

Reaktion auf die Kritiker:

Erläuterungen zur Studie

Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz?,
ifo Schnelldienst 8, 2019¹

Christoph Buchal, Hans-Dieter Karl und Hans-Werner Sinn

28. 4. 2019

In unserer Studie wollten wir einer breiteren Öffentlichkeit erläutern, dass E-Autos im Gegensatz zur politischen Klassifizierung und öffentlichen Wahrnehmung nicht a priori CO₂-emissionsfrei sind. Die intensive mediale Debatte drehte sich vor allem um den direkten Vergleich zweier PKW. Wir bedanken uns für zahlreiche kluge Zuschriften.

Unsere Bemerkungen zu den Flottenverbräuchen als Zwang zur E-Auto-Produktion wurden kaum kommentiert, ebenso gab es keine Beiträge zur wichtigen Einbindung des Verkehrssektors in den Stromsektor und der Erwartung, dass der zusätzliche Strom für die E-Autos wegen der in Kürze anstehenden Abschaffung der Kernreaktoren vorläufig vornehmlich aus fossilen Quellen kommen wird, so dass der heutige deutsche Strommix ein viel zu günstiges Bild für den CO₂-Ausstoß der Elektroautos zeigt. Auch blieben unsere Ausführungen zur Speicherung überschießender Stromspitzen bei höheren Marktanteilen des Wind- und Sonnenstroms sowie zur Verlagerung der extrahierten Erdölmengen in die weniger umweltbewussten Länder unkommentiert. Das erstaunt uns.

Allerdings wurde in vielen Zuschriften die noch benötigte, gewaltige und kostspielige Aufrüstung der elektrischen Verteilernetze in den Städten angesprochen, die wir nicht problematisiert haben.

Im Folgenden gehen wir auf verschiedene Kritikpunkte ein, die uns entgegengebracht wurden.

¹ http://www.hanswernersinn.de/dcs/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25_0.pdf

1. Haben wir die Bedeutung der E-Mobilität für die Verbesserung der Luftqualität der Städte übersehen?

Das haben wir nicht. Den Vorteil der Elektromobilität für die Säuberung der Stadtluft haben wir hervorgehoben, auch wenn wir uns nicht näher mit diesem Thema beschäftigt haben. Richtig ist, dass wir die kleinen E-Autos wie Streetscooter und ähnliche nicht explizit erwähnt haben. Wie im Buch MOBILITÄT von Ch. Buchal, A. Gabor und S. Schiebahn ausführlich erläutert, sind kleine E-Autos segensreich für den Stop-and-Go-Betrieb in der Stadt. Bei kleinen E-Autos ist auch der CO₂-Rucksack der Batterie viel geringer. Die Autoren dieses Textes sind große Freunde und Verfechter dieser Form der E-Mobilität. Sie war aber nicht Gegenstand dieser Studie. Bei den verglichenen Modellen, Tesla Model 3 und Mercedes C 220 d, handelt es sich *nicht* um leichte Stadt-Autos für kurze Entfernungen, sondern um Autos mit windschnittigen Karosserien, die auch für größere Distanzen auf der Autobahn alltagstauglich sein sollen.

2. Haben wir die zukünftigen Probleme der steigenden Volatilität der Stromproduktion und die Einbindung in den Verkehrssektor mit speicherbaren Energieträgern nicht ausführlich genug dargestellt?

Unsere kurzen Bemerkungen über die wichtige Rolle des „Grünen Methans“ und des Wasserstoffs plus Brennstoffzellen für die Speicherung überschießender Stromspitzen waren vielleicht zu knapp gehalten, um verstanden zu werden. Vermutlich haben wir deshalb zu unseren Überlegungen fast keine Kommentare erhalten.

Ein Kritiker behauptet, mit Hilfe von Autobatterien ließen sich Netzschwankungen wirksam dämpfen. Dem möchten wir ausdrücklich widersprechen. Die Batterien der E-Autos taugen nicht zur Pufferung der saisonalen Schwankungen im Wind- und Sonnenstrom über viele Monate hinweg. Die Pufferung innerhalb eines Tages oder einer Woche ist überhaupt nicht relevant. E-Autos sind im Kern einfach nur neue Verbraucher. (Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf folgende Referenzen in unserem Bericht: Leopoldina, Acatech, Union der dt. Akademien der Wissenschaften, "Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. Stellungnahme", 2017, und Sinn, "Buffering Volatility. A Study on the Limits of Germany's Energy Revolution", *European Economic Review* 2017)

3. Welche Variante des Tesla wurde verglichen?

Als wir die Studie zu Beginn dieses Jahres erstellten, befanden sich auf der Homepage von Tesla Deutschland zusammen mit den Verbrauchsangaben nach NEFZ nur zwei Varianten des

Model 3, eines mit 50 kWh, eines mit 75 kWh. Wir haben die zweite Variante genommen, weil wir auf die Reichweite geachtet haben und möglichst weit an den Mercedes C 220 d herankommen wollten, dessen Reichweite viel höher liegt. Beim Model 3 handelt es sich nicht um einen teuren Sportwagen, sondern um das Massenmodell des Konzerns mit vergleichsweise großer Reichweite und ähnlichen Abmessungen wie die C-Klassen-Limousine.

4. Warum benutzt die Studie keine WLTP-Werte?

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie waren die WLTP-Werte für den Tesla noch nicht veröffentlicht. Es gab nur NEFZ-Werte. Nur für den Mercedes 220 d lagen sowohl NEFZ-Werte als auch WLTP-Werte vor. Das haben wir ja auch explizit vermerkt. Wegen dieser Datenbeschränkung haben wir den Vergleich auf der Basis der NEFZ-Werte für den Stromverbrauch bzw. des NEFZ-CO₂-Ausstoßes des Mercedes durchgeführt. Dass die NEFZ-Werte keine realen Durchschnittswerte sind, ist klar. Die Verzerrung gilt aber gleichermaßen für beide Autos. Bei realistischeren Annahmen über die Fahrweise mit einem größeren Autobahnanteil bei hohen Geschwindigkeiten und hohem Luftwiderstand kann der Diesel seine Stärken eher noch besser zur Geltung bringen.

5. Haben wir zu hohe Werte für den CO₂-Ausstoß bei der Batteriefertigung unterstellt? Einige Kritiker bemängeln, dass wir uns auf die ausführliche schwedische Übersichtsstudie von Romare, M. und L. Dahllöf (2017) beziehen und zitieren eine Kritik des Handelsblatts. Das dem Handelsblatt zugeordneten Online-Magazin Edison berichtete am 11. Januar 2019, dass dieser Studie durch einen Journalisten ein Wert von 170 kg CO₂/kWh (Untergrenze eines Intervalls) zugeschrieben wurde. Die Kritiker insinuieren, dadurch seien die erhöhten Zahlen in Umlauf gekommen, die wir verwendet hätten. Richtig sei ein Wert von 140 kg CO₂/kWh, meint das Magazin und verweist dabei auf einen eigenen Bericht.²

Wir haben unsere Informationen indes nicht den Zeitungen, sondern der Studie selbst entnommen und im Best Case mit 145 kg CO₂/kWh gerechnet. Das ist nicht nur mit den Werten vergleichbar, die das Handelsblatt-Magazin für richtig hält, sondern auch mit der Metastudie der *AGORA-Verkehrswende*, die feststellt, dass der Ausstoß an CO₂-Äquivalenten

²<https://edison.handelsblatt.com/erklaren/elektroauto-akkus-so-entstand-der-mythos-von-17-tonnen-co2/23828936.html>

pro kWh Batteriekapazität in der Mehrzahl der Studien zwischen 100 und 200 kg CO₂-Äquivalenten liegt.³

Es sei noch der Hinweis erlaubt, dass bei der schwedischen Studie nicht, wie manche Kritiker vermuteten, die ausschließliche Verwendung von Kohlestrom bei der Batterieproduktion unterstellt wurde. Vielmehr haben die Autoren einen erheblichen Anteil CO₂-freier Energie angenommen.

6. Muss man nicht berücksichtigen, dass die Hersteller versuchen, ihre E-Autos mit grünem Strom zu produzieren?

Rechnungen, die davon ausgehen, dass E-Auto-Hersteller ausschließlich grünen Strom nutzen, sind problematisch. Es gibt in Europa einen Markt für grünen Strom, den man dort separat kaufen kann. Nur wird dieser Strom dann anderen Verwendungen entzogen, die auf fossilen Strom ausweichen müssen. Diese Verdrängung muss man berücksichtigen, wenn man die marginale Energiequelle berechnen will. Wir haben unsere Rechnungen deshalb auf den durchschnittlichen deutschen Energiemix konzentriert.

Wir vermuten, dass der Versuch, große Teile des Verkehrs gleichzeitig mit der Abschaffung der restlichen Kernkraftwerke zu elektrifizieren, wiederum die Kohle in einer Übergangszeit zur marginalen Energiequelle für die Versorgung der E-Autos in Deutschland machen wird. Das würde die CO₂-Bilanz vollends verhaseln. Daran ändert die Behauptung der Hersteller, sie würden mit grünem Strom produzieren, nichts.

Aber unseres zentralen Szenarium nimmt den durchschnittlichen Energiemix an. Auch dann und selbst, wenn wir nur den Minimalwert für den CO₂-Ausstoß bei der Batterieproduktion ansetzen, zeigt sich beim Elektroauto ein etwas höherer Wert für den CO₂-Ausstoß als beim Dieselauto.

7. Haben wir falsche Daten beim Strommix verwendet, um das E-Auto schlechtzurechnen?

Unsere Zahlen basieren auf jenen des Umweltbundesamtes. Es ist richtig, dass man dort auf etwas weniger als 0,5 kg CO₂ pro kWh Strom kommt, während wir einen Wert von 0,55 kg verwenden. Das liegt aber daran, dass die Zahlen des Amtes die Vorketteneffekte, also den

³ Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial, https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf.

CO₂-Ausstoß bei der Förderung und Lieferung der fossilen Brennstoffe bis zum Ort der Verbrennung nicht berücksichtigen. Wir haben dagegen die Vorketteneffekte bei der Kohle, beim Gas und beim Öl auf der Basis der offiziell auch von der EU verwendeten Daten mit eingerechnet. Man vergleiche dazu unsere Tabelle A1 im Anhang, wo der Rechengang ausführlich und für jedermann nachvollziehbar dargestellt wird.

Die Vorketteneffekte haben wir ebenso beim Diesel-Treibstoff berücksichtigt. Dort schlagen sie anteilig sehr viel stärker zu Buche als beim E-Auto, weil der Strom ja nur zur Hälfte aus fossilen Quellen stammt. Die Vorketteneffekte sorgen dafür, dass der CO₂-Ausstoß des Dieselmotors in unserer Rechnung von den angegebenen 117 g/km gemäß NEFZ auf 141 g/km steigt. Durch die Berücksichtigung der Vorketteneffekte gewinnt der Diesel keinen Vorteil gegenüber dem E-Auto wie man zunächst denken könnte, sondern er verliert einen Teil seines Vorteils.

8. Wie lange hält eine Elektrobatterie?

Manche Hersteller reklamieren hohe Laufleistungen von 300.000 km und mehr, wobei sie aber optimale Ladestrategien nutzen, die in der Praxis wenig Relevanz haben. Wir sind von 150.000 km ausgegangen. VW rechnet mit 200.000. Realistisch sind indes, weil es häufig pressiert, schnelle Ladevorgänge mit hoher Ladeleistung, die die Kapazität verringern, weil die Wärme den Batterien zusetzt. Hersteller akzeptieren nach einer umfangreichen Übersichtsstudie von Schmuch et al. mittlerweile, dass sich die Zahl der Ladezyklen unter die *angestrebten* Werte von 1300 bis 2000 verringert und verbauen deshalb Batterien mit größerer Kapazität.⁴

10. Muss man nicht bei den Verbrennungsmotoren mit einem höheren Energieeinsatz bei der Motorproduktion rechnen?

Nach einer Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, die wir in Fußnote 5 unseres Textes zitieren, muss man es nicht, weil der geringere CO₂ Ausstoß bei der Herstellung des Motors eines Elektroautos durch höhere Emissionen bei dessen Zusatzkomponenten ausgeglichen wird. Und selbst wenn man unterstellen würde, dass der CO₂-Ausstoß bei der Herstellung eines Diesel-PKW um ein Drittel über der eines Elektroautos ohne Batterie läge, wären das bei einer Laufleistung von 300.000 km gerade mal

⁴R. Schmuch, R. Wagner, G. Hörpel, T. Placke und M. Winter, "Performance and Cost of Materials for Lithium-based Rechargeable Automotive Batteries", *Nature Energy* 3, April 2018, S. 267 -278.

7 Gramm pro km. Auch diese Information findet sich in unserem Text. Ein Kritiker hatte behauptet, wir hätten das Thema übersehen.

11. Kommen die Elektroautos bei unserer Studie zu schlecht weg?

Wir haben bei unserer Vergleichsstudie an mehreren Stellen Annahmen getroffen, die man als zu günstig für den Elektromotor kritisieren könnte. So haben wir uns bei der Batterie mit der Annahme einer Kapazität von nur 75 kWh begnügt, obwohl man damit bei den betrachteten Autos nur auf eine Laufleistung von ca. 60 Prozent des bei der Verwendung eines Dieseltanks erreichbaren Wertes kommt.⁵

Allein schon eine Korrektur dieses Effektes würde rechnerisch etwa so viele zusätzliche CO₂-Emissionen implizieren (man muss dann auch den Mehrverbrauch aufgrund der schwereren Batterie rechnen), wie solche Emissionen durch eine Verdoppelung der Batterielaufzeiten verringert würden.

Wir haben den Stromverlust an den Transformatoren, Gleichrichtern und ggfs. Kühlaggregaten der Ladestation bei unserer Rechnung nicht berücksichtigt, um auf keinen Fall Annahmen zu setzen, die das Elektro-Auto benachteiligen. Der Effekt ist bei schneller Ladung mit etwa 10% zu veranschlagen.

Hinzu kommt, dass wir darauf verzichtet haben, den hohen Energiebedarf für die Heizung des Elektroautos zu berücksichtigen, der durch die Rekuperation nicht ausgeglichen wird, während die Heizenergie beim Diesel ohne zusätzlichen Treibstoffverbrauch verfügbar ist.

Schließlich haben wir, wie unter Punkt 7 schon erwähnt, zu den Emissionsdaten des Umweltbundesamtes noch die erheblichen Vorketteneffekte bei den fossilen Brennstoffen berücksichtigt, die beim Dieseltreibstoff wesentlich stärker zu Buche schlagen als beim Strom und die rechnerische Bilanz noch weiter zugunsten der Elektroautos verbessern.

Wir finden es erstaunlich, dass diese Aspekte von manchen Kritikern nicht gesehen werden, die uns vorwerfen, wir hätten die E-Autos mit Extremszenarien zugunsten des Diesel schlechtgerechnet. Diesen Vorwurf weisen wir mit Nachdruck zurück.

⁵ Der Mercedes-Tank hat ein Volumen von 41 Litern, das einer Reichweite von 932 km entspricht. Die Kapazität des großen Tesla-Akkus von 75 kWh reicht je nach Ausstattung für 530 km bis zu 560 km, also für 57% bis 60% des Mercedes-Wertes.

12. Widerspricht die VW-Studie unseren Ergebnissen?

Am 24. 4. 2019 hat VW eine eigene Studie zu den Emissionen der E-Autos veröffentlicht, die auch den CO₂-Ausstoß bei der Herstellung berücksichtigt. In dieser Studie, bei der der E-Golf mit dem Golf TDI bei einer Laufleistung von 200.000 km verglichen wird, liegt der CO₂-Ausstoß der Elektroversion beim deutschen Strommix mit 142 g pro km leicht über dem des Diesel, der auf 140 g pro km kommt.⁶

Diese Stellungnahme wird zum Teil kommunikativ als Widerspruch zu unserer Studie aufgebaut, indem nicht auf den deutschen, sondern den europäischen Strommix abgestellt wird, zu dem wegen Frankreich recht viel Atomstrom gehört. Tatsächlich besteht aber gar kein Widerspruch, denn erstens haben wir unsere Rechnung explizit für den deutschen Strommix angestellt und zweitens handelt sich beim Elektro-VW um ein kleineres Fahrzeug mit einer deutlich geringeren Reichweite (253 km) als beim Tesla, der auf ca. 530-560 km kommt.

VW teilt mit (erste Graphik, S. 13, der genannten Publikation), dass bei der Herstellung seines E-Golf inklusive der Batterie 28 Gramm pro km mehr an CO₂ ausgestoßen werden (Laufleistung 200.000 km) als bei der Herstellung des Dieselmotors.

Nimmt man an, dass mindestens dieser Überschuss auf die Batterie entfällt, würde eine Aufrüstung des E-Golf auf die doppelte Reichweite, die dann aber immer noch knapp bei der Hälfte der Reichweite des Dieseltanks liegt, den CO₂-Ausstoß auf 170 Gramm erhöhen. Das sind 21% mehr als VW für den Golf TDI angibt.⁷

Wir haben in unserer Studie im optimistischen Szenarium ausgerechnet, dass der CO₂-Ausstoß eines E-Autos von der Art des Tesla um 11% über dem eines vergleichbaren Diesel

⁶ Volkswagen, *Klimabilanz von Fahrzeugen & Life Cycle Engineering*, Stellungnahme vom 24. 4. 2019. Man vergleiche auch: "VW-Studie: E-Auto umweltfreundlicher als Diesel"; *Produktion*, 24. 4. 2019, S. 13. und 18, <https://www.produktion.de/specials/mobilitaet-zukunft/vw-studie-e-auto-umweltfreundlicher-als-diesel-349.html>;

sowie "VW und Verkehrsminister verteidigen E-Auto", *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 25. April 2019, S. 15.

⁷ Man beachte, dass bei den CO₂-Werten für den Fahrbetrieb in der zitierten Graphik der europäische Energiemix unterstellt wird. Auf S. 18 der VW-Studie wird berichtet, welchen Einfluss unterschiedliche nationale Mischungsverhältnisse verschiedener Energieträger auf die durch den Fahrbetrieb verursachten CO₂-Werte haben.

liegt und im ungünstigsten Fall um 28%. Es kann also nicht die Rede davon sein, dass die VW-Messergebnisse den unseren widersprechen. Sie sind letztlich fast identisch, obwohl wir vollkommen unabhängig voneinander gerechnet haben.

13. Wer hat unsere Studie bezahlt?

Bei unserer Studie handelt es sich nicht um eine Auftragsstudie. Es wurde kein Geld gezahlt, weder an uns noch an das ifo Institut, das uns wie vielen anderen externen Autoren Platz in seinem Publikationsorgan bot. Wir betonen darüber hinaus, dass keiner von uns in einer wirtschaftlichen Beziehung zur Automobil- oder Energiewirtschaft steht. Getrieben haben uns allein das akademische Forschungsinteresse und die Irritation über die CO₂-Richtlinie der EU, nach der bei der Berechnung des Flottenverbrauchs der Hersteller die Elektroautos rechnerisch mit einem CO₂-Ausstoß von Null angesetzt werden. Wir vermuten dahinter eine versteckte Industriepolitik von Herstellern und Staaten, die bei den Elektroautos und der Kernenergie für sich einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den deutschen Herstellern sehen und eine Koalition mit umweltbewussten politischen Kräften in Europa gebildet haben.