

Automobile Trends und Flottenmanagement II

Elektrofahrzeuge vs. Verbrenner – ein Vergleich

Oft wird darüber gestritten, ob Elektroautos, Verbrenner und unter diesen der Diesel oder der Benzin, umweltfreundlicher, praktischer und kostengünstiger wären. Alle drei Modelle haben Vor- und Nachteile.

› Regula Heinzelmann

Elektromotoren wandeln elektrische in mechanische Energie um. Magnetische Kräfte sorgen für ein Drehmoment, das im Gegensatz zu verbrennungsmotorischen Antrieben von der ersten Drehzahl an verfügbar ist. Ein Elektromotor ist kompakt und hat laut TCS einen wesentlich besseren Wirkungsgrad als der Verbrenner.

Elektromotor noch nicht ideal

Grund für die hohe Effizienz des E-Motors ist die Tatsache, dass die Energie nicht thermodynamisch umgewandelt werden muss, sondern direkt verwendet wird. Ausserdem kann die Bewegungsenergie des rollenden Autos durch Rekuperation in die Batterie zurückgeführt werden.

Es gibt heute noch keinen idealen Elektromotor. Einige Autohersteller benutzen verschiedene Systeme oder kombinieren diese. Als Trend gilt, dass magnetfreie elektrische Maschinen, also (FSM und ASM), gegenüber permanenterregten Synchronmaschinen (PSM) bevorzugt werden, weil sie umweltfreundlicher und zudem weniger abhängig von den Rohstoffpreisen sind.

Kostenvergleiche

Elektroautos sind günstiger und dennoch leistungsfähiger geworden, meldet der ACS. Heute bekommt man einen Kleinwagen mit einer Reichweite von 200 bis 250 Kilometer bereits ab 20 000 Franken. Andererseits enthalten Elektroautos weniger Verschleisssteile. Die höheren Anschaffungskosten im Vergleich mit einem ähnlich ausgestatteten konventionellen Modell lassen sich über die günstigeren Betriebskosten eines Elektroautos (Strom vs. Sprit, kein Motorenöl, viel weniger Verschleisssteile) refinanzieren.

Die Energiekosten von Elektroautos können bei stark schwankenden Energiepreisen um 10 bis 70 Prozent niedriger sein. Und je nach Fahrzeugklasse sind die Wartungskosten 20 bis 45 Prozent günstiger als bei einem Verbrenner. Eine TCS-Berechnung belegte 2023, dass die tieferen Treibstoff- und Servicekosten von Elektrofahrzeugen, trotz der stark gestiegenen Strompreise, während einer Nutzungsdauer von zehn Jahren deren höhere Neupreise nach einer gewissen Laufleistung kompensieren.

Je höher die Laufleistung ist, umso grösser ist demnach das Einsparpotential der

Treibstoffkosten von Elektrofahrzeugen. Für Elektroautos bezahlt man Treibstoffkosten von zirka vier bis sechs Franken pro 100 Kilometer. Benzin oder Diesel-fahrzeuge ergeben ungefähr doppelt so hohe Treibstoffkosten (zirka 8–12 CHF pro 100 km).

Gebrauch im täglichen Verkehr

Die durchschnittliche Strecke zur Arbeitsstelle beträgt in der Schweiz rund 35 Kilometer pro Tag. Die Reichweiten von Elektroautos sind für die meisten Alltagsansprüche demnach absolut ausreichend. Bei den meisten aktuellen Elektroautos variiert die Reichweite je nach Modell zwischen rund 220 Kilometer (27 kWh Batterie) und 610 Kilometer (75 kWh Batterie).

Die reale Reichweite ist allerdings auch von der Witterung (Kälte), der Topografie, der Fahrweise (Autobahn) und dem Gewicht des Fahrzeugs abhängig. Seit Januar 2023 gibt es in der Schweiz bereits mehr als 9100 öffentliche Ladestationen und es werden immer mehr.

Nach ADAC-Angaben beträgt die ideale Temperatur für den Akku zwischen 20 und 40 Grad Celsius. In diesem Bereich

funktioniert die Elektrochemie am besten und der Akku kann seine volle Energiekapazität entfalten. Diese Temperatur erreicht man im Winter natürlich nicht so leicht. Um einen vollständig ausgekühlten Akku von mehreren hundert Kilogramm Masse wieder aufzuwärmen, wird viel Energie benötigt: Je grösser der Akku und je kälter die Aussentemperatur, desto mehr Energie ist nötig.

Brennbarkeit

Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) hat darüber eine Studie erstellt. Während herkömmliche Fahrzeuge aufgrund von Kraftstofflecks, elektrischen Problemen oder mechanischen Defekten in Brand geraten können, weisen Elektrofahrzeuge andere, spezifische Risiken auf, hauptsächlich bezogen auf ihre Batterien. Aktuelle Untersuchungen belegen, dass E-Autos statistisch gesehen keine höhere Brandgefahr haben als ihre benzin- oder dieselbetriebenen Pendanten.

Die Ursachen für Brände bei E-Fahrzeugen unterscheiden sich in einigen Aspekten von denen bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen. Eine der Hauptursachen sind Probleme mit der Batterie, die zu einem sogenannten Thermal Runaway führen können. Dieser Zustand entsteht, wenn eine Zelle des Lithium-Ionen-Akkus überhitzt und die Wärme auf benachbarte Zellen übergeht. Die Zellen können auch explodieren, was alles zu einer Kettenreaktion und einem schwer löschbaren Brand führen kann. Dabei entstehen in kurzer Zeit sehr grosse Rauchmengen.

Emissionen «Well to Wheel»

Bei der Lebenszyklus-Analyse werden die CO₂-Emissionen, die bei der Produktion des jeweiligen Fahrzeugs anfallen, hinzugerechnet. Das Elektroauto, so die ACAC, schleppt einen CO₂-Rucksack mit ins Leben, der deutlich grösser ist als



der von Autos mit einem Verbrennungsmotor. Schuld daran hat die energieaufwendige Produktion der Batteriezellen. Im Fahrbetrieb baut das Elektroauto den Rucksack ab – je sauberer der Betriebsstrom hergestellt wird, umso schneller. Die CO₂-Bilanz des ADAC ergibt, dass der CO₂-Nachteil von Batterieautos ab Fahrleistungen von 45 000 bis 60 000 Kilometern ausgeglichen wird.

Auch der deutsche ADAC hat sich mit dem Thema befasst. Um allen Antriebskonzepten gerecht zu werden, wird im ADAC-Ecotest der Energieverbrauch von der Kraftstoffquelle bis zum Rad (Well to Wheel = WTW) berücksichtigt. Nur so können Elektro- oder Plug-in-Hybridfahrzeuge fair mit Gas, Benzin- und Dieselfahrzeugen verglichen werden. Dabei werden die am Fahrzeug gemessenen CO₂-Emissionen und die Emissionen,

die für die Bereitstellung des jeweiligen Kraftstoffs/Stroms entstehen, addiert.

Gemäss Elektro Schweiz sind nach rund 30 000 Kilometern die höheren Treibhausgas-Emissionen aus der Produktion eines Elektroautos kompensiert. Eine neue Studie der Technischen Universität Eindhoven verglich das Tesla-Modell 3 mit einem Mercedes C 220d. Der Tesla erzeugt pro Kilometer 91 Gramm CO₂-Äquivalent, also rund 65 Prozent weniger als der Mercedes. Das heisst, dass der Break-even-Punkt in diesem Vergleich bei 30 000 km erreicht ist. Eine CO₂-Lebenszyklusanalyse der internationalen Nachrichtenagentur Reuters kommt auf ähnliche Ergebnisse. Die Well-to-wheel-Bilanz verdeutlichte gemäss Untersuchung, dass der Break-even-Punkt in vielen Fällen zwischen 24 000 und 32 000 km erreicht wird.

Vergleich Elektroautos, Benziner und Diesel im Überblick

	Elektroautos	Benziner	Diesel
Lebensdauer	› Noch nicht abschliessend zu beurteilen	› Durchschnittlich 200 000 km	› 200 000 bis 400 000 km
Kosten	› Anschaffungskosten relativ hoch › Weniger Ersatzteile nötig › Stromkosten je nach Erzeugung	› Anschaffungskosten niedriger, aber mehr Ersatzteile nötig	› Anschaffungskosten niedriger, aber mehr Ersatzteile nötig › Premium-Diesel tendenziell teurer als Benzin
Umweltfreundlichkeit	› Bei Produktion hoher CO₂-Verbrauch, amortisiert sich während des Gebrauchs	› CO₂-Ausstoss beim Gebrauch › Relativ hoher Benzol- und CO₂-Ausstoss	› CO₂-Ausstoss beim Gebrauch etwa gleich wie Benzin, aber weniger Benzol und CO₂
Recycling	› Recyclingfähige Batterien › Auto kann recycelt werden	› Benzin ist unwiderruflich verbrannt › Auto kann recycelt werden	› Diesel ist unwiderruflich verbrannt › Auto kann recycelt werden

Die Art der Stromerzeugung ist bei der Beurteilung des Elektroautos ohnehin sehr wichtig. Wenn dieser, wie es in Deutschland oft vorkommt, aus umweltschädlichen Windrädern stammt, verringert das natürlich die Umweltfreundlichkeit. Das deutsche Umweltbundesamt – dort plädiert man bekanntlich für sogenannte erneuerbare Energien – publizierte eine Studie über die Ökobilanz von Wind- und Solaranlagen. Diese ergab, dass selbst im ungünstigsten Fall die vor allem in der Herstellungsphase entstehenden Treibhauspotenziale pro erzeugter Kilowattstunde Wind- und Photovoltaikstrom um ein Vielfaches unterhalb konventioneller Stromerzeugungsarten liegen.

Gegenüber früheren Ökobilanzstudien wird deutlich, dass der Fortschritt bei der Anlagentechnik dazu beitrug, das bereits sehr geringe Treibhauspotenzial weiter zu reduzieren.

Am besten mit Solaranlage

Aber klimafreundlich ist noch lange nicht menschen- oder umweltfreundlich: Einige Auswirkungen der Windräder auf Menschen und Umwelt sind laut der

Umweltbundesamt-Studie mangels ausreichender Daten noch unbekannt. Dazu verschandeln Windräder und Solaranlagen in der Natur die Landschaft. Sinnvoll ist es hingegen, dass Elektroautos mittels einer Solaranlage im Haus aufgeladen werden oder wenn man solche auf Autobahnen oder Lärmschutzwänden einrichtet und damit gleich die Fahrzeuge versorgt.

Elektroautos tragen insbesondere auf innerstädtischen Strassen massiv zur Senkung des Verkehrslärms bei, weil sie beim Manövrieren (Ein- und Ausparkieren) kaum Lärm verursachen. E-Motoren kann man auch nicht aufheulen lassen, indem man hochtourig fährt.

Die fehlenden Geräusche sind aber eine oft unterschätzte Gefahr für Fussgänger und Radfahrer. Diese verlassen sich, oft das Smartphone im Fokus, zunehmend auf das Gehör, wenn sie beispielsweise auf die andere Strassenseite wechseln wollen. Ein leises Elektrofahrzeug kann für diese Leute und natürlich auch für Schwerhörige Gefahr für Leib und Leben bedeuten. Ob neue Vorschriften hinsichtlich künstlich erzeugter Fahrzeuggeräusche sinnvoll sind, wird in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert.

Nachhaltigkeitsaspekte

Die Förderung von Rohstoffen für den Bau von Elektroautos ist häufig mit Umwelt- und Sozialproblemen verbunden, heisst es bei ADAC. Zu nennen sind ein oft hoher Energiebedarf, das eventuelle Entstehen saurer Grubenwässer, Konflikte um begrenzte Wasservorkommen sowie schlechte Arbeitsbedingungen in Minen. Ein trauriges Beispiel ist die Kinderarbeit bei der Kobaltförderung im Kongo. In den letzten Jahren versuchten die deutschen Autofirmen, ihre Lieferanten zu hohen Umwelt- und Sozialstandards zu verpflichten. Ein Nachhaltigkeitsaspekt ist: Das Erdöl für Verbrennungsmotoren wird letztlich unwiderruflich verbraucht, die Rohstoffe einer Batterie hingegen können recycelt werden, siehe unten.

Zu berücksichtigen ist aber auch, woher ein Auto kommt, nämlich der Transport, was auch für Verbrenner gilt. Ein Containerschiff kann bis zu 14 Liter Treibstoff pro Stunde brauchen, häufig Schweröl oder sogar Ölschlamm. Angenommen, das Schiff ist mit 7000 Autos beladen, macht pro Auto und Stunde zwei Liter Schweröl, für einen Tag also 48 Liter. Wenn ein Schiff 20 Tage unterwegs ist, verbraucht es 960 Liter Schweröl pro

Auto. Mit dieser Menge könnte das Auto mehr als 13 000 Kilometer fahren.

Lange Lebensdauer hat Priorität

Die Entwicklung von Fahrzeugen mit längerer Lebensdauer wird laut ACS zu einer Priorität. Hersteller wie Toyota und Mercedes-Benz entwickeln modulare Fahrzeuge, bei denen Teile leicht ausgetauscht oder aufgerüstet werden können, wodurch die Lebensdauer der Fahrzeuge verlängert wird. Dies spiegelt den Trend wider, Autos zu produzieren, die langlebiger und anpassungsfähiger an zukünftige Technologien sind.

Die Lebenszyklusanalyse erfasst alle Umweltauswirkungen, die mit einem Pro-

dukt verbunden sind. Im Fall des Autos geht es meistens um den CO₂-Ausstoss – und in jüngster Zeit oft um den Vergleich zwischen konventionell und elektrisch angetriebenen Modellen. Zum Lebenszyklus eines Autos zählen die Herstellung des Fahrzeugs, aber auch die Produktion und die Anlieferung der eingesetzten Materialien sowie die Nutzung und die Entsorgung. Vor dem Hintergrund der aktuellen Marktsituation mit stark zunehmendem Anteil von Elektroautos (BEV) stellt sich die Frage, wie nachhaltig alternativ angetriebene Modelle tatsächlich sind.

Autorecycling ist wieder Mode

Die Automobilindustrie hat sich laut ACS in den letzten Jahren entschlossen der

Kreislaufwirtschaft verschrieben. Dieses Wirtschaftsmodell zielt auf die Reduzierung von Abfall und die Optimierung der Ressourcennutzung ab, was zunehmend in die Strategien der grossen Automobilhersteller integriert wird. Eine der grössten Herausforderungen für die Automobilindustrie ist das Recycling der Batterien von Elektrofahrzeugen, die kritische Materialien wie Lithium, Kobalt und Nickel enthalten.

Initiativen wie das «Refactory»-Projekt von Renault in Flins (Frankreich), veranschaulichen die massiven Anstrengungen zur Entwicklung innovativer Recyclingtechnologien, mit denen diese wertvollen Materialien zurückgewonnen und der Produktion wieder zugeführt werden können. Dies reduziert die Abhängigkeit

Insertat 1/2

vom Bergbau und verringert den ökologischen Fussabdruck. Die Refactory ist die erste europäische Fabrik der Kreislaufwirtschaft, die der Mobilität gewidmet ist. Eine weitere Firma, die eine neue Methode für Batterierecycling entwickelt hat, ist die Kyburz AG (siehe Interview ab Seite 6).

Neben den Batterien erforscht die Industrie auch die Integration von recycelten Materialien in die Fahrzeugproduktion. BMW plant beispielsweise, bis zu 50 Prozent recycelte Materialien in seinen zukünftigen Modellen zu verwenden, während Volvo sich verpflichtet, bis 2025 25 Prozent recycelte Kunststoffe zu verwenden. Diese Massnahmen zeugen von der Entwicklung der industriellen Praktiken hin zu einer nachhaltigeren Produktion.

Recycling von Autos wäre schon seit mehr als 30 Jahren möglich, damals gab es sogar Pläne, diese so herzustellen, dass einzelne Bestandteile sofort wieder verwendbar sind. Nur rentierte das offenbar nicht, sodass das Autorecycling für Jahrzehnte in den Hintergrund gedrängt wurde. An der Umweltmesse Ifat 2022 in München wurden nach längerer Zeit wieder mal Recyclingkonzepte für Autos präsentiert. Der ACS weist auf Studien hin, nach denen die Akkus viel länger halten als die Autos, in die sie verbaut wurden. Experten sprechen hier von mindestens 200 000 Kilometer. Danach werden die Batterien meist in einem zweiten Lebenszyklus als externer Stromspeicher genutzt.

Benziner vs. Diesel

Bei den Verbrennern gibt es oft die Diskussion, ob Benziner oder Diesel praktischer oder umweltfreundlicher sind. Da gibt es folgende Unterschiede:

- › Der Benzinmotor stösst deutlich mehr Benzol aus als Dieselmotoren. Diese Verbindung verursacht Krebs, Schläfrigkeit und Gehirnschmerzen.
- › Dieselmotoren arbeiten effizienter und schaffen einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Benzinmotoren. Im direkten Vergleich von zwei ähnlichen Fahrzeugen verursacht das Dieselfahrzeug weniger Kohlendioxid (CO₂).
- › Diesel-Pkw sind häufig schwerer, unter anderem weil der Dieseltreibstoff eine höhere Masse hat und Dieselmotoren zumeist schwerer sind. Dies führt dazu, dass Diesel-Fahrzeuge durchschnittlich kaum weniger CO₂ ausstossen, als Benziner.
- › Oft wird auch unterschlagen, dass ein Diesel beim Bremsen sofort, egal, wie viele Umdrehungen der Motor macht, die Kraftstoffzufuhr abschaltet. Das heisst, dass man im Gegensatz zu den Benzinern nicht in den Leerlauf schaltet, sondern je nach Gefälle und gewünschter Bremskraft einen/zwei Gänge herunter.
- › Aktuelle Euro-6d-Temp-Diesel stossen seit Jahren kaum noch Stickoxide aus. Das NOX-Problem ist gelöst, die Grenzwertüberschreitungen in Städten verursachen ältere Bestandsfahrzeuge. ‹‹
- › Dieselmotoren geben weniger Kohlenmonoxid an die Umwelt ab. Im Gegensatz zu CO₂, das ein für das Pflanzenwachstum unerlässlich ist, ist CO ein echter Schadstoff.



Weiterführende Links

- › www.energieschweiz.ch/mobilitaet/elektromobilitaet/
- › www.energieschweiz.ch/tools/ladeinfrastruktur-schweiz/
- › www.acs.ch/de/interessantes/CO2-lebenszyklusanalyse.php?
- › www.acs.ch/de/aktuell/meldungen/2024_6_Editorial_Fabien_Produit.php
- › www.acs.ch/de/interessantes/gibt-es-den-idealen-elektromotor.php?
- › www.homeandsmart.de/elektroautos-vorteile-nachteile
- › www.eobdcode.com/de/Zeitschrift/Was-ist-umweltsch%C3%A4dlicher%2C-die-Verschmutzung-durch-Diesel-oder-Benzin%3F/
- › www.gdv.de/gdv/themen/mobilitaet/dossier-elektromobilitaet/e-autos-elektroauto-braende-statistik-182792
- › www.weltderphysik.de/gebiet/technik/nachrichten/2009/dieselmotor-extrem-schadstoffarm/
- › www.co2online.de/klima-schuetzen/auto-co2-ausstoss/#c131037



Porträt



Regula Heinzelmann

Juristin und freischaffende Journalistin

Regula Heinzelmann studierte Rechtswissenschaften an der Universität Zürich und arbeitet seit 1984 als selbstständige Autorin mit Schwerpunkt auf wirtschaftlichen und juristischen Themen. Für Unternehmen verfasst sie PR-Texte und Vertragsmuster. Die freischaffende Journalistin wohnt in Dietikon und lebt zeitweise in Berlin.



Kontakt

rhz@bluewin.ch, www.heinzelmann-texte.ch