



Wie sauber fahren Elektroautos? – Eine Analyse der Umweltbilanz von Elektroautos

von Sebastian Martin

Gegenwärtig ist der deutsche Straßenverkehr zu über 90 Prozent von fossilen Energieträgern abhängig. Mit einem Anteil von über 30 Prozent am Primärenergieverbrauch ist Mineralöl nach wie vor der größte Primärenergieträger in Deutschland. Somit trägt der Straßenverkehr entscheidend zu Schadstoff- und Treibhausgas- Emissionen bei bzw. birgt der Verkehrssektor enormes Potenzial zur Reduktion dieser Emissionen.¹

Die Elektromobilität bietet einen zukunftsweisenden Ansatz, die negativen Umweltfolgen des Verkehrs sowie dessen stetiger Zunahme zu vermindern. Dies gilt insbesondere für den Ausstoß von klimaschädlichen Gasen. Darüber hinaus bietet die Elektromobilität weitere zeitgemäße Antworten auf aktuelle Herausforderungen, denn abgesehen von den lokal anfallenden Klimagasemissionen (wie z.B. CO₂) sind auch die emittierten Luftschadstoffe der Verbrennerfahrzeuge problematisch – allen voran Feinstaub und Stickoxide. Letztere erfahren aufgrund der Debatte um den Dieselantrieb erhöhte Aufmerksamkeit.

Deutschlandweit entfallen ca. 40 % der Stickoxidemissionen auf den Verkehr. In Räumen mit stark erhöhtem Verkehrsaufkommen wie z. B. in Innenstädten, ist der Verkehr für etwa 80 % der Stickoxidemissionen verantwortlich.²

Die über die vergangenen Jahre geführte Debatte um Stickoxide und deren gesundheitlichen Folgen, sowie die Kraftstoffverbräuche von Fahrzeugen, welche im Alltagsbetrieb, häufig von den Angaben der Hersteller abweichen, werfen die Frage auf, wie es um die Umweltbilanz von modernen Verbrennerfahrzeugen steht.

Wie stellt sich die Umweltbilanz dieser modernen Antriebsart dar, wenn auch die Emissionen der Stromerzeuger sowie der Herstellungsprozess der E-Autos inklusive der Traktionsbatterie, Elektromotoren und aller anderen Teile berücksichtigt und diese in ein möglichst transparentes Verhältnis zu Verbrennerfahrzeugen gesetzt werden? Auch bei der Elektromobilität stellt sich die Frage, wie die realen Daten im Alltagsbetrieb ausfallen, wenn nicht auf die Angaben der Hersteller zurückgegriffen wird.

Im Rahmen der Erstellung von Umweltbilanzen können derartig umfassende Untersuchungen erstellt werden.

Hierbei fließt der gesamte Lebenszyklus von Fahrzeugen in die Berechnungen ein: Von der Herstellung aller Bauteile, dem Betrieb des Fahrzeugs mit der hierfür eingesetzten Energie und ihren jeweiligen Eigenschaften, über den Wartungsaufwand bis schließlich zur Entsorgung des Fahrzeuges. Zu berücksichtigen ist außerdem, welche Umweltauswirkungen die Rohstoffe und Energieträger bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung verursacht haben.

¹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, "Mineralöl und Kraftstoffe, Rohstoff für Verkehr" Abgerufen am 11.08.2020 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/konventionelle-energetraeger.html>

² Vgl. Nick Schader (2017) „Luftschadstoffe Stickoxide - welchen Anteil hat der Verkehr?“ Abgerufen am 11.08.2020 von <https://www.swr.de/abgasalarm/luftschadstoffe-stickoxide-welchen-anteil-hat-der-verkehr/-/id=18988100/did=20682692/nid=18988100/ai23qt/>

Für die Erstellung von Umweltbilanzen, die auf realen Nutzungsprofilen aufbauen, sollten demnach nicht die Angaben aus den Fahrzeugpapieren, sondern realistische Verbrauchswerte modelliert werden, welche aus Tests unter Alltagsbedingungen abgeleitet oder direkt gewonnen werden.³

An die Elektromobilität werden im Kontext einer Umweltbilanz beispielsweise die folgenden Fragen gestellt:

- Wie groß ist die tatsächliche Reichweite und Effizienz eines Elektroautos in verschiedenen klimatischen und geographischen Umgebungen?
- Welche Mengen an Schadstoffen entstehen beim Laden mit dem durchschnittlichen deutschen Strommix oder Öko-Strom und wie steht diese im Verhältnis zu den realen Mengen an Schadstoffen, die von Verbrennungsmotoren erzeugt werden?
- Welche Emissionen werden bei der Produktion der Batterien freigesetzt und worauf sind diese zurückzuführen?

Kernaussagen und Erkenntnisse

Tendenziell zeigen sich in den Bewertungsansätzen von ökologischen Fußabdrücken, welche den gesamten Lebensweg eines Elektrofahrzeuges betrachten, gleichgelagerte Ergebnisse für einzelne Lebenswegabschnitte:

- **Nutzungsphase:** Aufgrund der hohen Energieeffizienz des Antriebsstrangs und insbesondere durch den zukünftig steigenden Anteil erneuerbarer Energien in der Strombereitstellung, haben Elektrofahrzeuge in der Nutzungsphase potenzielle Vorteile gegenüber Verbrennerfahrzeugen, da zunehmend weniger Schadstoffe emittieren werden.
- **Herstellungphase:** Nachteilig gegenüber Verbrennungsfahrzeugen stellt sich bei Elektrofahrzeugen vor allem die Fahrzeugherstellung dar. Der kumulierte

Rohstoffaufwand, hoher Wasserbedarf sowie das Versauerungspotential werden überwiegend durch die Herstellung der Fahrzeuge beeinflusst. (Das Versauerungspotenzial stellt die Summe sämtlicher emittierter Gase des Herstellungsprozesses als SO₂-Äquivalent (Schwefeldioxid) dar, welche in Verbindung mit Wasser (saurer Regen) zur Versauerung von Gewässern und Böden beitragen können.)

Verschiedene Analysen deuten darauf hin, dass die Emissions-Reduktions-Vorteile von Elektrofahrzeugen in den nächsten Jahren jedoch weiter zunehmen werden, was insbesondere auf den Ausbau der erneuerbaren Energien zurückzuführen ist. Darüber hinaus werden sich die Nachteile durch Verbesserung spezifischer Batterieeigenschaften und verstärktes Recycling verringern. Die Voraussetzungen hierfür sind jedoch ein stetiger Umbau der Energiewirtschaft sowie eine rohstoffeffiziente Produktgestaltung und eine optimierte Kreislaufwirtschaft.⁴

Emissionsbilanzen von Elektroautos

Die gemeinnützige Organisation Council on Clean Transportation (ICCT) hat es sich zur Aufgabe gemacht, hochqualitative und Lobby-unabhängige Forschung zu betreiben sowie technische und wissenschaftliche Analysen für Umweltbehörden zu erstellen. Im Rahmen einer Metastudie hat die ICCT die Ergebnisse von Studien zur Nachhaltigkeit von Elektroautos aus den Jahren 2011 bis 2017 analysiert und ist zu der Erkenntnis gekommen, dass Elektroautos bereits heute klimafreundlicher als Verbrennerfahrzeuge sind.

Aktuelle Elektroautomodelle verursachen laut Erkenntnissen des ICCT nur etwa die Hälfte der Treibhausgasemissionen der durchschnittlich in Europa zugelassenen Verbrennerfahrzeuge, wenn die Elektrofahrzeuge mit 100 Prozent regenerativ erzeugtem Strom geladen werden. Wird dem Laden der Elektrofahrzeuge ein Durchschnitt des europäischen Strommixes zugrunde gelegt, liegt der Vorteil der

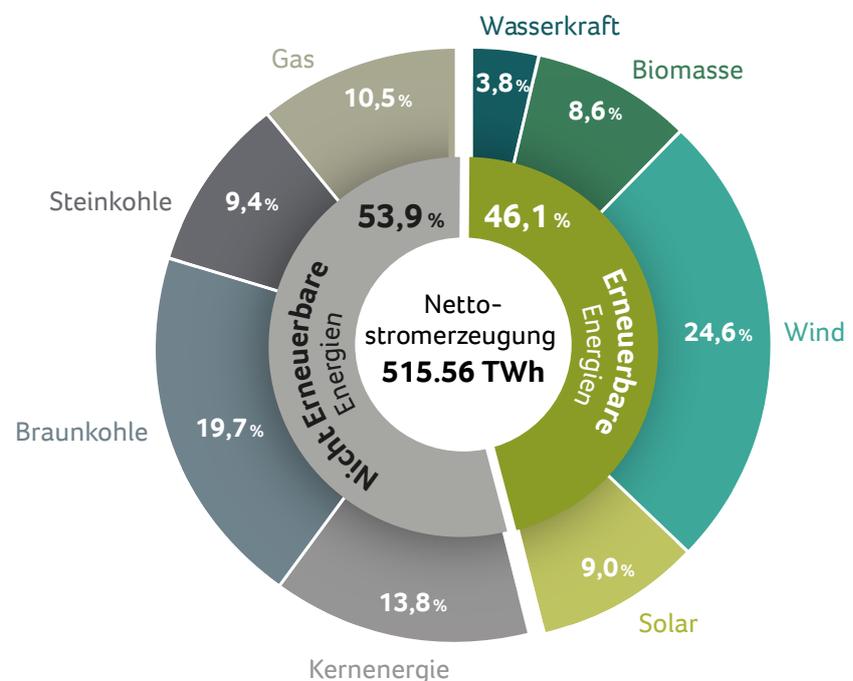


Abbildung 1: Nettostromerzeugung aus Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung.
Quelle: atene KOM GmbH (Datenquelle: Fraunhofer ISE)

³ Vgl. Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2019), „Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz“, S. 5

⁴ Vgl. Helms Hinrich, Jöhrens Julius, Kämper Claudia, Giegrich Jürgen, Liebich Axel, Vogt Regine, Lambrecht Udo (August 2014), „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit“ S.5

Elektrofahrzeuge bei 30 % weniger Emissionen gegenüber den Verbrennerfahrzeugen.

Grundsätzlich positiv stellt sich demnach die Bilanz der Elektrofahrzeuge in Ländern mit hohem Anteil an regenerativ erzeugtem Strom dar, wie beispielsweise in Norwegen. Hier emittieren Elektroautos bezogen auf den gesamten Lebenszyklus weniger als ein Drittel der anfallenden Emissionen eines durchschnittlichen Verbrennerfahrzeugs.

Eine ähnlich positive Bilanz wie reine Batterie-Elektroautos weisen Plug-in-Hybride auf, wenn diese überwiegend im Elektromodus betrieben und mit regenerativ erzeugtem Strom geladen werden. Dies ist auf die Kombination aus Verbrennungsmotor, Elektromotor und vergleichsweise kleinerer Batterie mit begrenzter Reichweite zurückzuführen. Durch die kleinere Batterie wird der energie- und emissionsintensive Einfluss der Batterieproduktion reduziert.

Im Hinblick auf die Emissionen, die bei der Produktion von vollwertigen Elektroautobatterien entstehen, kommt das ICCT zu dem Ergebnis, dass diese Emissionen der Elektroautobatterie-Herstellung den durchschnittlichen Emissionen entsprechen, welches ein Verbrennungsfahrzeug im Nutzungszeitraum von zwei Jahren emittiert. Dieser Berechnung wurde der Durchschnitt des deutschen Strommixes zugrunde gelegt. Bei Elektroautos, welche ausschließlich mit erneuerbaren Energien geladen werden, ist der Ausgleich bereits nach etwa eineinhalb Jahren erreicht. Ab dieser Nutzungsdauer verschiebt sich die Emissionsbilanz zugunsten der Elektrofahrzeuge.⁵

Zu beachten ist, dass die der Aussage zugrunde liegende Berechnung des ICCT mit den Daten des deutschen Strommix von 2017 rechnet. Der

Anteil der Nettostromerzeugung der erneuerbaren Energien lag 2017 bei 38,5 % 2019 lag dieser Wert jedoch bereits bei ca. 46 %.⁶

Hierdurch hat sich der Ausgleich zwischen der Batterie-Herstellungs-Emissionsbilanz und Verbrenner-Fahrzeugemissionen, Zugunsten der Elektrofahrzeuge verschoben. Der Zeitraum bis zum Emissions-Bilanzausgleich ist darüber hinaus im Kontext des durchschnittlichen Alters der in Deutschland zugelassenen Pkw zu betrachten, welches laut Kraftfahrtbundesamt im Jahr 2018 bei 9,4 Jahren lag.⁷ Mit dem Anstieg der regenerativen Strom-Anteile am deutschen Strommix wird sich der Anteil der Batterie-Produktion an den Lebenszyklus-Emissionen von Elektroautos weiter reduzieren.

Bei den getroffenen Aussagen ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Daten zu den Emissionen der Batterieproduktion von Elektroautos zum Teil erheblich unterscheiden, was sich auf die verschiedenen Berechnungsgrundsätze bzw. die Art der Datenerfassung zurückführen lässt. Je nach Ansatz werden Emissionen teilweise einfach oder doppelt gerechnet. In diesem Themengebiet wird daher weitere Forschung zum Zwecke größerer Transparenz nötig sein. (siehe Absatz „Batterieproduktion“)⁸

Dennoch zeigt sich, dass ein Elektrofahrzeug in Europa im Verhältnis zu einem vergleichbaren Verbrennungsfahrzeug im Durchschnitt 50 % weniger Lebenszyklus-Treibhausgase über die ersten 150.000 Kilometer Fahrleistung emittiert. Abhängig von der Zusammensetzung des jeweiligen Strommixes liegt der tatsächliche Vorteil dann zwischen 28 % und 72 %.⁹

Batterieproduktion

Die Emissionen der Herstellung von Elektrofahrzeugbatterien, wurden wie bereits erwähnt, in

einer Reihe von Studien eingehend untersucht. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen kommen diese Studien zu stark abweichenden Zuordnungen von 56 bis 494 Kilogramm Kohlendioxid pro Kilowattstunde Batteriekapazität (kg CO₂/kWh).

Zurückzuführen sind diese Schwankungen auf die für die Erstellung einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) verwendete Methodik zur Erfassung derartiger Daten, welche grundsätzlich einen großen Einfluss auf ihre Schlussfolgerungen hinsichtlich der Kohlenstoffintensität von Produktionsprozessen haben kann. Die hohe Bandbreite der ermittelten Werte zeigt die Herausforderungen bei der Beurteilung von Lebenszyklusemissionen, welche auf die Vielfalt der Herstellungsmethoden der unterschiedlichen Batterien Typen und die Eigenheiten der jeweiligen Rohstoffe zurückzuführen ist. Prinzipiell unterscheidet sich die Methodik zur Erstellung einer Ökobilanz nach den Prinzipien einer Bottom-up- oder einer Top-down-Analyse.

Eine Bottom-up-Analyse berücksichtigt die Daten für jede Phase jeder einzelnen Komponente einer Batterie und aggregiert diese verschiedenen Komponenten zu einer Gesamtsumme. Im Gegensatz hierzu ermittelt die Top-Down-Analyse zunächst die Gesamtemissionen einer Fabrik und ordnet diese Emissionen den verschiedenen Prozessen zu. Top-down-Bestände berücksichtigen tendenziell einen höheren Anteil an genutzter Hilfsenergie, können bestimmte Prozesse und Emissionen jedoch doppelt erfassen und werten. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise zeigen Top-Down-Analysen typischerweise höhere Emissionswerte, oft um den Faktor zwei oder höher.

5 Vgl. Lutz Leonie (2019), „ICCT-Studie: E-Autos sind umweltfreundlicher als Verbrenner“ Abgerufen am 11.08.2020 von <https://aiomag.de/icct-studie-e-autos-sind-wirklich-umweltfreundlicher-6232>

6 Vgl. Prof. Dr. Bruno Burger (2020) „Fraunhofer ISE, Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019: Mehr erneuerbare als fossile Energieerzeugung“ Abgerufen am 11.08.2020 von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2019/oeffentliche-nettostromerzeugung-in-deutschland-2019.html>

7 Vgl. Kraftfahrtbundesamt „Durchschnittsalter der Personenkraftwagen wächst“ Abgerufen am 11.08.2020 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/fahrzeugalter_node.html am 11.08.2020

8 Vgl. Lutz Leonie (2019) „ICCT-Studie: E-Autos sind umweltfreundlicher als Verbrenner“ Abgerufen am 11.08.2020 von <https://aiomag.de/icct-studie-e-autos-sind-wirklich-umweltfreundlicher-6232>

9 Vgl. Hall Dale and Lutsey Nic (2018), „Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, ICCT“, S. 5



Abbildung 2: Batteriepack eines Elektroautos
Quelle: adobe Stock

Die Einflussfaktoren der Methodik und der Dateneingangsfaktoren, deuten darauf hin, dass Aussagen zu den Umweltbilanzen von Produktionsstätten für Elektrofahrzeugbatterien lediglich in einer gewissen Bandbreite getroffen werden können. Viele der Studien welche diesen Sachverhalt thematisieren, kommen jedoch zu der Erkenntnis, dass der größte Teil der Kohlenstoffemissionen im Batterieherstellungsprozess, dem eingesetzten Strom zugerechnet werden kann.

Daher kann die Verwendung von regenerativ erzeugtem Strom eine signifikante Reduktion der Emissionen bei der Batterieherstellung sicherstellen. Darüber hinaus ist auch die Art der eingesetzten Batteriechemie für den Grad der Emissionen entscheidend, da einige Chemikalien und hieraus resultierende Batterietypen über höhere Konzentrationen von energieintensiven Metallen verfügen. Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten, wie recycelte Materialien verwendet werden können, beziehen die aufgeführten Studien das Batterierecycling in der Regel nicht mit ein.¹⁰

Fazit

Betrachtet man die Fahrzeug-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung bis zum Ende der Nutzungsphase,

emittieren Elektrofahrzeuge signifikant weniger schädliche Gase als moderne effiziente Verbrennerfahrzeuge.

Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass Elektrofahrzeuge mit regenerativ erzeugter Energie geladen werden. Aus der Analyse verschiedener Umweltbilanzen geht hervor, dass die Nutzungsphase von Elektroautos mit einem Anteil von im Durchschnitt deutlich über 50 Prozent an den Gesamtemissionen den höchsten Einfluss auf die Klimabilanz von Elektroautos hat. Dementsprechend spielt dabei die CO₂-Intensität der Stromerzeugung eine entscheidende Rolle. Der noch immer recht hohe Anteil an kohleerzeugtem Strom in Deutschland wirkt sich folglich negativ auf die Emissionen von Elektroautos aus, wenn diese mit dem deutschen Strommix und nicht mit Öko-Strom produziert und geladen werden.

Obwohl die hohen Emissionen bei der Herstellung der Batterien die Umweltvorteile von Elektrofahrzeugen im Lebenszyklus nicht überwiegen, ist der Anteil dieser Emissionen in der Gesamtbetrachtung der Emissionen von Elektrofahrzeugen gegenwärtig doch beträchtlich. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch die schnelle Veränderung der Lithium-Ionen-Batterie-Industrie. Größere und effizientere

Fabriken haben in der Regel einen geringeren Emissionsausstoß pro kWh. Darüber hinaus, deutet eine Reihe von Trends darauf hin, dass die Emissionen aus der Batterieproduktion in Zukunft zurückgehen und hiermit zu einer weiteren Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen werden kann.

Zu diesen Aspekten gehören die fortschreitende Netzdekarbonisierung durch einen beständig steigenden regenerativen Stromanteil im Strommix sowie das „Battery second life“ und das Batterierecycling.

Netzdekarbonisierung Der Strom, der für den Batterieherstellungsprozess eingesetzt wird, ist für etwa die Hälfte der Emissionen aus der Batterieproduktion verantwortlich. Ein verstärkter Einsatz von erneuerbaren Energien sowie effizientere Kraftwerke können also zu geringeren Emissionen beitragen. Aktuelle Prognosen erwarten bis zum Jahr 2030 in den Märkten, die aktuell noch über einen hohen Kohlestromanteil verfügen, eine Reduktion dieses Anteils um 30 %.

„Battery second life“ Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen bieten nach ihrer Nutzungsphase im Fahrzeug die Möglichkeit einer Wiederverwendung in stationären Speicheranwendungen. Dies wiederum ermöglicht es, den ökologischen Fußabdruck der Batterieproduktion auf ein breiteres Nutzungsspektrum zu verteilen. Typischerweise verfügen Traktionsbatterien nach ihrer Nutzungsphase im Fahrzeug über 75 %-80 % ihrer ursprünglichen Kapazität. Sie können daher eine wichtige Rolle bei der Stabilisierung von Stromnetzen leisten, insbesondere da der intermittierende/fluktuierende Anteil erneuerbarer Energien stetig zunimmt.

Batterierecycling Mit dem Wachstum der Elektrofahrzeugindustrie wird auch das Batterierecycling zunehmen. Die Materialproduktion ist für etwa die Hälfte der Treibhausgasemissionen aus der Batterieproduktion verantwortlich.

Recycelte Materialien haben in der Regel einen geringeren CO₂-Fußabdruck als neu produzierte Materialien - beispielsweise fallen bei

der Nutzung von recyceltem Aluminium ca. 95 % weniger Treibhausgase an als bei der Herstellung der gleichen Komponenten aus natürlichen Quellen.¹¹

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Berechnungsarten der Lebenszyklus-Emissionen von Elektrofahrzeugen, zeigt sich, dass trotz der

hohen Unterschiede in den ermittelten Werten die Elektromobilität ein enormes Potenzial bietet aus dem Zusammenspiel von regenerativen Energien, Batterierecycling, „Battery second life“ und der fortschreitenden Entwicklung der Batterie-Technologie einen signifikanten Beitrag zur Emissionsreduktion zu leisten.

11 Vgl. ebd. S. 7



Über den Autor

Sebastian Martin hat Kunststoff- und Elastomertechnik an den Hochschulen für angewandte Wissenschaften Rosenheim und Würzburg studiert. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in den Themenbereichen Digitalisierung, nachhaltige Technologien und Energieeffizienz.

s.martin@atenekom.eu

Über die atene KOM

Die atene KOM GmbH aus Berlin begleitet den öffentlichen Sektor bei der Projektentwicklung in den Bereichen Digitalisierung, Energie, Mobilität, Gesundheit und Bildung.

Wir bringen Kommunen, Landkreise und Unternehmen zusammen und entwickeln gemeinsam die Infrastruktur für die Zukunft. Die Stärkung des ländlichen Raums steht im Fokus unserer Arbeit.

www.atenekom.eu

