



Das Automobil: eine technologische Sackgasse

Von Rainer Fischbach und Stefan Kissinger | 19.01.2018

Das Auto gilt heute weithin als Erfolgsgeschichte. Durchsetzen konnte es sich jedoch nicht wegen seiner Überzeugungskraft. Im Gegenteil: Sein Energie-, Konstruktions- und Materialaufwand ist ein gigantischer Overkill.

In den Industrienationen ist es das dominierende Transportmittel und in den Schwellenländern ist das Auto dabei, dieses zu werden. Durchsetzen konnte es sich jedoch nicht wegen seiner Überzeugungskraft, sondern nur dank massiver Eingriffe in die bestehende Verkehrsorganisation. Dazu gehörten nicht nur der Bau eines autogerechten Straßennetzes aus öffentlichen Mitteln, den z. B. in Deutschland das NS-Regime unabhängig von einem erkennbaren Bedarf entscheidend, u.a. aus militärischen Gründen, vorantrieb, sondern auch die gezielte Schwächung und sogar Zerstörung der effizienten bestehenden Systeme des öffentlichen Verkehrs (Straßenbahnen). Letzteres fand in vielen Städten auf beiden Hälften des amerikanischen Kontinents statt.^[1]

Die prinzipielle Schwäche des Automobils besteht im Personenverkehr (MIV) darin, dass es, um wenige Personen zu bewegen, eine große Masse an Material wiederholt gegen große Widerstandskräfte (Trägheit, Rollreibung und Luftwiderstand) beschleunigen und wieder abbremsen muss.^[2] Bei den heute so beliebten SUVs beträgt sie 2-2,5 Tonnen und – der übergroßen Batterie geschuldet – auch bei den gehypten Elektromobilen wie beim Tesla Modell S ungefähr 2 Tonnen.

Der Energieaufwand für einen Personenkilometer beträgt bei der Bahn nur ein Fünftel dessen beim

Auto.[3] Bei einem Zug ist der Rollwiderstand wegen der im Strömungsschatten des Kopfteils fahrenden folgenden Wagen deutlich geringer, ebenso die Anzahl der Brems- und Beschleunigungsvorgänge. Dieser Sachverhalt – also der geringere Energieaufwand durch günstigere Reibungswerte und weniger Beschleunigungs- und Bremsvorgänge – trifft auch auf den Gütertransport der Bahn zu, obwohl das Verhältnis der Fahrzeugmasse zur Nutzlast im günstigsten Fall nur wenig unter dem beim LKW bleibt.

Durch automatische Steuerung, die eine Optimierung der Abläufe erlaubt und bei der Bahn längst Stand der Technik ist, lässt sich der Energieaufwand noch weiter reduzieren. Zudem können moderne Systeme beim Bremsen auch Energie ins Netz zurückspeisen — was wesentlich sinnvoller, da sowohl energetisch als auch finanziell kostengünstiger ist als in eine Batterie, wie bei elektrisch angetriebenen Automobilen möglich. Trotz dieser Möglichkeiten kann jedoch kein Fahrzeug auf die Friktionsbremse verzichten. Deutlich niedriger als beim LKW ist auf jeden Fall der Personalaufwand bei der Bahn.

Schon die große Materialmasse eines Automobils muss zunächst mit großem Aufwand an Arbeit und Energie bereitgestellt werden. 25-50% des Lebenszyklusverbrauchs an Energie eines Automobils fallen an, bevor es überhaupt einen Kilometer gefahren ist und endet nach einer relativ geringen Lebenszyklusleistung: kaum ein Auto schafft 500.000 km, die meisten mit 200.000-300.000 km deutlich weniger. Der Abfall kann höchstens partiell und unter weiterem Energie- und Arbeitseinsatz wiederverwendet werden.

Bahnmaterial erreicht dagegen Lebenslaufleistungen von 3-10 Millionen km oder noch mehr. Automobile sind heute meist auf Spitzengeschwindigkeiten von 200km/h oder noch höher ausgelegt; d. h. ihr Fahrwerk, Antrieb, Bremssystem, ihre Karosserie, Klimaanlage etc. müssen den deutlich höheren Lasten gewachsen sein, die bei dieser Geschwindigkeit gegenüber etwa nur 100km/h oder 50km/h auftreten. Diese wachsen nicht linear sondern quadratisch mit der Geschwindigkeit, die erforderliche Motorleistung sogar kubisch. Der erhöhte Konstruktions- und Materialaufwand, den dies nach sich zieht, stellt sich als gigantischer Overkill dar angesichts der Tatsache, dass der größte Teil der Strecken mit Geschwindigkeiten unter 50 km/h (Taxis fahren durchschnittlich in Berlin mit unter 30 km/h) zurückgelegt wird.

Wie wenn man bei der Straßenbahn ICE-Züge einsetzen würde

Ein Overkill, der Rohstoffe und Energie kostet sowie mit weiteren Umweltlasten verbunden ist. Wenn heute schon einfachere Varianten von Mittelklassewagen – von den gehobenen Typen ganz zu schweigen – an die 200km/h herankommen und entsprechend konstruiert und ausgestattet sind, dann stellt dies einen vergleichbaren Unsinn dar, wie wenn man bei der Straßenbahn ICE-Züge einsetzen würde. Ein öffentliches Verkehrssystem, das für jeden Distanz- und entsprechenden Geschwindigkeitsbereich die daran angepassten Fahrzeuge bereithält und diese bis zu einer um ein bis zwei Größenordnungen höheren Lebenslaufleistung nutzt, zeichnet sich durch einen unvergleichlich rationelleren Umgang mit den Naturressourcen und der menschlichen Arbeitskraft aus.

Während seiner nützlichen Lebensphase ist ein Auto meist zu mehr als 95% der Zeit *nicht* in Betrieb,

sondern steht nur herum; wobei es Raum gleich mehrfach beansprucht: auf der Straße, bei der Wohnung, beim Arbeitsplatz, in den Einkaufs- und Vergnügungszonen. Wer mit dem ÖV eines der Einkaufszentren mit weiträumigen Abstellplätzen bzw. -anlagen für Autos besucht, finanziert diese über die Preise zwangsweise mit. Der Automobilmus hat öffentlichen Raum und Landschaften in unvorstellbarem Ausmaß vernichtet sowie Siedlungsstrukturen hervorgebracht, die noch mehr Landschaftszerstörung und Ressourcenverschwendung bedeuten.

Die Einfamilienhäuser *im Grünen* verursachen im Vergleich zu verdichteter städtischer Bebauung ein Mehrfaches an Konstruktions- und Heizungsaufwand, die sie umgebenden, sauber gepflegten Hecken und Rasenflächen sind ökologische Todeszonen, der Weg dorthin ist zu lang und durch ÖV nur mit Mehraufwand zurückzulegen. All dies ist mit einer Vielzahl von schädlichen Nebeneffekten verbunden: nicht nur Emissionen von CO₂, sondern auch von NO_x, Feinstaub und Lärm sowie Unfälle sind zu beklagen. Allein in Deutschland werden so jedes Jahr hunderttausende gesundheitlich beschädigt und tausende ums Leben gebracht.

Doch damit nicht genug. Das Automobil, genauer: das um das Automobil herum gebaute soziotechnische System stiehlt den Menschen nicht nur den Raum und die Luft, sondern auch die Zeit zum Leben. Setzt man die Zeit, die die Mehrzahl der Menschen – und diese Mehrzahl bezieht ein *unterdurchschnittliches* Einkommen – aufwenden muss, um ein Auto nicht nur zu fahren, sondern auch zu beschaffen und zu unterhalten, in Beziehung zu der dadurch realisierten Beförderungsleistung, dann kommt man zu einem ernüchternden Ergebnis: die Mehrzahl bewegt sich trotz eines gewaltigen Aufwands an Material, Arbeit und Ingenieurskunst eher mit weniger als 15km/h, also Fahrradgeschwindigkeit. Beschleunigend wirkt das Automobil höchstens für die Bezieher überdurchschnittlicher Einkommen – sofern diese nicht gerade mit allen anderen im Stau stehen. Für die Masse ist das Auto ein lebensökonomisches Verlustgeschäft.

Elektrischer Antrieb

Was soll sich an all dem durch die Elektrifizierung des Antriebs und die fortschreitende elektronische Aufrüstung der Fahrzeuge bis hin zu ihrer Befähigung zum ›autonomen‹ Fahren grundlegend verändern? Der elektrische Antrieb verschiebt zunächst nur die Emissionen von der Straße zum Kraftwerk: Er verursacht so viele Emissionen wie die Stromerzeugung. Doch damit ist die Problematik nicht erschöpft.

Grundsätzlich verbrauchen elektrisch angetriebene Autos bei vergleichbaren Leistungsparametern (Beschleunigung, Reichweite, Passagierzahl, Zuladung) *mehr Energie* als solche mit Verbrennungsmotor. Das liegt zunächst daran, dass sie (die elektrisch angetriebenen) *deutlich (ca. 20-25%) schwerer sind als letztere* – weil die Batterie bei gleichem und selbst bei deutlich geringerem, d. h. mit reduzierter Reichweite verbundenem, Energieinhalt eine viel größere Masse hat als ein Tank mit entsprechender Füllung und, anders als der Tank, mit fortschreitender Entleerung auch nicht signifikant leichter wird. Die *Energiedichte, d. h. der nutzbare Energieinhalt pro Masseneinheit, von Benzin bzw. Dieselmotorkraftstoff ist um den Faktor 65 größer als der eines Lithium-Ionen-Akkus*. Selbst wenn man davon ausgeht, dass ein Verbrennungsmotor den *Energieinhalt des Benzins nur zu 40% ausnutzt*, während es beim *Elektromotor nahezu 100% sind* – beides Idealwerte – bleibt immer noch ein Faktor von 25.

Vielleicht könnte sich dieser Faktor mit neuen Technologien wie dem Lithium-Luft-Akku, allerdings bei gleichbleibenden Anforderungen an den Bauraum, auf 10 reduzieren. Doch das ist Zukunftsmusik und dürfte noch ein bis zwei Jahrzehnte dauern.

Die Herstellung wie die Entsorgung von Batterien und Elektromotoren ist selbst mit hohem Energieeinsatz, tiefen Eingriffen in die Natur und weiteren Emissionen, insbesondere von schwer entsorgbaren Giften verbunden. Der Abbau von Mineralien wie Kupfer, Kobalt, Nickel und Lithium, die dabei eine Rolle spielen, erfolgt oft unter sozial wie ökologisch höchst fragwürdigen Bedingungen. Die Erwartung einer steigenden Nachfrage durch eine wachsende Produktion von Elektrofahrzeugen hat bereits bei dem immer noch absolut niedrigen Volumen derselben die Preise für solche Mineralien sprunghaft ansteigen lassen^[4] – Indiz für eine neue Welle der Rohstoffspekulation.

Die Frage, ob die Abbau- und Verarbeitungskapazitäten schnell genug wachsen können, darf als bisher nicht beantwortet gelten. Genauso wenig, mit welchen Umweltlasten und sozialen Verwerfungen es verbunden wäre, weltweit solche ambitionierten Ziele wie den Ersatz des Verbrennungsmotors noch im vierten Jahrzehnt des Jahrhunderts – d. h. innerhalb der nächsten 20 Jahre – bei gleich bleibenden und eher wachsenden Automobilbeständen zu realisieren. Recycling ist sicher eine Option, um die sich hier abzeichnenden Engpässe zu mildern, doch gegenwärtig noch Zukunftsmusik. Vor allem wird es nicht umsonst zu haben, sondern Energie kosten und mit anfallenden Giften verbunden sein.

Generell wächst durch den elektrischen Antrieb der Anteil der Konstruktion am Lebenszyklusverbrauch von Energie. Autos mit elektrischem Antrieb haben bereits mehr Energie verbraucht, bevor sie einen Kilometer gefahren sind, als herkömmliche mit Verbrennungsmotor. Gegenüber letzteren dürfte hier eine Steigerung um ca. 50-100% erfolgen. Positiv könnte beim elektrischen Antrieb eine verlängerte Lebensdauer sein, da Elektromotoren insgesamt weniger und vor allem weniger durch Hitze und Reibung belastete Teile aufweisen als ein Verbrennungsmotor.

Die Lebensdauer von Batterien ist dagegen äußerst begrenzt. Selbst die Lithium-Ionen-Batterien, die heute die Spitze der Leistungsskala bilden, haben einen ESOI-Faktor (Energy Stored on Energy invested) von lediglich 10, sie können also über ihren gesamten Lebenszyklus nur das Zehnfache der Energie speichern, die ihre Herstellung gekostet hat.^[5] Zum Vergleich: Pumpspeicherwerke erreichen einen ESOI-Faktor von mehr als 200. Forschung und Entwicklung zielen derzeit vor allem darauf, den spezifischen Energieinhalt, sprich die gespeicherte Energie pro Masseneinheit zu steigern, um die Reichweite von Elektroautos zu erhöhen, weniger jedoch darauf, die für den ESOI entscheidende Zahl der Lade/Entladezyklen zu erhöhen.

Eine aktuelle Studie geht davon aus, dass die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien – das ist die derzeit leistungsfähigste Speichertechnologie – CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 150-200 kg/kWh verursacht.^[6] Große Batterien wie die in den Tesla-Modellen mit Kapazitäten, die sich in der Nähe von 100 kWh bewegen, verursachen damit mehr Emissionen als ein Kleinwagen mit Verbrennungsmotor über seinen gesamten Lebenszyklus oder ein geräumiger Mittelklassewagen inklusive Herstellung in den ersten acht Jahren seines Lebens. Dazu kommen noch die Emissionen durch die Produktion von Motoren, Fahrwerk, Karosserie und den Betrieb.

Versucht man, wie das insbesondere die Hersteller hochwertiger (*Premium*) Fahrzeuge mit und ohne Elektroantrieb tun, das **Gewicht durch den Einsatz von Leichtbaumaterialien zu begrenzen**, steigert man den Anteil der Konstruktion am Lebenszyklusverbrauch von Energie noch weiter: die Herstellung der **Leichtbaumaterialien wie Carbon und Aluminium ist äußerst energieintensiv**. Aluminium hat zwar nur etwas mehr als ein Drittel der Dichte von Stahl, benötigt jedoch pro Masseneinheit nahezu die achtfache Menge an Energie zur Herstellung, Carbon-Verbundwerkstoffe bei einem Fünftel der Dichte von Stahl jedoch die fünfzehnfache Menge an Energie zur Herstellung. Carbon-Verbundwerkstoffe haben, im Gegensatz zu Aluminium, zusätzlich den Nachteil, dass es nicht möglich ist, bei Recycling ihre ursprüngliche Materialqualität, insbesondere ihre dynamische Belastbarkeit, wiederherzustellen. **Recycling verursacht jedoch immer zusätzlichen Energieaufwand.**

Der elektrische Antrieb ist ökonomisch und ökologisch vor allem sinnvoll, wenn er **ohne Batterie** auskommt und einen hohen Nutzungsgrad der involvierten Materialien gewährleistet. Batterien sind beim heutigen wie auch beim absehbaren Stand der Technik zu teuer und mit zu großen Umweltlasten befrachtet. Zwar stecken auch in den Energieversorgungsinstallationen der Bahn vor allem Kupfer und damit auch Energie, doch haben sie bei einer vergleichsweise geringen Masse eine unvergleichlich längere Lebensdauer und entsprechend höheren Nutzungsgrad als Batterien. Elektroantrieb mit Batterien als Energiespeicher ist höchstens im Nahbereich als Zwischenlösung und in den Randbezirken der Netze als Ergänzung zum schienenengebundenen und durch Fahrleitungen gespeisten Verkehr sinnvoll. Das bedeutet auch, dass solche Lösungen mit möglichst *kleinen* Batterien auskommen sollten. Sinnvoll sind etwa Elektrofahrzeuge für Nischenbereiche im Lieferverkehr, wie sie die Post derzeit einführt. Fahrzeuge wie die von Tesla bieten dagegen schon wegen ihrer überdimensionierten Batterien eine in jeder Hinsicht negative Umweltbilanz.

Das größte Problem des elektrischen Antriebs beim Automobil besteht derzeit jedoch vor allem in der Erzeugung des Stroms: Unter Berücksichtigung der schon durch die Konstruktion inkorporierten Energie erzielt er beim heutigen wie auch beim in den nächsten zwei Jahrzehnten zu erwartenden Strom-Mix keine Reduktion, **sondern eher eine Steigerung des CO₂-Ausstoßes**.^[7] Zudem ist völlig unklar, **woher** der für eine Elektrifizierung des Straßenverkehrs in signifikantem Ausmaß erforderliche **Strom überhaupt herkommen** und wie er den Weg in die Autos finden soll. Ein Netz von Ladestationen benötigt eine Starkstromversorgung und entsprechende Transformatoren – die Infrastruktur für den Haushaltsstrom kann das nicht leisten –, die wiederum große Mengen an Kupfer enthalten, dessen Herstellung viel Energie verbraucht. Es aufzubauen erfordert zudem Zeit und Kapital. Umfassende Bilanzen, die diese Faktoren einbeziehen, sind gegenwärtig nicht verfügbar.

Wenn im Jahr 2035 die Versorgung von **80 % der PKW in der EU 150GW zusätzlicher elektrischer Leistung erfordern soll**^[8], dann bedeutet das das Äquivalent von 125 klassischen AKW-Blöcken. Um diese Anforderung zu erfüllen, reicht es eben *nicht* aus, einfach noch mehr Photovoltaik-Anlagen und Windräder aufzustellen. **Erforderlich wäre nahezu das Doppelte der Leistung**, die bisher in Deutschland installiert ist, weil diese **Leistung dauerhaft zuverlässig verfügbar sein muss** – und nicht nur dann, wenn gerade die Sonne scheint und der Wind weht. Insbesondere die Verfügbarkeit von Solarenergie ist dann am höchsten, wenn die meisten Autos unterwegs sind, und genau dann nicht gegeben, wenn der Bedarf für das Laden der Batterien am höchsten ist.

Speichersysteme für elektrische Energie, die zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen leisten würden, was gefordert wäre, wenn man tatsächlich Strom aus Wind und Sonne nutzen wollte, sind jedoch weder heute noch in absehbarer Zukunft verfügbar. Die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Antriebs würde beim Automobil besonders leiden, weil die elektrische Energie dann *doppelt* gespeichert werden müsste – zuerst im Versorgungssystem und dann nochmals im Fahrzeug.

Aus dem Umstand, dass die **variablen Kosten**, also der Strompreis, im Verhältnis zu den hohen fixen Kosten eines Elektromobils anders als beim Verbrennungsmotor beim heutigen Preisgefüge **sehr gering sind**, **entsteht ein zusätzlicher Anreiz, möglichst viel zu fahren und das Auto anstatt alternativer Fortbewegungsformen zu benutzen**. Das ist heute schon in Norwegen zu beobachten, das bereits über einen relativ hohen Anteil an Elektroautos verfügt.^[9] Einen vergleichbaren Effekt haben auch die freien Stromtankstellen, die Tesla anbietet. Hier handelt es sich um **Rebound-Effekte, die geeignet sind, die Ökobilanz des Elektroautos weiter ins Negative zu verschieben**. Die einzig realistische und kurzfristig realisierbare Alternative besteht im Umstieg auf ein Transportsystem, das allein schon durch seine Struktur signifikant weniger Energie verbraucht. **Die heutigen Strukturen lediglich zu elektrifizieren, stellt keine Lösung dar.**

Schritte hin zu einem zukunftssicheren System des Verkehrs- und der Energieversorgung erfordern eine Prüfung durch umfassende Stoff- und Energiebilanzen, die bisher höchstens ansatzweise vorliegen. Hier ist noch viel zu tun. Insbesondere Energieaufwände und die damit verbundenen Emissionen dürfen nicht durch künstliche Annahmen geschönt werden. Bei allem, was Strom kostet, **ist der tatsächliche Mix der verschiedenen Erzeugungsarten in Rechnung zu stellen** – denn das ist der volkswirtschaftlich relevante Sachverhalt – und nicht eine angenommene Versorgung durch 100% erneuerbare Energie, bei der dann meistens auch noch der Energieinput ignoriert wird, den diese ihrerseits erfordert.

Auch wenn Automobilhersteller die Produktion von Carbon-Materialien in Kanada mit Strom aus Wasserkraft betreiben, heißt das eben nicht, dass ihre CO₂-Bilanz damit in Ordnung wäre. Denn das Wasserkraftwerk hätte ja auch ein Kohlekraftwerk ersetzen können, anstatt eine Carbon-Fabrik zu versorgen. Volkswirtschaftlich gesehen haben sie damit lediglich die Gesamtbilanz ein wenig in Richtung Erneuerbare Energie verschoben.

Hinweise

[1] Wolf, Winfried 2007: Verkehr. Umwelt. Klima: Die Globalisierung des Tempowahns. Wien: Promedia

[2] Knoflacher wies auf diesen Zusammenhang bereits vor mehr als 25 Jahren hin, siehe etwa: Knoflacher, Hermann 1996: Zur Harmonie von Stadt und Verkehr. Freiheit vom Zwang zum Autofahren. 2., verbesserte und erweiterte Auflage. Wien: Böhlau.

[3] Hermans, Jo 2017: [The challenge of energy-efficient transportation. MRS Energy & Sustainability.](#)

[4] Sanderson, Henry 2017: [Electric vehicle ambitions spark race for raw materials:](#)

[Manufacturers are scrambling to seal long-term deals for supply of lithium, cobalt and nickel.](#) Financial Times, 22. Oktober

[5] Shwartz, Mark 2013: [Stanford scientists calculate the carbon footprint of grid-scale battery technologies.](#) Stanford Report, 5. März.

[6] Romare, Mia; Dahllöf, Lisbeth 2017: [The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium Ion Batteries: A study with Focus on Current Technology and Batteries for light duty Vehicles.](#) Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute

[7] UPI 2017: Ökologische Folgen von Elektroautos—ist die Förderung von Elektro- und Hybridautos sinnvoll? 2., aktualisierte Aufl., Heidelberg: Umwelt- und Prognoseinstitut e. V. ([UPI-Bericht 79](#)), 5-19

[8] EEA 2016: [Electric vehicles and the energy sector —impacts on Europe's future emissions.](#) Kopenhagen: European Environment Agency

[9] UPI 2017, 40

Veröffentlicht am: 19.01.2018

Erschienen unter:

<https://makroskop.eu/2018/01/das-automobil-eine-technologische-sackgasse/>