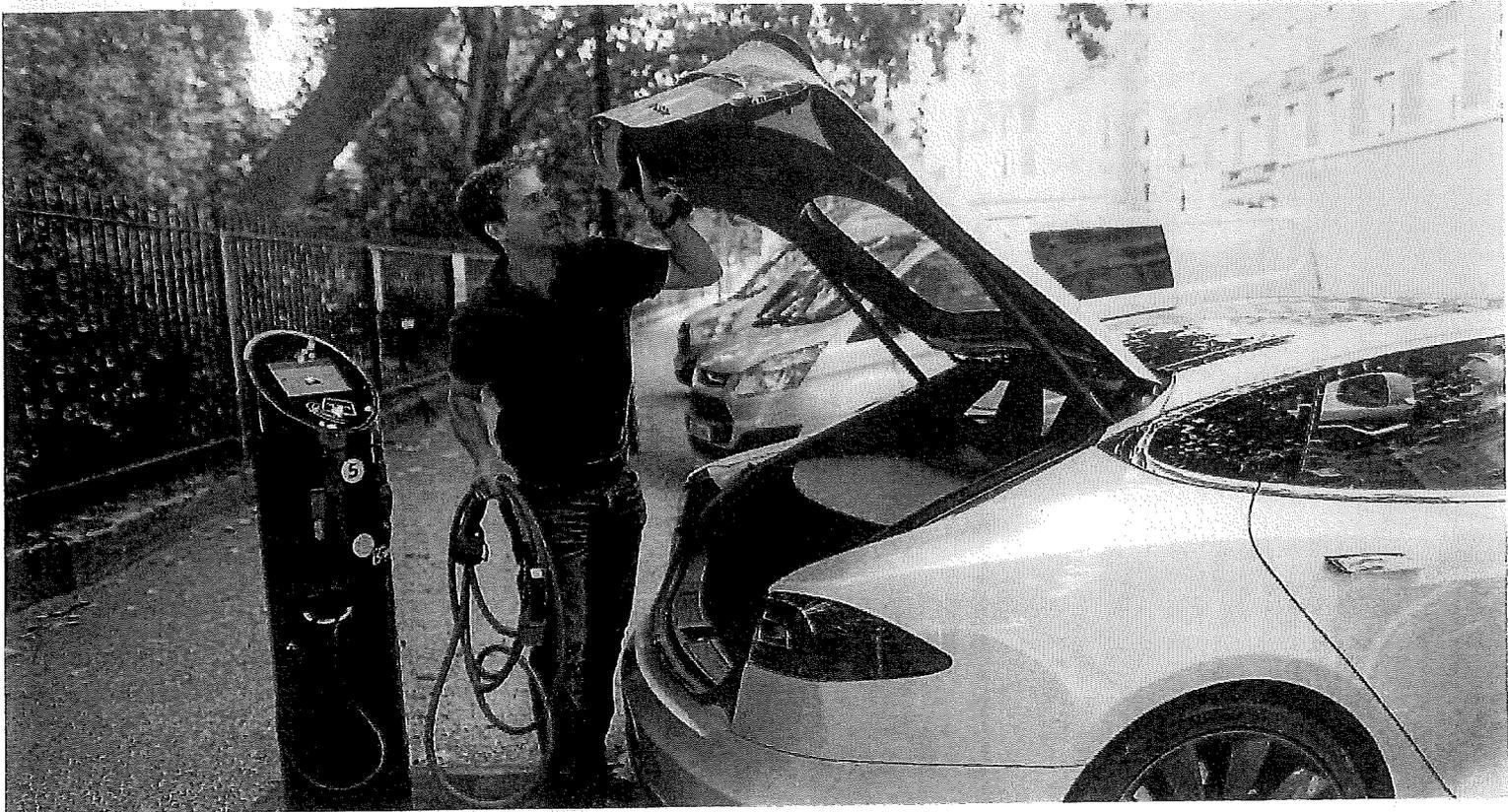


Energieverschwendung der Extraklasse

Die Elektromobilität ist alles andere als umweltfreundlich, dies belegte die *Weltwoche* in der letzten Ausgabe. Besonders schlecht schneiden E-Autos beim Ressourcenverbrauch ab: Wer mit Strom fährt, benötigt mehr als doppelt so viel Energie, als wenn er mit Benzin unterwegs wäre. Von Ferruccio Ferroni* und Alex Reichmuth



Leere Behauptungen: Tesla Model S beim Aufladen.

In Zeiten, in denen Industrie, Politik und Justiz versuchen, die Dieselkrise zu bewältigen, scheint es keine löblichere Fortbewegungsart zu geben als die mit Elektrizität. Diesen Eindruck erwecken zumindest all die Politiker- und Zeitungskommentare, die den Stromantrieb als bessere Alternative zum Verbrennungsmotor preisen. Elektroautos seien ökologischer und schonten die Ressourcen, so der Tenor. So propagierte der *Tages-Anzeiger* die E-Mobilität mit dem Argument, es brauche «einen effizienteren und sparsameren Umgang mit Energie». Bereits plant der Verein E-Mobil Züri, mitten in der grössten Schweizer Stadt ein Elektroauto-Rennen zu veranstalten. Wäre Gleiches mit Kraftstoff-Boliden geplant, würde man eine solche Idee wohl als Aprilscherz erachten.

In anderen Weltgegenden scheint man von den Vorteilen der E-Mobilität weniger überzeugt zu sein. So brummt die Verkehrsbehörde von Singapur letztes Jahr dem Käufer eines Tesla S eine Umweltsteuer von umgerechnet über 10 000 Franken auf – mit dem Hinweis, das Fahrzeug brauche besonders viel Energie, nämlich über 44 Kilowattstunden (kWh) Strom pro 100 Kilometer. Dabei benö-

tigt die elektrische Luxuskarosse aus dem Silicon Valley gemäss Katalog doch nur 18 kWh. Singapurs Behörden sind aber nicht etwa von allen guten Öko-Geistern verlassen, sondern mit einer Extraportion Sachverstand gesegnet. Denn Elektroautos verschlingen tatsächlich besonders viel Energie. Dies zeigt folgende Berechnung.

Tieferer Wirkungsgrad im Winter

Gemäss den Prospekten ihrer Produzenten benötigen gängige Elektroautos – vom Nissan Leaf über den VWE-Golf, den Mitsubishi i-MiEV bis hin zum neuen Tesla 3 – bloss rund 15 kWh Strom pro 100 km, manche etwas mehr, manche etwas weniger. Grundsätzlich weiss jeder Autofahrer, sei er nun mit Strom oder Brennstoff unterwegs, dass solche Herstellerangaben bloss Theorie sind. Die Werte werden unter Bedingungen ermittelt, die mit dem realen Strassenverkehr fast nichts gemeinsam haben: Die Prüfzyklen finden auf Rollen statt und sind von tiefen Geschwindigkeiten und sanften Beschleunigungen geprägt. Zusatzverbraucher wie etwa Scheinwerfer sind ausgeschaltet. Fahrtwind gibt es im Labor auch keinen. Laut

dem Forschungsverband ICCT (International Council on Clean Transportation) liegt der tatsächliche Verbrauch von Autos mit Verbrennungsmotor im Schnitt happige 42 Prozent über den offiziellen Angaben. Bei Elektrofahrzeugen klaffen Realität und Theorie aber noch viel weiter auseinander: Das deutsche Prüfunternehmen TÜV Süd ermittelte 2014 den Verbrauch einiger gängiger Elektroautos bei realen Testfahrten. Es zeigte sich, dass im Schnitt 31 kWh Strom für 100 km nötig sind, wenn man je zur Hälfte auf Landstrassen und auf Autobahnen fährt – also rund doppelt so viel als von den Herstellern angegeben.

Doch das ist erst die halbe Wahrheit, denn TÜV Süd testete bei Temperaturen von 23 Grad. Bei Kälte steigt der Strombedarf von Elektrofahrzeugen jedoch deutlich: Der Wirkungsgrad der Batterie ist dann viel tiefer, und die Fahrerkabine kann nicht wie bei konventionellen Autos durch die Abwärme des Verbrennungsmotors geheizt werden. Dänemarks Technische Universität zeigte 2016 anhand von Messungen, dass Elektroautos im Winter ein Drittel mehr Energie benötigen als im Sommer. Davon kann man ableiten, dass der Verbrauch bei

ganzjährigem Gebrauch in der Schweiz (Durchschnittstemperatur etwa neun Grad) 11 Prozent höher liegt als bei den Tests von TÜV Süd.

Beträchtliche Ladeverluste

Weiter sind Ladeverluste zu beachten. Hängt ein Elektroauto an der Steckdose, kann die Batterie nur einen Teil der übertragenen Energie speichern. Gemäss Tests, etwa des deutschen Wuppertal-Instituts, gehen zwischen 10 und 30 Prozent als Wärme verloren, wobei die Verluste bei Schnellladungen grösser sind. Wird bei tiefer Aussentemperatur geladen, kann der Verlust sogar fast 50 Prozent betragen. In diesem Artikel soll ein durchschnittlicher Ladeverlust von 20 Prozent angenommen werden.

Geht man also von einem Verbrauch von rund 31 kWh (gemäss TÜV Süd) bei Sommerbetrieb aus und addiert 11 Prozent bei Ganzjahresbetrieb und 20 Prozent wegen Ladeverlusten, müssen an den Ladestationen rund 41 kWh Strom bereitstehen, damit ein Elektroauto 100 Kilometer weit fahren kann. Der reale Verbrauch ist somit über 2,5-mal so hoch als von den Herstellern angegeben.

Für eine Bilanz ist nicht nur die Betriebsenergie massgebend, sondern auch diejenige für die Fahrzeugherstellung. Bei Elektrofahrzeugen ist insbesondere die Produktion der Batterien sehr energieintensiv. Wegen Erschöpfung müssen diese Batterien zudem nach einigen Jahren Betrieb ersetzt werden. Bei einer durchschnittlichen Nutzung des Fahrzeugs müssen mindestens 15 kWh pro 100 Kilometer Fahrt dazugerechnet werden. Batterien enthalten

zudem hochgiftige Stoffe, von denen auch bei konsequentem Recycling ein Teil entsorgt werden muss. Lithium, das besonders häufig verwendet wird, ist ähnlich toxisch wie schwach bis mittel radioaktive Stoffe. Das bedeutet, dass eine ebenso sichere Endlagerung wie bei Atomabfällen nötig ist (siehe Artikel rechts) – was mit beachtlichem Energieaufwand verbunden ist: Für 100 Kilometer Elektrofahrt kommen darum mindestens 3,5 kWh dazu. Insgesamt beträgt der Energieaufwand für Elektroautos auf Schweizer Strassen somit etwa 60 kWh pro 100 km.

Dieser Wert soll mit einem Auto mit Benzinmotor verglichen werden: Für dieses wird ein durchschnittlicher Verbrauch von acht Litern pro 100 Kilometer angenommen – bei realen Nutzungsbedingungen und ganzjährigem Gebrauch. Um diesen Verbrauch mit demjenigen von Elektromobilen in Relation zu setzen, muss man den Energiegehalt von Benzin heranzie-

hen und beachten, dass die Produktion von Strom mit beträchtlichen Energieverlusten einhergeht (Wirkungsfaktor für die Erzeugung von Elektrizität aus Primärenergie gemäss BP: 0,38). Insgesamt kann ein Liter Benzin so mit 3,4 kWh Strom gleichgesetzt werden. Ein Verbrauch von acht Litern entspricht somit rund 27 kWh Strom pro 100 km. Ein Zuschlag für Herstellung und Entsorgung des Benzinantriebs drängt sich nicht auf, da der entsprechende Energieaufwand vernachlässigbar klein ist. Ein Elektrofahrzeug mit 60 kWh pro 100 km verbraucht somit mehr als doppelt so viel Energie wie ein Fahrzeug mit Benzinmotor. Ein Vergleich mit einem Dieselfahrzeug dürfte noch schlechter ausfallen. Elektromobilität bedeutet also Energieverschwendung der Extraklasse.

Auch bei den anderen ökologischen Vorteilen handelt es sich weitgehend um leere Behauptungen. Sogenannt sauber sind E-Mobile nur, wenn man lediglich den Betrieb beachtet. Berücksichtigt man die Produktion des Stroms für diesen Betrieb, schneiden E-Mobile bezüglich Klimagasen nur dann klar besser ab als konventionelle Autos, wenn der

Strom weitgehend CO₂-frei erzeugt wird (vergleiche *Weltwoche* Nr. 32/17). Das ist in der Schweiz heute dank Wasser- und Atomkraft zwar noch der Fall. Es braucht aber viel Optimismus, zu glauben, dass die Versorgung auch nach dem beschlossenen Atomausstieg ohne fossilen Strom erfolgen kann. Ein Umstieg auf Elektrofahrzeuge im grossen Stil würde zudem den Stromverbrauch deutlich erhöhen. Die Empa geht davon aus, dass die Nachfrage um einen Fünftel steigt, falls alle Autos in der Schweiz elektrisch be-

trieben würden. Ohne den Einsatz von CO₂-intensivem Gas- oder Kohlestrom wäre diese Nachfrage kaum zu bedienen.

Wegen des erwähnten grossen Energieaufwands entstehen zudem bei der Herstellung der Batterien enorme Mengen an CO₂. Gemäss einer neuen schwedischen Studie müssen Besitzer eines Tesla Model S acht Jahre lang fahren, bis das CO₂, das bei der Batterienproduktion freigesetzt wurde, kompensiert ist. Nach acht Jahren Betrieb ist aber wohl längst ein erster Batterientausch fällig.

Die Grüne Partei verlangt, dass die Schweiz ab 2025 keine neuen Autos mit Verbrennungsmotor mehr zulässt, sondern nur noch Elektromobile. Der Schaden für die Umwelt wäre enorm, sollte Bundesbern dieser Forderung nachkommen.

*Ferruccio Ferroni ist diplomierte Ingenieur ETH.

Batterien

Lithium, ade!

Setzen sich Elektroautos im grossen Stil durch, gibt es ein Rohstoffproblem.

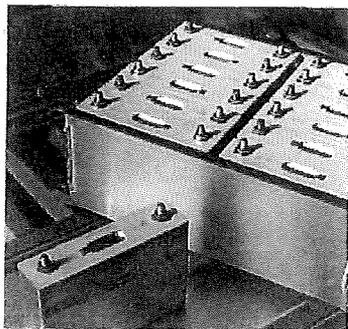
Bei Elektromobilen kommen meist Batterien auf Basis von Lithium zum Einsatz. Denn mit dem Alkalimetall kann verglichen mit dem Gewicht, am meisten Energie gespeichert werden. Auch Lithium-Batterien erschöpfen sich aber. Nach etwa 500 Ladevorgängen muss man sie ersetzen. Ein Set Batterien für den neu auf den Markt gekommenen Tesla 3 benötigt elf Kilogramm Lithium. Ist das Fahrzeug zwölf Jahre in Betrieb und legt es dabei total 150 000 Kilometer zurück, müssen die Batterien wegen der Erschöpfung zweimal ersetzt werden. Für die Lebensdauer eines Tesla sind somit 33 Kilogramm Lithium nötig.

Setzt sich die Elektromobilität durch, droht ein Rohstoffproblem: Gemäss der US-Behörde Geological Survey betragen die weltweiten Lithium-Reserven 14 Millionen Tonnen. Falls davon die Hälfte für Elektrofahrzeuge verwendet wird (Batterien werden auch für andere Zwecke benötigt), reichen die Reserven selbst bei idealem Recycling von Lithium nur für rund 400 Millionen Elektrofahrzeuge vom Typ Tesla (inkl. Batterienersatz). Derzeit kurven aber 1,2 Milliarden Autos auf den Strassen der Welt herum. Es entsteht also ein Engpass falls mehr als ein Drittel des motorisierten Verkehrs auf Elektroantrieb umstellt. Zwar könnte man Batterien anderen Typs verwenden. Der Aufwand für deren Produktion wäre aber noch höher als bei Lithium-Batterien, zudem stiege das Batteriegewicht. Die Energiebilanz der Elektromobilität würde nochmals deutlich schlechter.

Tödliche Gefahren

Dazu kommt, dass Lithium hochgiftig ist. Bereits bei einer Einnahme von wenigen Milligramm pro Tag drohen tödliche Gefahren für den Menschen. Setzt sich Elektromobilität breit durch, müssten jedoch mehrere Millionen Tonnen Lithium entsorgt werden, das nicht mehr recycelt werden kann. Der Aufwand, um eine sichere Isolation vor der Umwelt zu gewährleisten, ist vergleichbar mit dem für die Entsorgung schwach- bis mittelradioaktiver Abfälle. In der Schweiz müsste man wohl die Nagr mit der Endlagerung von Lithium beauftragen. Die entsprechend hohen Kosten hätten die Elektroautofahrer zu tragen.

Ferruccio Ferroni und Alex Reichmuth



Lithium-Ionen-Batteriezellen.

Lithium ist ähnlich toxisch wie schwach bis mittel radioaktive Stoffe.

Kurzschluss unter der Motorhaube

von Florian Schwab — Krampfhaft reden Politiker das Ende von Diesel und Benzin herbei. Sie feiern die Elektromobilität. Doch Tesla und Co. sind keineswegs so umweltfreundlich, wie behauptet. Und auch die Kunden sind noch nicht überzeugt.



Der Ruf nach der «Verkehrswende» ist älter als der sogenannte Dieselskandal. Aber erst die Abgastest-Manipulationen deutscher Autohersteller haben den Promotoren einer politisch

übergeführten Abkehr von benzin- und diebetriebenen Autos so richtig Schub verliehen. In Grossbritannien und Frankreich fordern die Umweltminister ein Verbot des Verbrennungsmotors ab 2040. Auch in Deutschland dreht die politische Empörung im roten Bereich: Umweltministerin Barbara Hendricks (SPD) will «endlich damit beginnen», die «Verkehrswende zu organisieren». Nicht nur die Wortwahl erinnert an die verordnete Energiewende. Derweil hat das Kraftfahrt-Bundesamt angekündigt, keine Porsche Cayenne mit Dreiliter-V6-Dieselmotor mehr zuzulassen.

Und in der Schweiz? Der grüne Nationalrat Ithasar Glättli verlangt per Motion, ab 2025 nur noch reine Elektrofahrzeuge zuzulassen. Doch ist Verkehrsministerin Doris Leuthard (VP) nicht auf diesen Zug aufgesprungen, aber mittlerweile fährt sie einen Tesla als politisches Statement und fiel kürzlich mit dem Vorschlag für den Pannestreifen für Elektromobile wie es ihrige zu öffnen. Auch die NZZ sieht das Ende des Verbrennungsmotors am Horizont: Zwar würden Dieselautos und Benziner noch länger auf den Strassen fahren, aber «der Wandel kommt, und er lässt sich nicht aufhalten – auch nicht mit Kartellen und Betrug».

Importierte Umweltbestimmungen

Das Bundesamt für Strassen (Astra) steht bereits mit der Gewehr bei Fuss, um dem dieseltreibenden Porsche Cayenne ebenfalls die Neuzulassung zu verweigern. Wie das Astra auf Anfrage erklärt, liegt dies in der Logik der Bilateralen I. Hier hat sich die Schweiz verpflichtet, europäische Typengenehmigungen zu übernehmen. Erteilt ein Fahrzeug nun in der EU die Zulassung, weil man beispielsweise im Nachhinein feststellt, dass gewisse Emissionen über den erlaubten Grenzwerten liegen, so zieht dies ein Verbot in der gesamten Europäischen Union und der Schweiz nach sich.

Die Schweiz «importiert» also die Umweltbestimmungen aus der EU. Und in der EU lautet das Zauberwort «Zero Emission» (null Emission). Aber was soll «null» überhaupt bedeuten? Bedingt durch die Sorge um den Klimawandel, besteht die politische Zielvorgabe



Politisches Statement: Energieministerin Leuthard fährt Tesla.

vor allem in einer Reduktion der Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂). Mit Vorschriften für den sogenannten Flottendurchschnitt sind Hersteller und Importeure gezwungen worden, die durchschnittlichen Emissionen pro Kilometer bis 2015 auf 130 Gramm zu senken. Bis 2021 soll der Flottendurchschnitt auf 95 Gramm pro Kilometer gesenkt werden und dann immer weiter. Für die Ermittlung des Durchschnitts werden Fahrzeuge mit besonders tiefen Emissionen in der EU dabei teilweise mehrfach gewichtet («Supercredits»).

Sowohl die EU als auch die Schweiz stellen bei den Flottendurchschnitten auf die gemessenen Abgase am Auspuff ab. Elektroautos

haben somit per Definition einen CO₂-«Ausstoss» von null – was sich auch im Marketing ausschlagen lässt: Renault hat seine Elektroflotte nicht umsonst «ZOE» getauft: «Zero Emissions!» Wer Tesla oder ein anderes Elektroauto fährt, ist grün und sauber – so lautet heute das Dogma der Verkehrspolitik. Tesla-Käufer glauben es gerne, während sie in ihrem Tesla S das Gaspedal durchdrücken und das zwei Tonnen schwere, 700 PS starke Gefährt in unter vier Sekunden von 0 auf 100 Kilometer pro Stunde katapultieren.

Bei genauer Betrachtung ist die Klassifizierung des Elektroautos als «Zero Emission»-Fahrzeug ungefähr gleich ehrlich wie eine Ab-

schaltvorrichtung für den Prüfstand. Das beginnt schon bei der einseitigen Festlegung auf das CO₂. Dabei wird zunächst einmal ausgeblendet, dass auch das Fahren mit Strom Energie konsumiert. Und nicht zu knapp. Tesla-Markenbotschafterin Leuthard musste gegenüber der *Schweiz am Wochenende* im Mai einräumen, dass ihr Auto so viel Strom verbraucht wie zwei Einfamilienhäuser. 9436 Kilowattstunden im Jahr 2016, um genau zu sein.

Wissenschaftler des Heidelberger Umwelt- und Prognose-Instituts (UPI) weisen in einer Studie von 2015 darauf hin, dass Elektroautos zusätzlichen Strombedarf verursachen. Im Interview mit dem *Tages-Anzeiger* schätzt der Nachhaltigkeitsdelegierte der Empa, Martin Gauch, dass der Stromverbrauch in der Schweiz um einen Fünftel (respektive 11 000 Gigawattstunden) zunehmen würde, wenn alle vier Millionen PKW elektrisch betrieben würden. Dabei will die Energiestrategie 2050 gerade das Gegenteil: Der Pro-Kopf-Verbrauch soll bis 2035 um 13 Prozent sinken.

Was sagen die Optimisten?

Auch der Enthusiast, der sein E-Mobil mit selbsthergestelltem Solarstrom auflädt, macht die Rechnung ohne den Wirt. In Zeiten, wo die erneuerbaren Quellen nicht die gesamte Produktion sicherstellen, ist es ökologisch einerlei, ob der selbstgenerierte Solarstrom in die Autobatterie fließt oder ob er anderweitig anstelle von fossilen Energieträgern zum Einsatz kommt.

Doch bleiben wir einen Moment beim CO₂. Ein Elektroauto ist nur so arm an CO₂ wie der Strom, mit dem es betrieben wird. Wie sieht also die CO₂-Bilanz der E-Mobile aus, wenn man die Stromproduktion berücksichtigt? Gemäss der erwähnten UPI-Studie verursachen Elektroautos nur unwesentlich weniger CO₂ als mit Benzin oder Diesel betriebene PKW (siehe Grafik unten links). Dies gilt aber nur, wenn man mit dem durchschnittlichen EU-Strom-

mix rechnet. Berücksichtigt man zudem, dass die zusätzlich anfallende Stromnachfrage den Strommix in Deutschland in Richtung Kohlekraft verschiebt, so liegen elektrisch betriebene PKW in ihren Gesamtemissionen «deutlich höher als Benziner und Diesel».

Andere Untersuchungen kommen zu weniger pessimistischen Befunden. Eine der Elektromobilität freundlich gesinnte amerikanische Lobbygruppe namens «Vereinigung besorgter Wissenschaftler» (Union of Concerned Scientists) hat aus US-Daten errechnet, dass Elektromobile über eine angenehme Lebensdauer von 250 000 Kilometern (man staunt!) nur etwa halb so viel CO₂ verursachen wie herkömmliche PKW. Allerdings haben die Forscher den dabei verwendeten Strommix nach Bundesstaaten gewichtet respektive danach, wie viele E-Mobile in den einzelnen Staaten unterwegs sind. Kalifornien erhält dadurch ein starkes Gewicht: Hier sind die Hälfte der landesweit zugelassenen Elektroautos registriert. Und der «Golden State» weist mit 26 Prozent einen fast doppelt so hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen auf wie der nationale Durchschnitt. Wie man es auch dreht und wendet: Selbst unter höchst optimistischen Annahmen beim Strommix und bei der Lebensdauer sind Elektromobile beim CO₂ keineswegs um Klassen besser als ihre benzinbetriebenen Rivalen.

Die Hälfte der CO₂-Emissionen fällt beim Abbau der Rohstoffe an.

Für Aufsehen sorgte letzten Monat das Schwedische Institut für Umweltforschung in Stockholm. Die Wissenschaftler analysierten im Auftrag der schwedischen Regierung bisherige Studien über den Ressourcenverbrauch bei der Herstellung von Batterien für E-Mobile. Ihre Befunde zeigen, dass der Tesla-Fahrersitz nicht gerade als Sattel für das hohe moralische Ross taugt. Jede Kilowattstunde Speicherkapazität wird mit 170 Kilogramm CO₂-Ausstoss erkauft. Im Falle des Tesla-Spitzenmodells macht das 17 Tonnen CO₂ für hundert Kilowattstunden. In Schweden kann man durchschnittlich acht Jahre lang ein herkömmliches Auto durch das Land lenken, bis dieser Wert erreicht wird. Nun gut, die Schweden fahren eher wenig und eher kleinstmotorisierte Modelle. Aber selbst wenn es nur vier oder fünf Jahre dauern sollte, bleibt die Batterieproduktion beim CO₂ eine Achillesferse.

Prompt konterte Tesla-Chef Elon Musk die schwedische Arithmetik auf Twitter mit einem Verweis auf seine neuen Batteriefabriken. Auf dem Dach der «Gigafactory» in der Wüste von Nevada, die demnächst in Betrieb geht, befindet sich die grösste Fotovoltaik-Solarstrom-Anlage der Welt, mit einer Kapazität von 70 Megawatt – knapp siebenmal so gross wie die bis jetzt füh-

Neuzulassungen 2016

Staat	Marktanteil Elektroautos (in Prozent)	Nationale Fördermassnahmen für Elektroautos
Schweiz	1,10	Keine
Deutschland	0,40	• Kaufprämie von 4000 Euro • Zehnjährige Befreiung von Kfz-Steuer
EU total	0,60	Verschieden, je nach Mitgliedsstaat
Norwegen	15,70	• MwSt.-Befreiung (25 Prozent des Bruttopreises) • Befreiung von Anschaffungssteuer (11 600 US-Dollar) • Befreiung von Mautgebühren • Befreiung von jährlicher Motorfahrzeugsteuer
USA	0,90	Steuergutschrift von 7500 US-Dollar
Japan	1,06	Kaufprämie bis maximal 7000 US-Dollar (z.B. Nissan Leaf 3000 US-Dollar)
China	1,20	Steuererleichterungen beim Kauf im Wert von 5100 bis 2300 US-Dollar
Indien	1,10	Keine steuerliche Bevorzugung

QUELLEN: IEA, ICCT

Niedriger Absatz trotz Subventionen.

rende Installation in Indien. Allein: Die Hälfte der CO₂-Emissionen fällt gar nicht bei der eigentlichen Produktion, sondern beim Abbau der Rohstoffe (insbesondere Lithium und Kobalt) an – der Lithium-Abbau übrigens findet vorwiegend in Bolivien und China und unter ökologisch zweifelhaften Bedingungen statt. Zudem brauchen modernste Solaranlagen bei guter Auslastung rund zwei Jahre, bis sie die Energie eingespielt haben, die für ihre eigene Herstellung aufgewendet wurde. Ob in dieser Zeit das Geschäft so auf Touren kommt, dass die Gigafactory auch ausgelastet wird? Das weiss nur der Sonnengott.

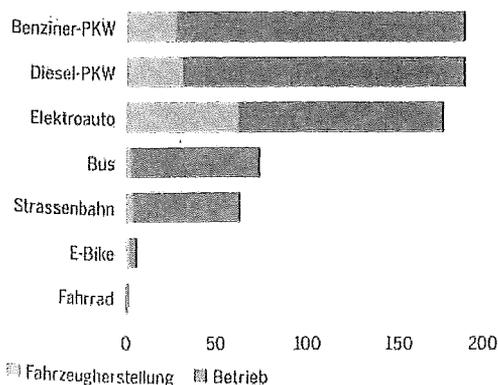
Harziger Verkauf

Bis jetzt sind Elektrofahrzeuge, auch jene aus dem Hause Tesla, jedenfalls kein Verkaufsschlager. Reinerassige Elektromobile erreichen bei den Neuzulassungen trotz intensiver Förderung nur verschwindend kleine Marktanteile (siehe Grafik oben). Ein Beispiel: Obwohl die USA die ersten 200 000 Elektroautos einer Marke mit einer Steuergutschrift von 7500 US-Dollar pro Wagen fördern, lag der Anteil an den Neuzulassungen im Jahr 2016 unter einem Prozent. In Deutschland betrug er weniger als ein halbes Prozent, trotz einer neu eingeführten «Umweltprämie» von 4000 Euro auf Elektroautos im Preissegment unter 60 000 Euro. Die Schweiz sticht mit einem Marktanteil von über einem Prozent etwas heraus. Bislang hat der Bundesrat keine Absichten erkennen lassen, den Absatz von Elektroautos zu subventionieren. Hingegen gibt es etliche Kantone, welche elektrisch betriebene PKW bei der kantonalen Motorfahrzeugsteuer bevorzugen (siehe Karte Seite 19).

Das einzige Land, in dem ein nennenswerter Anteil der Neuwagen rein elektrisch betrieben

CO₂-Emissionen verschiedener Verkehrsmittel in Deutschland

In Gramm, pro Personenkilometer



QUELLE: UPI 2015

Hoher Schadstoffausstoss von Elektrofahrzeugen.

«Hocheffizient, emissionsarm»

Motorexperte und ETH-Professor Christopher Onder erklärt, warum der Verbrennungsmotor ein wesentlicher Bestandteil unseres Mobilitätssystems bleiben wird.

Herr Onder, im deutschen Sprachraum führt die Politik einen Feldzug gegen den Verbrennungsmotor, Städte erlassen Verkehrsbeschränkungen, es gibt plötzlich Zulassungsverbote für einzelne Modelle und vielleicht ein generelles Verbot irgendwann in der Zukunft. Ist der Verbrennungsmotor schlechter, als man das noch vor ein, zwei Jahren gemeint hat?

Nein, von der technischen Seite her hat sich in diesen Jahren nichts geändert. Der Verbrennungsmotor bietet nach wie vor die Technik, um die Emissionen des weltweit wirkenden Treibhausgases CO₂ sowie der lokal anfallenden Schadstoffe auf ein politisch vorgegebenes Niveau zu reduzieren. Die Frage ist nur: Wird die Technik vom Hersteller korrekt umgesetzt, und werden die Vorgaben vom Gesetzgeber kontrolliert?

Warum wird der Dieselantrieb heute derart anders beurteilt als noch vor zwei Jahren?

Die Wahrnehmung wird massgeblich dadurch bestimmt, wie über den Motor in der Öffentlichkeit berichtet und wie er in der Politik behandelt wird. Wenn es in diesen zwei Kanälen zu starken Veränderungen kommt, ergibt sich eine ganz andere Wahrnehmung. Das ändert aber nichts an der Technik selber. Diese Technik ist in der Lage, hocheffiziente und emissionsarme Verbrennungsmotoren herzustellen.

Ist das Politikern, die den Motor verbieten wollen, so schwierig zu vermitteln?

In diesen Fragen geht es um ein Abwägen von Vor- und Nachteilen, was nicht ganz einfach ist. Bei den Emissionen gibt es nämlich zwei Zielgrößen, die man austarieren muss: einerseits den Ausstoss des für die Erderwärmung relevanten Treibhausgases CO₂, der parallel zum Kraftstoffverbrauch steigt, und andererseits die Emission von lokalen Schadstoffen wie Stickoxiden. Bei der Abgasnachbehandlung im Auspuff muss man also immer Kompromisse eingehen. Auf der

einen Seite möchte man einen möglichst niedrigen Kraftstoffverbrauch und damit niedrige CO₂-Emissionen, auf der andern Seite möchte man möglichst geringe Schadstoffemissionen beziehungsweise wenig Verbrauch des Harnstoffpräparats Adblue zu deren Neutralisierung.

Man kann also nicht einfach den Knopf auf «sauber» stellen?

Je nachdem, in welche Richtung die Optimierung geht, erhält man ein System, das entweder weniger Kraftstoff verbraucht und entsprechend geringe CO₂-Emissionen hat, dafür jedoch mehr lokale Schadstoffe ausstösst. Oder aber man lässt den Kraftstoffverbrauch steigen und hat dafür weniger Stickoxide. Für Autokäufer ist natürlich ein geringer Kraftstoffver-

brauch ein sehr wichtiges Entscheidungskriterium, das spüren sie direkt beim Tanken.

Aber dem breiten Publikum ist der Zielkonflikt zwischen Verbrauch und Schadstoffemission wohl nicht bewusst.

Die Kunden gehen natürlich davon aus, dass in der Praxis die Schadstoffgrenzwerte eingehalten werden. Aber da es eben immer um einen Kompromiss geht, besteht die Gefahr, dass ein Autohersteller einen möglichst niedrigen Verbrauch anpeilt, um den Kundenwünschen entgegenzukommen, dass er aber dafür die Schadstoffemissionen auf höhere Werte steigen lässt als erlaubt. Dass gewisse Firmen sich bei diesem Abwägen nicht an die gesetzlichen Regeln gehalten haben, heisst aber nicht, dass der Verbrennungsmotor schlecht ist.

Welche Alternativen sehen Sie dazu?

Grundsätzlich ist zu beachten, dass man den Wirkungsgrad verbrennungsmotorischer Antriebssysteme noch sehr stark verbessern kann, etwa indem man sie teilelektrifiziert. Diese Hybridisierung kann in ganz unterschiedlichem Ausmass erfolgen. Auf jeden Fall lässt sich so die Effizienz stark erhöhen, und man kann gleichzeitig auch die Emissionen besser in den Griff bekommen, weil die elektronischen Steuerungsmöglichkeiten zunehmen.

Aber alle reden jetzt vom Elektroantrieb.

Ja, eine Alternative ist sicher der reine Elektroantrieb. Daneben darf man aber auch Erdgasmotoren nicht vergessen, denn Erd-

gas hat durch das günstigere Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis rund 25 Prozent tiefere CO₂-Emissionen als die gängigen Verbrennungsmotoren. Ausserdem kann der Hauptbestandteil von Erdgas, Methan, auch regenerativ erzeugt werden.

Erwarten Sie, dass der Elektroantrieb nun viel schneller als bisher gedacht die Märkte erobern wird, weil die Politik diesen Weg massiv fördern will?

Wenn die Politik einschneidende Massnahmen beschliesst, wird das Kaufverhalten sicher erheblich beeinflusst. Sobald bestimmte Autos plötzlich nicht mehr in eine Stadt hineinfahren dürfen, weil das verboten wird, ist tatsächlich eine Umpolung der Motorenachfrage möglich.

Ist das eine rationale Politik?

Man muss im Auge behalten, dass das Ziel der Politik eigentlich eine möglichst starke Reduktion der CO₂-Emissionen sein sollte – natürlich bei gleichzeitiger Kontrolle der lokalen Schadstoffemissionen. Wenn nun die Politiker mit voller Kraft zur Förderung der Elektroantriebe übergehen wollen, müssen sie dafür sorgen, dass die Energieproduktion zum Laden der Batterien mit möglichst geringer CO₂-Belastung erfolgt, dass eine ganze Infrastruktur von Ladestationen aufgebaut wird und auch die Netze entsprechend ausgebaut werden. Im europäischen Energiemarkt sieht es in dieser Hinsicht nicht gut aus. Die Stromproduktion verursacht einen ziemlich hohen CO₂-Ausstoss, da ein bedeutender Teil der Energie aus Kohlekraftwerken stammt. Damit wären Elektromobile vom CO₂ her sogar eher belastender als die heutigen Fahrzeugflotten. Unglücklicherweise ist Kohlestrom sehr billig und deshalb für die Stromproduzenten interessant.

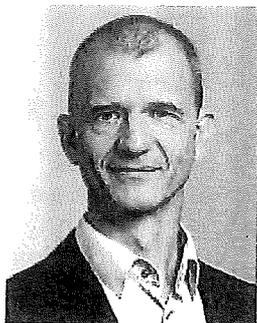
Feinstaub oder Kleinpartikel sind bei neuen Dieselmotoren unter Kontrolle?

Wenn der Motor einen Partikelfilter hat, wird der allergrösste Teil des Feinstaubes aus den Abgasen herausgefiltert, dann ist dieses Thema erledigt.

Ihre Forschung an der ETH konzentriert sich seit längerem auf Verbrennungsmotoren, und Sie waren immer wieder optimistisch, dass sich diese Aggregate noch sehr lange als konkurrenzfähige Antriebsformen halten werden. Bleiben Sie dabei?

Der Verbrennungsmotor hält sich noch lange. Ich bleibe zu hundert Prozent bei dieser Aussage.

Die Fragen stellte Beat Gygi.



Wissenschaftler Onder.

wird, ist Norwegen. Dies liegt an einer weltweit einmaligen Subventionierung, die seit den 1980er Jahren konsequent angewendet wird. Nicht nur sind E-Mobile von der Mehrwertsteuer und von einer Pauschalsteuer beim Fahrzeugkauf ausgeschlossen (ein Tesla kostet hier ungefähr halb so viel wie eine benzinbetriebene Oberklasse-Limousine). Auch dürfen sie die Bus- und Taxispuren benutzen und sind von den saftigen Gebühren für die Strassenbenutzung befreit. Selbst bei einem derart extremen (und teuren) Anreizsystem entscheidet sich die Mehrheit der Norweger für ein herkömmliches Auto.

Neapel ausser Reichweite

Der wichtigste Grund für die Zurückhaltung der Käufer liegt auf der Hand: E-Mobile können das Versprechen von individueller Mobilität derzeit nicht im gleichen Umfang einlösen wie Benzin- und Dieselfahrzeuge. Die Reichweite der leistungsfähigsten Batterien beträgt momentan laut Herstellerangaben im Optimalfall, bei sparsamer Fahrweise, 435 Kilometer. Im Winter kann sie auf die Hälfte zusammenschrumpfen, einerseits durch zusätzlichen Strombedarf für die Heizung und andererseits durch beeinträchtigte Batterie-Funktionsfähigkeit bei tiefen Temperaturen. Das Aufladen dauert an der heimischen Steckdose viele Stunden. Bei Fahrzeugen, die über leistungsfähige Gleichstrom-Aufladetechnik verfügen (wie etwa bei der Supercharger-Technologie von Tesla), dauert ein kompletter Ladevorgang ebenfalls mehr als eine halbe Stunde. Selbst in der kleinräumigen Schweiz ist es den meisten

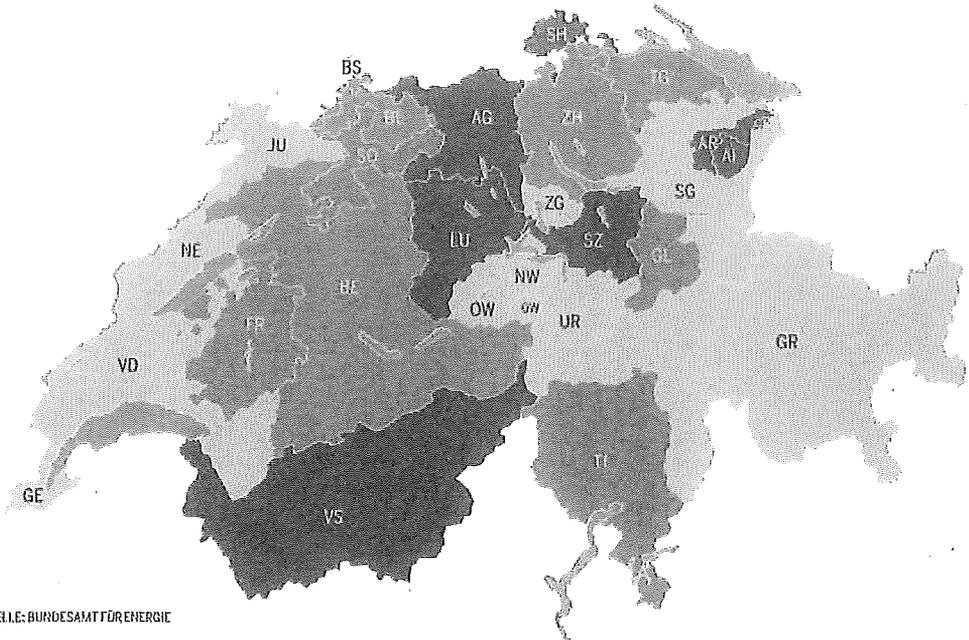
Der umweltpolitische «Angstfeind» in den USA ist der Smog; in Europa ist es der Klimawandel.

Autofahrern offenbar zu unbequem, nicht mehr an einem Stück in die Skiferien oder von Zürich nach Genf fahren zu können – geschweige denn nach Hamburg, Neapel und Paris.

Mit einer zunehmenden Anzahl von Elektroautos verschärft sich das Problem der öffentlich zugänglichen Auflade-Infrastruktur. Im Extremfall eines hundertprozentigen Umstiegs auf das Elektroauto würde es x-mal mehr Schnellladestationen «für unterwegs» brauchen, als es heute Zapfsäulen gibt – sofern es technisch nicht gelingt, die Ladezeit auf wenige Minuten zu senken oder die Reichweite der Batterieladung massiv zu erhöhen. Der technische Fortschritt hat sich aber noch nie sonderlich um bürokratische Vorgaben gekümmert. Nimmt man die heute verfügbare Technik zum Nennwert, so brauchte es in den USA nach Schätzungen des UBS-Analysten Colin Langan Investitionen von acht Milliarden US-Dollar, um so viele «Supercharger» zu bauen, dass sie im Durchschnitt innert vier Minuten angesteuert werden können, wie dies bei

Kantonale Motorfahrzeugsteuern: Rabatte für Elektrofahrzeuge

- Keine steuerliche Bevorzugung
- Zeitlich befristete Steuerermässigungen auf Elektrofahrzeuge und/oder Fahrzeuge mit geringerem CO₂-Ausstoss
- Zeitlich unbefristete Steuerermässigungen auf Elektrofahrzeuge und/oder Fahrzeuge mit geringem CO₂-Ausstoss
- Hundertprozentige, dauerhafte Steuerbefreiung von Elektrofahrzeugen



QUELLE: BUNDESAMT FÜR ENERGIE

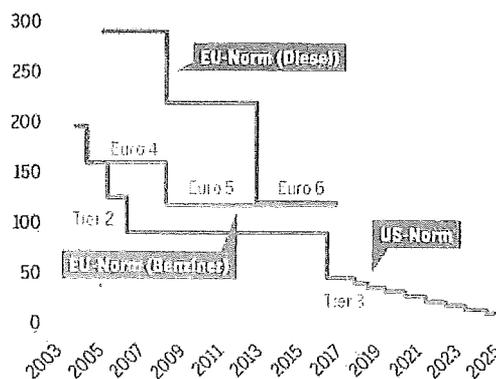
Steuerbevorzugte Elektrofahrzeuge in der Schweiz.

der herkömmlichen Zapfsäule der Fall ist. Vor einem Jahr hat die Bundesregierung in Deutschland 300 Millionen Euro an Fördergeldern für neue Ladestationen zur Verfügung gestellt. Bisher wurden davon lediglich 16,6 Millionen Euro in Anspruch genommen, wie das Bundesverkehrsministerium Ende Juni mitteilte. Das Programm soll bis 2020 dauern.

Die Kontroverse um Abgastest-Manipulationen zeigt, dass die ökologische Optimierung des Autos in ein unauflösbares Gewir von Zielkonflikten führen kann. Während die europäischen Umweltbehörden den Ausstoss von CO₂ minimieren wollten, sahen ihre amerikanischen Schwesterbehörden eine Priorität in der Reduktion von Stickstoffoxiden (siehe Grafik unten)

Grenzwerte für PKW-Emissionen

Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffe (ohne Methan), in Milligramm pro Kilometer



QUELLE: THE ECONOMIST, 2016

Andere Länder, andere Werte.

und anderem Feinstaub. Der umweltpolitische «Angstfeind» in den USA ist der Smog; in Europa ist es der Klimawandel. Beim Dieselmotor gilt allerdings: je sparsamer der Verbrauch, desto tiefer die Temperatur der Abgase. Bei der jetzt kritisierten Dieselmotoren wurde durch tiefere Motortemperaturen der Verbrauch (und dadurch das CO₂) bis zum Äussersten optimiert. Als Nebenwirkung konnten die Stickstoffoxide nur unzureichend gefiltert werden. Also half man mit einer Software nach, welche auf den Prüfstand das gewünschte Ergebnis lieferte.

Der Leiter des Instituts für Kolbenmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie, Professor Thomas Koch, erklärt im Interview mit der Helmholtz-Gemeinschaft: «Man hätte beim Verbrauch etwas nachgeben müssen. Denn erst im Fenster oberhalb von 180 bis 200 Grad werden die Stickoxide gebrannt.» Bei Motoren der neuesten Generation sei das Problem gelöst.

Aufgrund seines tiefen CO₂-Ausstosses war der Diesel fast jahrzehntelang das Hätschelkind der europäischen Politiker. Zurzeit schwingt das Pendel ein wenig in Richtung Feinstaub-Unterdrückung. Ausgeblendet wird dabei die Tatsache, dass bei modernen Dieselfahrzeugen 90 Prozent des Feinstaub nicht aus dem Auspuff kommen, sondern vom Reifen- und Bremsabrieb (siehe Seite 65). Das hat auch die sonst zuverlässig im links-grünen Spektrum verankerte Zeit erfasst und im Januar getitelt: «Die Motoren sind nicht das Problem». Solange Elektroautos nicht ohne Räder und ohne Bremsen fahren, bleibt ihre Überlegenheit auch in diesem Punkt eine Einbildung.