in rascher Abfolge präsen-

tierten Kompaktwagen für den täglichen Einsatz im urbanen Raum.

E-Autos werden erschwinglicher

Bisher waren Elektroautos als Neuwagen teurer als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Sie wurden in geringeren Stückzahlen produziert, und gewisse Komponenten wie Batterie und Elektronik waren aufwendiger in der Herstellung. Derzeit aber wandelt sich das Bild. Angetrieben von strengeren Normen für den gesamten CO₂-Ausstoss der Hersteller, den sogenannten Flottenverbrauch, und Importeure, steigern die Autobauer die Stückzahlen für E-Fahrzeuge und senken damit die Stückkosten. Denn um die für 2025 eingeführte Senkung der Flottengrenzwerte von 118 auf 93,6 g CO₂ pro Kilometer zu erreichen, müssen deutlich mehr BEV neu zugelassen werden als bisher.

Gleichzeitig fällt der Preis der Antriebsbatterien für Elektroautos weiterhin. Prognosen für 2030 gehen davon aus, dass der Preis pro Kilowattstunde Batteriekapazität auf 45 Dollar sinken wird.

In der Folge werden die Anschaffungspreise für neue Elektroautos günstiger und erreichen im Einzelfall bereits das Niveau vergleichbarer Verbrenner. Zudem dürften einige Hersteller den Verkauf ihrer Batteriefahrzeuge durch günstige Preise zusätzlich ankurbeln, um teuren CO₂-Strafzahlungen zu entgehen.

Dies wirkt sich auch auf das Preisniveau gebrauchter Stromer aus. Aufgrund immer leistungsfähigerer und günstigerer neuer Elektroautos steigt das Angebot an E-Auto-Occasionen kontinuierlich. Insbesondere bei grossen E-Autos wie dem Porsche Taycan oder dem Audi E-Tron werden Preisreduktionen von bis zu 50 Prozent gegenüber dem Neuwagenpreis möglich, schätzt etwa die Occasionsplattform Autoscout24.

Der Preisverfall wirkt sich auf die Restwerte für E-Autos aus. Wer vor wenigen Jahren einen neuen Stromer kaufte, muss mit einem tieferen Restwert rechnen als bei einem vergleichbaren Verbrennerauto. Darunter leiden auch Leasingfirmen und Garagisten, die Fahrzeuge nach Vertragsende zu einem Preis zurücknehmen müssen, der über dem Marktwert liegt.

Die Wende ist längst angelaufen

Elektroautos sind Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor schon jetzt in vielem überlegen. Dabei stehen sie aber noch am Anfang ihrer rasch voranschreitenden Entwicklung. Rund 130 Jahre nach dem Beginn der Vorherrschaft des Verbrenners findet weltweit zunehmend ein Umdenken in Richtung Elektromobilität statt. Zwar warten noch viele Kunden vor dem Kauf eines neuen Stromers die Entwicklung ab, doch die Bereitschaft zum Erwerb eines E-Autos steigt, wie eine Studie der indischen Unternehmensberatung Tata Consultancy Services zeigt.

Befragt wurden gut 1300 Vertreter der Elektroautohersteller, Ladesäulenlieferanten, Flottenkunden und Konsumenten aus 18 Ländern. Die Studie ergab, dass weltweit 6 von 10 Verbrauchern ein E-Auto für ihren nächsten Kauf als wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich ansehen. Die Bereitschaft ist in den USA mit 72 Prozent deutlich höher als etwa in Japan (31 Prozent). Doch sehen 60 Prozent der Verbraucher die Ladeinfrastruktur als grosse Herausforderung. Für die meisten Elektrofahrzeughersteller ist das Fehlen einer geeigneten Ladeinfrastruktur das grösste Hindernis für das Wachstum des Marktes.

Der Ausbau des Netzes von öffentlichen Ladestationen erfolgt tatsächlich nicht in der gleichen Geschwindigkeit wie die Neuzulassungen von E-Autos. Bemühungen der Hersteller, auf eigene Rechnung Ladeparks zu bauen, sind allerdings begrenzt. Tesla hat mit dem weltweiten Netz von Superchargern die Pionierrolle übernommen, die deutsche Ioniq arbeitet mit Unterstützung von BMW, Mercedes, VW, Ford und Hyundai an einem Ausbau in Europa. Weitere Autokonzerne halten sich noch zurück oder hoffen auf staatliche Initiativen.