

Elektroautos, Strom und CO₂-Emissionen. So rechnet man richtig

Dr. Helmut Zell

Stand 16.04.2024

1	Wie klimafreundlich ist das E-Auto?	1
1.1	<i>Autos schaden dem globalen Klima. E-Autos auch?.....</i>	1
1.2	<i>Eine Fülle an Studien, doch kein einheitliches Ergebnis.....</i>	1
1.3	<i>Die erhofften Vorteile des E-Autos</i>	2
1.4	<i>Mit deutschen E-Autos die weltweiten CO₂-Emissionen um 0,1% senken.....</i>	2
2.	Die CO ₂ -Emissionen des Stroms berechnen. Durchschnitts- oder Grenzstrom-Ansatz?	3
2.1	<i>Der CO₂-Emissionsfaktor. Eine entscheidende Größe</i>	3
2.2	<i>Eine Analogie: Wasser von der Quelle und Wasser aus dem Tiefbrunnen.....</i>	3
2.3	<i>Welchen Strom beziehen Marsianer nach ihrer Landung auf der Erde?.....</i>	4
2.4	<i>Bezieht die Kaffeemaschine einen anderen Strom als das E-Auto?</i>	5
2.5	<i>E-Autos sind neue Dauerverbraucher.....</i>	6
2.6	<i>Der CO₂-Emissionsfaktor. Durchschnitts- oder Marginalansatz?</i>	7
2.7	<i>Welcher CO₂-Emissionsfaktor ist für E-Autos anzuwenden?</i>	9
3.	Befürworter und Kritiker. Durchschnittsstrom- und Grenzstromrechner	10
3.1	<i>So rechnen die E-Auto-Befürworter.....</i>	10
3.2	<i>So rechnen Kritiker des E-Autos.....</i>	13
4.	Das Strommodell: Zwei Erzeuger, zwei Verbraucher und zwei Fälle	17
4.1	<i>Das Modell.....</i>	17
4.2	<i>Erzeuger E1. Strom aus Erneuerbaren Energien.....</i>	18
4.3	<i>Erzeuger E2. Strom aus fossilen Kraftwerken.....</i>	18
4.4	<i>Verbraucher V1. Die bisherigen Verbraucher</i>	19
4.5	<i>Verbraucher V2. Die neue Verbrauchergruppe E-Auto</i>	19
4.6	<i>Fall A: Eine neue Verbrauchergruppe. CO₂-Emissionen?</i>	19
4.7	<i>Fall B: EE-Strom verdrängt Fossilstrom. CO₂-Emissionen?.....</i>	20
4.8	<i>Diesen Zusammenhang gibt es nicht.....</i>	21
5.	Stromerzeugung und CO ₂ -Emissionen in Deutschland (2018 – 2023)	21
5.1	<i>Nettostromerzeugung in Deutschland 2018 – 2023.....</i>	21
5.2	<i>Fossiler Strom in der Nettostromerzeugung in Deutschland.....</i>	22

5.3	<i>Anteil fossilen Stroms an der Nettostromerzeugung in Deutschland</i>	22
5.4	<i>CO2-Emissionsfaktor der Stromerzeugung Deutschlands</i>	23
5.5	<i>CO2-Emissionsfaktor anderer Länder</i>	23

1 Wie klimafreundlich ist das E-Auto?

1.1 Autos schaden dem globalen Klima. E-Autos auch?

Gegenwärtig verpesten weltweit mehr als 1,3 Milliarden Pkw mit ihren Abgasen die Atmosphäre. In Deutschland emittieren rund 49 Millionen Pkw jährlich über 120 Millionen Tonnen CO₂. Angesichts der bedrohlich zunehmenden Erderwärmung und der nationalen und globalen Umweltprobleme wird immer deutlicher, dass Autos mit Verbrennungsmotoren ein gravierendes Problem für das Klima darstellen. Deshalb setzte die Bundesregierung auf die Förderung der Elektromobilität. Durch einen Austausch der Verbrenner-Fahrzeuge durch E-Autos sollen in großem Umfang CO₂-Emissionen eingespart werden. Doch sind E-Autos tatsächlich klimafreundlicher als Verbrenner-Autos? Und wenn ja, unter welchen Bedingungen?

Zu dieser Fragen wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Studien erarbeitet. Die Ergebnisse sind unterschiedlich. Viele ermitteln signifikante ökologische Vorteile des E-Auto. Dagegen kommen andere Studien zum Ergebnis, dass E-Autos bei der gegenwärtigen Stromversorgung in Deutschland die CO₂-Emissionen nicht mindern. Gegenwärtig dominieren die E-Auto-Befürworter die Diskussion. Doch ob das E-Auto tatsächlich CO₂ reduziert, bleibt umstritten. Die vorliegende Untersuchung ist ein Versuch, diese Frage aus volkswirtschaftlicher Sicht sachlich richtig, verständlich und überzeugend zu klären.

1.2 Eine Fülle an Studien, doch kein einheitliches Ergebnis

Gegen heftigen Widerstand der Autobauer hat sich nach viele Jahren strittiger Diskussion das E-Auto als technische Lösung für den motorisierten Individualverkehr durchgesetzt. Heute scheinen die Vorteile des E-Autos für viele offensichtlich: Jeder kann weiterhin so viel fahren wie er will, jetzt halt elektrisch, ökologisch verträglich und mit gutem Gewissen. Und der Umstieg wird auch noch staatlich gefördert, weil der Gesetzgeber davon ausgeht, dass Elektrofahrzeuge über den gesamten Produktlebenszyklus klimafreundlicher als Verbrenner sind.¹ Man geht davon aus, dass E-Autos im Vergleich zum Verbrenner bereits beim heutigen Kraftwerksmix effizienter seien und damit zu einer Verringerung des CO₂-Ausstoßes beitragen können.²

Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) stützt diese Ansicht. Nach einer ihrer Veröffentlichung von 2021 liegen die Treibhausgasemissionen eines heutigen Elektrofahrzeugs der Kompaktklasse über den gesamten Lebensweg niedriger als bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Es erzeuge gegenüber einem Benziner etwa 30 Prozent, gegenüber einem vergleichbaren Diesel etwa 23 Prozent weniger Klimagase.³

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine Studie des ISI-Fraunhofer-Instituts. Danach lassen bei einem E-Auto der Mittelklasse die Treibhausgas-Emissionen gegenüber einem Verbrenner um 32 Prozent reduzieren. Bei schweren E-Autos betrage die Einsparung immerhin noch 4 %. Allerdings gelten diese Werte nur bei der Verwendung des Emissionsfaktors des deutschen Strommixes, was wir im Folgenden noch kritisch prüfen werden.⁴

¹ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/umgang-mit-desinformation/faktencheck-klimakrise-1936176>

² <https://bmdv.bund.de/blaetterkatalog/catalogs/219176/pdf/complete.pdf>, Seite 8

³ BMU: Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz, Januar 2021, S. 7

⁴ Fraunhofer, ISI, 01/2020, Martin Wietschel, Ein Update zur Klimabilanz von Elektrofahrzeugen, 2020, S. 13

Auch das österreichische Umweltbundesamt stellt in einem Papier von 2021 fest, dass Elektroautos in allen Größenkategorien der Pkw hinsichtlich des Klimas die Nase vorn haben. Beim E-Auto ergeben sich gegenüber dem Verbrenner CO₂-Einsparungen von rund 50 %, wenn der durchschnittliche österreichische Strom zum Einsatz kommt. Sogar 79 Prozent, wenn das E-Auto vollständig mit erneuerbarer Energie betrieben wird.⁵

1.3 Die erhofften Vorteile des E-Autos

Auf der plausibel klingenden Annahme, dass das E-Auto gegenüber dem Verbrenner CO₂ einspart, beruht die 2015 formulierte E-Mobilitätsstrategie der Bundesregierung. Jedoch gibt es kritische Stimmen von Fachleuten, die die ökologischen Vorteile des E-Autos deutlich skeptischer einschätzen. Viele der positiven Einschätzungen zum E-Auto beruhen auf wissenschaftlich nicht abgesicherten Plausibilitätsüberlegungen. Die Klimabilanz des E-Autos wird durch die Auswahl günstiger Annahmen und Prognosen schöngerecht. Staatliche Förderprogramme sind dann nach diesen Einschätzungen nicht zielführend.

Unstrittig ist, dass die Emissionen, die bei der Herstellung des Ladestroms der E-Autos entstehen, bei der Klimabilanz des E-Autos berücksichtigt werden müssen. Beim Verbrenner-Auto lassen sich die Abgase und die CO₂-Emissionen mittels Sonde am Auspuff noch relativ einfach messen. Dafür gibt es Messvorrichtungen und standardisierte Messverfahren. Dagegen können die CO₂-Emissionen der E-Autos nicht direkt gemessen, sondern müssen anhand physikalisch-technischer Daten errechnet werden. Die zahlreichen Studien zur Klimabilanz der E-Autos kommen aufgrund unterschiedlicher Annahmen und methodischer Konzepte zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Wie die Umstellung auf ein E-Auto auf das Klima wirkt, lässt sich nicht direkt messen, etwa als Veränderung CO₂-Volumenanteils (ppm) in der Erdatmosphäre. Dazu ist ihr Einfluss zu gering. Ein Denkfehler bei der Berechnung kann deshalb verborgen bleiben.

1.4 Mit deutschen E-Autos die weltweiten CO₂-Emissionen um 0,1% senken

Insgesamt wurden 2023 weltweit 36,8 Milliarden Tonnen CO₂ ausgestoßen, ein Plus von 1,1 Prozent gegenüber dem Vorjahr.⁶ Deutschland verursachte in 2021 rund 665,9 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen (China 11.396; USA 5057, Indien 2.829)⁷, also rund 1,8 Prozent der weltweiten Emissionen. Davon beträgt der Anteil der deutschen PKW etwa 0,3 Prozent. Wenn durch die Umstellung des Autoverkehrs auf E-Autos eine Einsparung von etwa 30% möglich sein soll (BMU, siehe oben), errechnet sich dadurch eine Minderung der weltweiten CO₂-Emissionen um gerade einmal 0,1%. Damit sollen die Klimaschutzmaßnahmen durch die E-Mobilität nicht negiert werden, aber doch deutlich machen, dass sie für das Weltklima nur eine begrenzte Rolle spielt.

⁵ Umweltbundesamt Österreich. Die Ökobilanz von Personenkraftwagen. Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO₂-Reduktionspotential und Energieeinsparung. S. 31, <https://www.umweltbundesamt.at/news210427>

⁶ <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/klimaschutz-co2-emissionen-steigen-auf-neuen-hoehstwert/100001516.html> (08. September 2023)

⁷ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167864/umfrage/co-emissionen-in-ausgewaehlten-laendern-weltweit/>

2. Die CO₂-Emissionen des Stroms berechnen. Durchschnitts- oder Grenzstrom-Ansatz?

2.1 Der CO₂-Emissionsfaktor. Eine entscheidende Größe

Der CO₂-Emissionsfaktor gibt an, wie viel Gramm CO₂ bei der Erzeugung einer kWh Strom entsteht. Seine Größe bestimmt ganz wesentlich, ob das E-Auto gut oder schlecht für die Klimabilanz ist.

In der Werbung für das E-Auto wird der -Faktor 0 g CO₂/km genannt. Die bei der Herstellung des Ladestroms für das E-Auto entstehenden Treibhausgase werden dabei nicht berücksichtigt.⁸ In wissenschaftlicher Hinsicht ist diese Angabe nicht ernst zu nehmen.

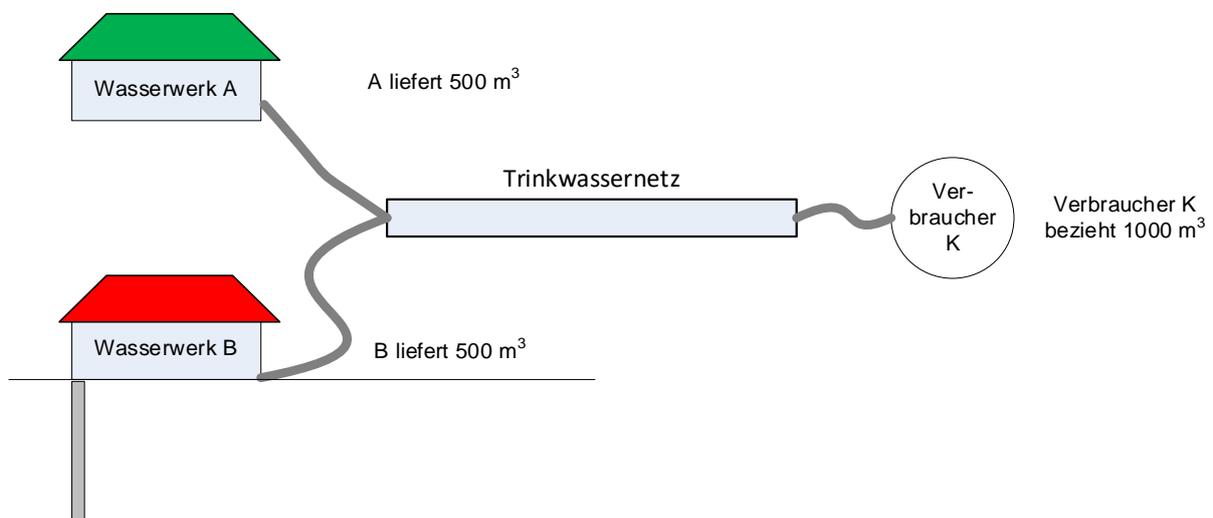
Für die ökologische Einschätzung des E-Autos werden zwei Größen für den CO₂-Emissionsfaktor genannt:

- nach dem Durchschnittsansatz (300 bis 500 g CO₂/KWh)
- nach Grenzstrom- oder Marginalansatz (800 bis 1.000 g CO₂/KWh)

Bei der Frage, welcher der beiden anzuwenden ist, besteht unter den Beteiligten keine Einigkeit. Die Mobilitätswende der Regierung beruht auf der Annahme, dass der CO₂-Emissionsfaktor für den Durchschnittsstrom die realen Emissionen wiedergibt. Damit erscheint das E-Auto in einem guten ökologischen Licht, was die hohen Subventionen begründet. Manche Wissenschaftler und Institute unterstützen diese Sichtweise, andere vertreten den Marginalstromansatz. Die wissenschaftliche Community ist in dieser Frage gespalten. Man kann keine Einigkeit erzielen, was verwunderlich ist, da es sich im Grunde genommen um eine technisch-physikalische Fragestellung handelt, bei der subjektive Einschätzungen keine Rolle spielen sollten.

2.2 Eine Analogie: Wasser von der Quelle und Wasser aus dem Tiefbrunnen

Wir nähern uns der Frage nach der richtigen Erfassung der CO₂-Emissionen mit einem Gedankenexperiment aus der Wasserwirtschaft: Wir stellen uns vor, es gäbe zwei Wasserwerke A und B, die Wasser in ein Trinkwassernetz einspeisen. Jedes Wasserwerk liefere 500 m³ pro Tag an die Verbrauchergruppe K, also insgesamt 1.000 m³. Wasserwerk A entnimmt das Wasser einer nahegelegenen Quelle, Wasserwerk B pumpt sein Wasser aus einem 100 Meter tiefem Bohrloch.



⁸ <https://de.statista.com/infografik/25742/durchschnittliche-co2-emission-von-pkw-in-deutschland-im-jahr-2020/>

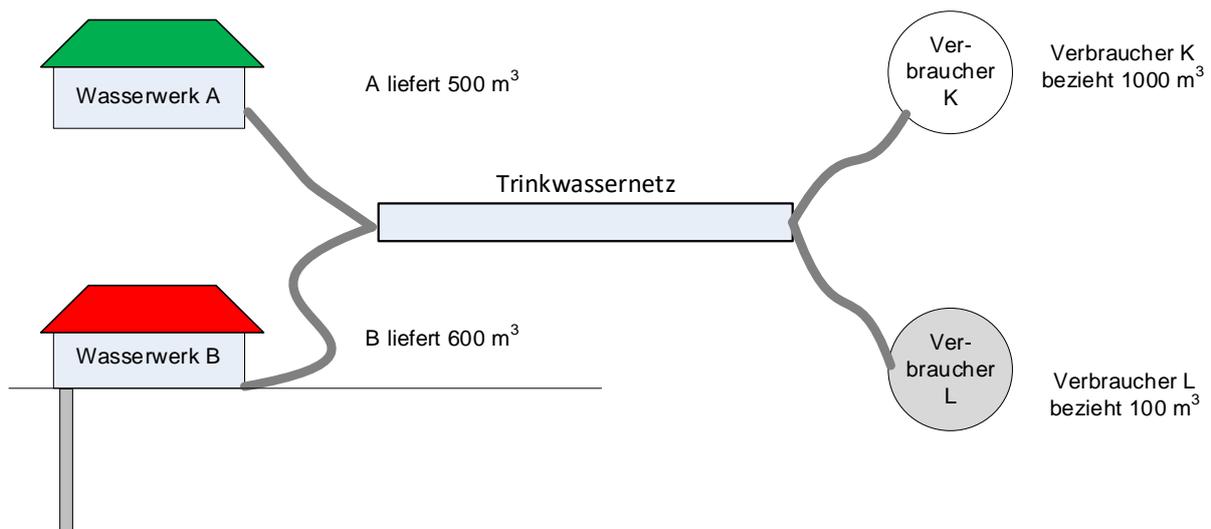
Da Wasserwerk A sein Wasser „ebenerdig“ ins Netz einspeisen kann, entsteht dafür kein Energieaufwand. Das Wasser von A ist sozusagen „emissionsfrei“. Dagegen holt Wasserwerk B sein Wasser mit einer elektrischen Pumpe aus 100 Meter Tiefe. Der Energieaufwand für das Hochpumpen von einem Kubikmeter beträgt 0,6 kWh und für 500 Kubikmeter entsprechend 300 kWh ($0,6 * 500$).

Da Wasserwerk A sein Wasser direkt in das Netz einspeisen kann, entsteht dafür kein Energieaufwand. Das Wasser von A ist sozusagen „emissionsfrei“. Dagegen holt Wasserwerk B sein Wasser mit einer elektrischen Pumpe aus 100 Meter Tiefe. Der Energieaufwand für das Hochpumpen von einem Kubikmeter beträgt 0,6 kWh und für 500 Kubikmeter entsprechend 300 kWh ($0,6 * 500$).

Welche Emissionen entstehen a) bei Wasserwerk A, und b) bei Wasserwerk B?

Da beim Wasserwerk A keine Pumpen im Einsatz sind, sind die Emissionen null. Für die Emissionen bei B ist der CO₂-Emissionsfaktor relevant. Wenn er beispielsweise 0,5 kg/kWh beträgt, entstehen für das Hochpumpen von 500 Kubikmeter Wasser CO₂-Emissionen in Höhe von 150 kg CO₂ ($300 \text{ kWh} * 0,5 \text{ kg/kWh} = 150 \text{ kg CO}_2$).

Jetzt nehmen wir an, dass sich ein neuer Verbraucher L einen täglichen Wasserbedarf von 100 m³ anmeldet. Da die Quelle des Wasserwerks A erschöpft ist, kann es nicht liefern. Dagegen hat Wasserwerk B Kapazitäten frei. Wasserwerk B liefert nun 500 m³ an Verbraucher M plus 100 m³ an Verbraucher L, also insgesamt 600 m³.



In den Reservoirs und Leitungen des Trinkwassernetz werden die Wassermengen vermischt. Nun stellt sich die Frage, von welchem Wasserwerk der Verbraucher L sein Wasser bekommt. Vom „emissionsfreien“ Wasserwerk A oder vom B, das sein Wasser aus einem Tiefbrunnen pumpen muss?

Die Antwort kann nur sein: Das Wasser für den Verbraucher L kommt von Wasserwerk B.

Verbraucher L muss seine Wasserrechnung an B bezahlen. Es sind die CO₂-Emissionen anzusetzen, die bei der Wassergewinnung des Kraftwerks B entstehen.

Ähnliche Probleme bei der Zurechnung der Emissionen gibt es in einem Stromnetz. Auch dort gibt es mehrere Erzeuger und mehrere Verbraucher. Wir kommen bei den Stromlieferungen darauf zurück.

2.3 Welchen Strom beziehen Marsianer nach ihrer Landung auf der Erde?

Eine Expedition von Marsianern hat zu Beginn des Jahres eine Station auf der Erde eingerichtet. Für den Eigenverbrauch der Station und die interstellare Kommunikation entsteht ein Strombedarf von 10 TWh pro Jahr, der dem deutschen Stromnetz entnommen wird. Frage: Welche Auswirkungen wird

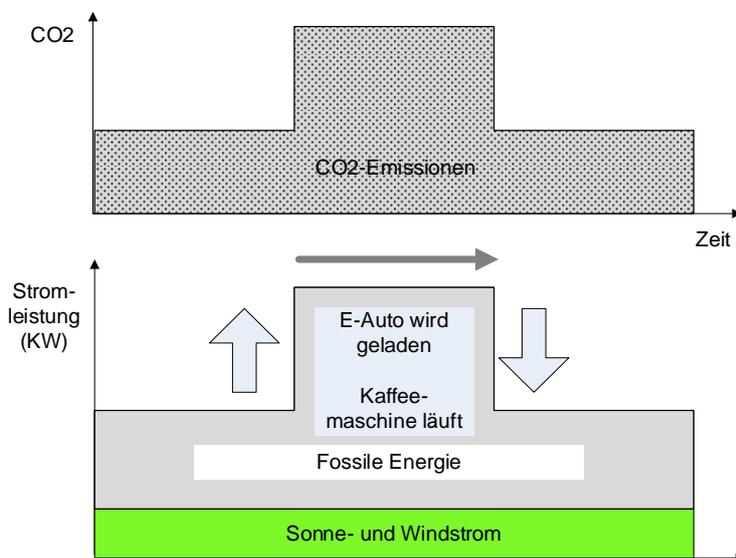
das auf die CO₂-Emission der Erde haben? Welcher CO₂-Emissionsfaktor ist anzuwenden? Grenzstrom oder Durchschnittsstrom?

Wenn die Marsianer beginnen ihren Strombedarf aus dem deutschen Stromnetz zu beziehen, werden sich die On- und Offshore-Windräder schneller drehen oder die Sonne heller scheinen? Nein. In den Gaskraftwerken wird mehr Gas in die Verbrenner strömen und in den Kohlekraftwerken wird mehr Kohle verfeuert werden. Dadurch steigen die CO₂-Emissionen. Wenn nun die Aliens zum Ende des Jahres die Erde wieder verlassen, sinkt der Strombedarf wieder auf den vorherigen Stand. In den Kraftwerken wird weniger Gas und Kohle verbrannt und die Emissionen sinken entsprechend. Die Marsianer haben für die Dauer ihres Aufenthalts das Klima verpestet.

E-Autos sind wie die Marsianer zusätzliche Verbraucher, die Fossilstrom beziehen. Deshalb sind in beiden Fällen für die Berechnung der marginale CO₂-Emissionsfaktor anzuwenden.

2.4 Bezieht die Kaffeemaschine einen anderen Strom als das E-Auto?

Wenn jemand eine Kochplatte oder eine Kaffeemaschine einschaltet, wird der Strom dem öffentlichen Netz entnommen. Doch aus welcher Quelle? Wird sich jetzt ein Windrad schneller drehen oder die Sonne auf die Solarpanels stärker scheinen? Nein! Der Zusatzstrom wird also von einer Stromquelle kommen müssen, die regelbar ist und den zusätzlich benötigten Strom tatsächlich liefern kann. Regelbar sind fossile Kraftwerke. Damit müssen auch die entstehenden CO₂-Emissionen dem Verbraucher zugerechnet werden, der den Strom zu diesem Zeitpunkt verbraucht. Ob dies eine Kaffeemaschine, ein Rasierapparat, eine Kochplatte oder ein E-Auto ist, spielt keine Rolle. Jeder elektrische Verbraucher bezieht unter diesen Bedingungen Fossilstrom und verursacht somit CO₂.

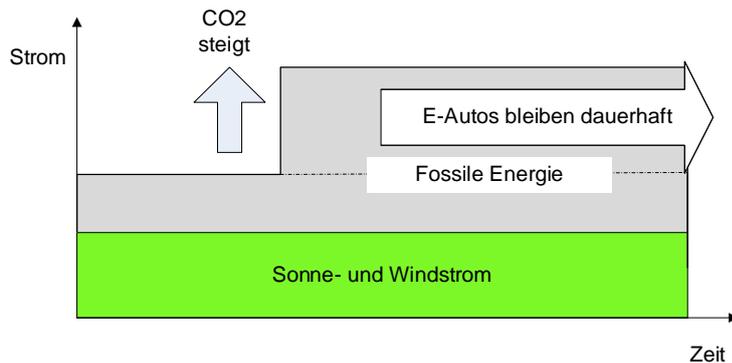


Wenn der Kaffee zubereitet ist und sich die Kaffeemaschine abschaltet, geht die Stromerzeugung im Kohle- oder Gaskraftwerk wieder zurück. Doch was ist mit den Emissionen? Wenn beispielsweise ein elektrischer Backofen mit einer Leistung von 2 kW eine Stunde lang heizt, verbraucht er 2 kWh. Die daraus resultierenden CO₂-Emissionen können wir nicht unmittelbar messen, sondern müssen sie auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten errechnen.

Diese Unterscheidung, ob der Zusatzverbrauch von einem neuen Produkt kommt (z. B. von einem E-Auto) oder von einem „alten“ Verbraucher (z. B. von einer Kaffeemaschine) ist in diesem Zusammenhang nicht von Bedeutung. Das Ein- oder Ausschalten eines Verbrauchers hat auf die

Menge des von Wind und Sonne erzeugten Strom keinen Einfluss. Dieser wird durch exogene Faktoren bestimmt, u.a. durch die Windstärke und die Sonnenintensität.

Das gilt auch, wenn eine neue Produktgruppe (z.B. E-Autos, Wärmepumpen, etc.) hinzukommt und den Stromverbrauch in einer Periode dauerhaft erhöht. Damit werden nicht nur die Emissionen in dieser, sondern auch die Emissionen in den Folgejahren dauerhaft erhöht. Sie sinken wieder, wenn die Geräte nach Erreichen ihrer Lebensdauer verschrottet werden. Auch wenn sich etwa die Haushalte in großem Umfang entschließen sollten, ihre Küchen mit einem zweiten Kühlschrank oder mit einer Klimaanlage auszustatten, wären das neue Verbraucher, die den Fossilstrom und damit die Emissionen ansteigen ließen.



E-Autos werden dauerhaft Strom aus dem Netz beziehen. Dies gilt auch für alle zukünftige Verbraucher, wie z.B. Wärmepumpen, Wasserstoff-Elektrolyse und ähnliches.

2.5 E-Autos sind neue Dauerverbraucher

E-Autos gab es früher nicht. Aber jetzt beziehen sie im wachsendem Maße Strom aus dem Netz. Es ist der Zusatzstromverbrauch durch neue Verbraucher, der entscheidet, welche Emissionen in der Periode (z.B. in einem Jahr) entstehen. Wir müssen den Stromverbrauch und die dabei entstehenden Emissionen innerhalb eines Jahres betrachten.

Es gibt keinen Grund, warum man einem Verbraucher (z.B. Elektroherd) einen anderen Emissionswert zuordnen als einem anderen Verbraucher (z. B. E-Auto). Es macht jedoch Sinn, im Vergleich zweier Zeiträume den neu hinzu gekommenen Verbraucher anders zu bewerten als die bisherigen Verbraucher. Die neuen Elektroherde ersetzen alte Elektroherde, während E-Autos eine neue Kategorie von Verbrauchern sind. E-Autos sind Zusatzverbraucher.

Man stelle sich vor, eine Untersuchung stelle fest, dass Kühlschränke der Gesundheit schaden und von heute auf morgen abgeschaltet werden müssen. Wie werden Wind und Sonne darauf reagieren? Überhaupt nicht. Nach wie vor würden sie die gleiche Strommenge produzieren. Nur der Fossilstrom würde zurückgehen. Dann kommt die Meldung: Alles nicht wahr. Die Kühlschränke würden wieder eingeschaltet werden. Wie werden Wind und Sonne darauf reagieren? Gar nicht. Aber die Fossilkraftwerke würden ihre Strommenge wieder auf altes Niveau steigern.

2.6 Der CO₂-Emissionsfaktor. Durchschnitts- oder Marginalansatz?

Der „richtige“ Emissionsfaktor und die Klimabilanz

Bei der Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Stromverbraucher stehen sich zwei Ansätze gegenüber:⁹ Grenzstromansatz (oder Marginalstromansatz) versus Durchschnittsstrom-Ansatz. Welcher CO₂-Faktor ist nun für das E-Autos richtig?

E-Auto-Befürworter gehen von der positiven Annahme aus, dass E-Autos ihren Ladestrom mit dem günstigen CO₂-Emissionsfaktor von 0,4 bis 0,5 kg/kWh beziehen können. Sie verwenden den Durchschnittsstrom, weil dieser das E-Auto in einem günstigen Licht erscheinen lässt.

Die Bilanzierung auf Basis des Durchschnitts-Ansatzes in einem Stromnetz hat den Nachteil, dass die CO₂-Wirkung, die ein zusätzlicher Stromverbrauch bewirkt, nicht explizit diesem Verbrauch zugeordnet werden. Wenn zum Beispiel die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung durch einen zusätzlichen Stromverbrauch steigen, wird diese Steigerung allen Verbrauchern gleichermaßen zugeordnet. Der Ansatz mit dem Durchschnittsstrom für die Berechnung der Emissionen ist falsch.¹⁰

Beim Grenzstrom-Ansatz wird einem Stromverbrauch die Veränderungen der Stromerzeugung zugeordnet, die sich durch den zusätzlichen Verbrauch ergeben. Der marginale CO₂-Faktor des Stroms hängt davon ab, in welchen Kraftwerke (Kohle, Gas, etc.) er erzeugt wurde.

Braunkohlekraftwerke emittieren mehr CO₂ als Steinkohle- oder Gaskraftwerke. Der CO₂-Faktor der zusätzlichen Stromnachfrage durch die Elektromobilität errechnet sich als Jahresmittelwert des erzeugten Fossilstroms. Wir werden uns das genauer anschauen.

Durchschnitts- und Fossil-/ Grenzstrom in 2023

In 2023 hat die Stromwirtschaft in Deutschland 436 TWh Nettostrom erzeugt. Dabei entstanden CO₂-Emissionen in Höhe von 223 Mio. Tonnen CO₂.¹¹ Es sind also die Emissionen der Kraftwerke, die Kohle, Öl und Gas für die Stromherstellung einsetzen, die das Klima belasten. Strom aus fossilen Kraftwerken hat folgende CO₂-Emissionsfaktoren: Erdgas 397 g/kWh, Steinkohle 852 g/kWh für Braunkohle 1.146 g/kWh.¹²

⁹ TEXTE „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-07_texte_134-2019_strom-verkehrsmittelvergleich_0.pdf (Seite 30f.)

¹⁰ Zur Marginalstrom-Berechnung siehe auch: Kai Ruhsert: <https://derelektroautoschwindel.wordpress.com/>. Gut auch Rüdiger Stobbe: <https://www.stromdaten.info/elektroauto-schwindel/>

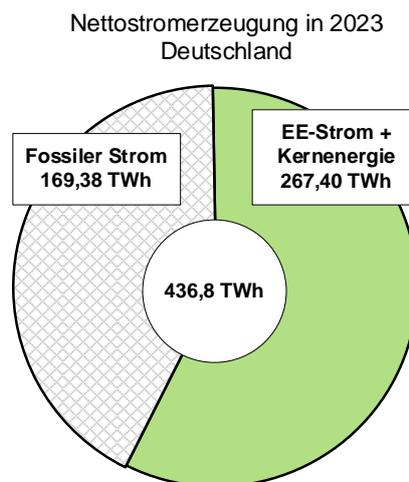
¹¹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/bilder/dateien/strommix-entwicklung_1990-2021_schaetzung-2022.pdf

¹² Quelle: UBA, CLIMATE CHANGE 15/2022, Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021, S. 20

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf

Nettostromerzeugung in Deutschland in 2023 ¹³	(TWh)	CO2-Emissionen durch Stromerzeugung
Fossile Energie	169,38	179Mio. Tonnen CO2 ¹⁴
Atomenergie	6,72	
Erneuerbare Energien	260,68	
Energie gesamt	436,8	

Die Werte der Tabelle grafisch dargestellt:



Der CO2-Emissionsfaktor der Stromerzeugung gibt an, wie viel Gramm Kohlendioxid bei der Erzeugung von einer kWh freigesetzt wird, bzw. beim Verbrauch einer kWh zu veranschlagen ist (g CO₂/kWh).

$$\text{CO2-Emissionsfaktor} = \frac{\text{CO2-Emissionen}}{\text{Stromerzeugung}}$$

Zwei Arten von CO2-Emissionsfaktoren lassen sich berechnen.

CO2-Emissionsfaktor nach Durchschnittsstrom-Ansatz

Der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix wird berechnet durch Division der CO2-Emissionen, die bei der gesamten Stromerzeugung entstehen, durch den für den Endverbrauch netto zur Verfügung stehenden Strom aus der Stromerzeugung in Deutschland.¹⁵

$$\text{CO2-Emissionsfaktor (Durchschnitt)} = \frac{\text{CO2-Emissionen}}{\text{Netto-Strom}} = \frac{179 \text{ Mio.Tonnen CO2}}{436,8 \text{ TWh}} = 0,409 \text{ kg/kWh in 2023}$$

¹³ https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.html?l=de&c=DE&year=2023&interval=year (10.1.2024)

¹⁴ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/bilder/dateien/strommix-entwicklung_1990-2021_schaetzung-2022.pdf

¹⁵ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf; Die CO2-Emissionen der Stromwirtschaft -...- sinken 2023 nach vorläufigen Berechnungen deutlich um rund 20 % auf 179 Mio. t CO₂ (2022: 224 Mio. t CO₂).
https://www.bdew.de/media/documents/Jahresbericht_2023_final_18Dez2023_V2.pdf, Seite 53

CO₂-Emissionsfaktor nach dem Grenzstrom-Ansatz

Nach dem Grenzansatz werden die gesamten CO₂-Emissionen der Stromerzeugung nur auf die fossil erzeugte Strommenge bezogen. Damit errechnet sich der CO₂-Emissionsfaktors für die fossile Energie in 2022:

$$\text{CO}_2\text{-Emissionsfaktor (fossil)} = \frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Strom aus fossiler Energie}} = \frac{179 \text{ Mio.Tonnen CO}_2}{169,38 \text{ TWh}} = 1,056 \text{ kg/kWh in 2023}$$

Etwas gerundet lässt sich sagen, dass nach dem Durchschnitts-Stromansatz der CO₂-Emissionsfaktor rund **0,4 kg CO₂/kWh**, nach dem Grenzstrom-Ansatz rund **1,0 kg CO₂/kWh** beträgt.

Der durch die E-Autos wachsende Strombedarf kann nur mit fossilen Kraftwerken gedeckt werden.

Die VDI-Studie Dezember 2023

Die VDI-Studie Dezember 2023 verwendet für die Berechnungen für die Bilanzanalyse der CO₂äq-Emissionen von Pkw mit verschiedenen Antriebssystemen beide Ansätze.¹⁶ Sie werden dort bezeichnet als der „Mittelwertansatz“ und der „sogenannte kurzfristige Marginalansatz“ bezeichnet. Der Mittelwertansatz liefert die mittlere Emission von allen vorhandenen elektrischen Verbrauchern im Sinne eines arithmetischen Mittelwerts über feste Zeiträume. Der Marginalansatz repräsentiert die Grenzkosten, also das THG-Einsparpotenzial bei Abschaltung eines elektrischen Verbrauchers beziehungsweise die THG-Zusatzemissionen bei Hinzufügen eines weiteren elektrischen Verbrauchers. Im weiteren Verlauf der Studie werden der Marginalansatz und der Mittelwertansatz parallel dargestellt.¹⁷ Auf der Abbildung auf Seite 94 der VDI-Studie ist zu entnehmen, dass die Werte für den Emissionsfaktor nach dem Marginalansatz um die 800 g/kWh, nach dem Mittelwertansatz um die 400 g/kWh betragen. Deutlich wird hier, wie stark die Auswahl des Berechnungsansatzes das Ergebnis bestimmt.

2.7 Welcher CO₂-Emissionsfaktor ist für E-Autos anzuwenden?

Bei der Einführung einer neuen Produktart oder Verbrauchergruppe (z.B. Wärmepumpen oder E-Autos) entsteht zusätzlicher Strombedarf. Für die Berechnung der Emissionen einer zusätzlichen Produktart, die Strom bezieht, ist der Grenzstrom-Ansatz anzuwenden. Das E-Auto ist eine solche neue Produktart, die zusätzlich Strom benötigt. Da die Anbieter Erneuerbarer Energie durch die neuen Verbraucher ihre Stromproduktion nicht steigern können, wird der benötigte Zusatzstrom von fossilen Kraftwerken kommen müssen. Daraus folgt, dass der CO₂-Emissionsfaktor der Stromerzeugung für die neue Verbrauchergruppe dem der fossilen Energie entspricht.

Der CO₂-Emissionsfaktor Grenzstrom entspricht dem CO₂-Emissionsfaktor Fossil.

Die Emissionen entstehen bei der Erzeugung des Stroms, nicht beim Verbrauch des Stroms. In der Steckdose ist die Herkunft des Stroms nicht feststellbar. Die damit verbundenen Emissionen können daher nur auf der Erzeugungsseite korrekt ermittelt und zugeordnet werden. Entscheidend ist, wie das Stromerzeugungssystem auf den Lastanstieg reagiert, d.h. welche Kraftwerke genau hochgefahren werden. Festzuhalten ist, dass der erzeugte Strom nicht ohne den zusätzlichen Bedarf

¹⁶ Den erheblichen Einfluss der Methodik auf die Emissionen in g CO₂äq /kWh sieht man in Bild 76 auf Seite 94 für das Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (KNDE45) dargestellt. <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-studie-oekobilanz-von-pkws-mit-verschiedenen-antriebssystemen>, VDI-Oekobilanz-Studie_zu_verschiedenen_Antriebssystemen_01.pdf, S. 18

¹⁷ Ebd. S. 38, 94

der neuen Verbraucher entstanden wäre. Deshalb ist der Ladestrom als zusätzlicher Strom einzustufen, also als Grenzstrom.¹⁸

Solange noch Fossilstrom im Netz ist, muss mit Grenzstrom gerechnet werden. Denn anstelle eines neuen E-Autos als neuer Verbrauchergruppe hätte man den Strom auch zum Zurückdrängen des Fossilstroms verwenden können. Der Umstieg von Verbrennern zu E-Autos wird keine CO₂-Minderung bringen, solange Strom mit einem hohen Anteil an fossiler Energie hergestellt wird.

Für die E-Auto-Befürworter hat der Durchschnittsstrom-Ansatz zwei Vorteile. Einerseits ist die Aussage „Das Netz versorgt alle Verbraucher mit dem gleichen Strom“ intuitiv verständlich und klingt plausibel, zumal für diejenigen, die sich nur oberflächlich mit den Zusammenhängen beschäftigt haben. Andererseits stützt dieser Ansatz die Auffassung der E-Auto-Fans, dass das E-Auto eine klimafreundliche Art des Individualverkehrs sei. Der Gesetzgeber weiß offenbar, dass das E-Auto in einem ungünstigen Licht dasteht und hat deshalb verfügt, dass 'ungünstige' Berechnungen offiziell nicht durchgeführt werden sollen. Man muss Durchschnittswerte verwenden."¹⁹

Beim Thema Durchschnitts- versus Grenzstrom bestehen erhebliche Wissensdefizite.²⁰ Bei den E-Autofans geht oft Unwissenheit mit großem Selbstbewusstsein einher. Tatsächlich sind die Zusammenhänge nicht leicht zu verstehen. Experten, die sich mit dem Thema schon jahrelang beschäftigt haben, meinen sogar, dass man das Wesen und die Bedeutung des Grenzstroms entweder sofort kapiere – oder nie.²¹

3. Befürworter und Kritiker. Durchschnittsstrom- und Grenzstromrechner

3.1 So rechnen die E-Auto-Befürworter

Bundesregierung und BMWK. Die Hoffnung

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, einen Anteil von 80 % Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in 2030 zu erreichen. Das allein ist schon sehr ehrgeizig. Hinzu kommt, „*.. dass der Stromverbrauch massiv ansteigen wird, da die Dekarbonisierung in anderen Sektoren ebenfalls mit grünem Strom erfolgen wird, wie beispielsweise über Wärmepumpen und Elektroautos.*“²²

Eine wenig überzeugende Begründung zugunsten des E-Autos findet man vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): „*Da der stetig sinkende CO₂-Faktor des Bundesstrommixes perspektivisch zunehmend zu einer ungünstigen Bewertung von Effizienzmaßnahmen im Bereich elektrischer Energie in der CO₂-Bilanz führt, kann für diese Effizienzmaßnahmen der doppelte CO₂-Faktor angesetzt werden. Damit soll der Wichtigkeit der Einsparung von elektrischer Energie Rechnung getragen werden.*“²³

¹⁸ <https://derelektroautoschwindel.wordpress.com/%e2%86%93/?frame-nonce=d981c0922a>

¹⁹ https://www.focus.de/auto/news/synthetische-kraftstoffe-2020-wenn-der-tesla-kohlestrom-tankt-elektroautos-in-der-glaubwuerdigkeits-falle_id_12143400.html

²⁰ Kai Ruhkert, Akademische Hütchenspieler, 13. August 2023,

<https://derelektroautoschwindel.wordpress.com/%e2%86%93/?frame-nonce=d981c0922a>

²¹ <https://derelektroautoschwindel.wordpress.com/2022/07/30/ein-neuer-und-hoffentlich-einfacherer-zugang-zum-marginalstromansatz/>

²² <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

²³ https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=3, .S. 6

Eine gewisse Skepsis gegenüber dem unmittelbaren Nutzen der E-Autos kommt auch beim Generalsekretär der SPD im „Spiegel“ zum Ausdruck: „Unser politisches Ziel sind 15 Millionen E-Autos bis 2030, ... Das bringt ganz kurzfristig noch keine riesigen CO₂-Einsparungen. Aber es ist die Grundlage, um im nächsten Jahrzehnt die Antriebswende erfolgreich zu meistern.“²⁴

EnBW und E-Auto. Durchschnittstrom

„Als Basis für die Ermittlung der Elektroauto-CO₂-Bilanz wird ein PKW der Kompaktklasse herangezogen, der während seiner Lebensdauer ungefähr 150.000 Kilometer gefahren ist. Darüber hinaus wird der **aktuelle Strommix** in Deutschland zugrunde gelegt, der sich aus fossilen Brennstoffen und erneuerbaren Energien zusammensetzt.“²⁵

Doppelbauer, Martin, Prof.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Als Befürworter der Elektromobilität verwendet Martin Doppelbauer bei den Berechnungen der CO₂-Emission von Elektroautos den Emissionsfaktor des Strommix des Durchschnittstroms. Seine Argumentation: Der höhere Emissionsfaktor müsse für alle neu ans Stromnetz angeschlossenen Verbraucher gelten. Warum sollte das nur für neu angeschaffte Elektroautos gelten? Letztlich gingen alle heutigen elektrischen Verbraucher irgendwann einmal als Neugeräte ans Netz. Nach Doppelbauer ist der Emissionsfaktor für den Durchschnittstrom für das E-Auto richtig.²⁶

Öko-Institut in Freiburg

Studie: „Bei der Berechnung wurde der deutsche Strommix für den Nutzungszeitraum angesetzt und die Herstellung des Fahrzeugs einbezogen.“²⁷

Agora Verkehrswende

Agora Verkehrswende: In der Studie „Sensitivität Strom 2016“ bleibt der deutsche Strommix in Zukunft auf dem Niveau von 2016 und in der Studie „Sensitivität Photovoltaik“ wird reiner Solarstrom verwendet.²⁸

Fichtner, Maximilian, Prof.

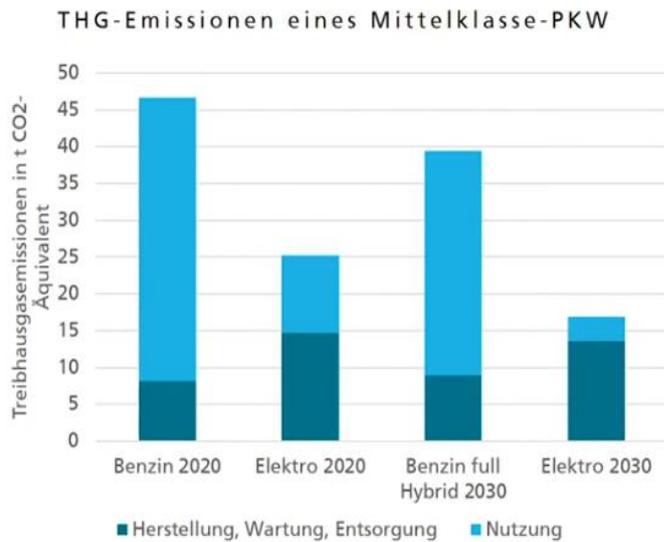
Direktor des Helmholtz-Instituts Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung: „Ich rate dringend, sich mal mit dem Sachverstand auf diesem Gebiet zu befassen – und zu verstehen, weshalb die Wissenschaft die Grenzstrombetrachtung in die Tonne getreten hat.“, 27. Mai 2022 Twitter

²⁴ Kuhnert im Interview im Spiegel 17/22.4.2023, Seite 30

²⁵ <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/trends/co2-bilanz-wie-umweltfreundlich-sind-elektroautos/>
²⁶ Doppelbauer, Martin. Warum E-Autos nicht nur Kohlestrom laden, Was ist mit dem zusätzlichen Strombedarf durch neue E-Autos? In Auto Motor und Sport.“ <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/elektroauto-co2-stromerzeugung-rechenfehler-bilanz-kwh-grenzkosten/>, 29.06.2021

²⁷ https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FAQ_Elektromobilitaet_Oeko-Institut_2017.pdf, Seite 3

²⁸ Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial, Zweite Auflage: Mai 2019, S. 9



<https://www.youtube.com/watch?v=NRVB7eGGFNY> (So stellt Wietschel die Sache dar. Auf welche Studie er sich bezieht, sagt er im Vortrag nicht.)

„Batteriebetriebene Fahrzeuge (BEV) sind auch die wirtschaftlichste Lösung der aktuell zur Verfügung stehenden Minderungsoptionen und können einen relevanten Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. ... Bei einem 2020 erworbenen Elektroauto in Deutschland halbieren sich die THG-Emissionen gegenüber einem konventionellen Benziner. Mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix wird dieser Vorteil 2030 sogar fast 60 Prozent betragen.“²⁹

Solche Aussagen lassen sich nur halten, wenn man den Durchschnittsstromansatz wählt.

Wietschel, Martin, Langfristige Umweltbilanz

Die Studie Wietschel et al. (2022)³⁰ hält den Grenzstrom-Ansatz für E-Autos nicht geeignet. Als Grund wird genannt, dass bei diesem Ansatz die Stromnachfrage durch strombasierte Pkw fälschlicherweise erhöht und zwar „für Deutschland um ca. den Faktor 2 über den durchschnittlichen THG-Emissionen des Strommixes. ... Dazu wird dann üblicherweise mit den THG-Emissionen von fossilen Kraftwerken gerechnet, weil i.d.R. davon ausgegangen wird, dass die Erneuerbaren-Stromerzeugung begrenzt ist und keine zusätzlichen Erneuerbaren-Kraftwerke für strombasierte Pkw gebaut werden.“

Überzeugend ist diese Argumentation nicht. Tatsächlich wird beim Grenzstromansatz nicht vorausgesetzt, dass Erneuerbare Stromerzeugung begrenzt sei oder gar keine Windräder oder Solaranlagen gebaut werden dürften.

Ein anderer Einwand gegen den Grenzstrom-Ansatz (S. 15) ist nicht ebenfalls nicht überzeugend: Die Grenzstromemissionen ließen nicht klar zuordnen: „Bei Verwendung der Emissionen des Grenzkraftwerkes besteht eine Zuordnungsproblematik. Bisherige konventionelle Stromnachfrage, z.

²⁹ <https://transforming-economies.de/umweltbilanz-und-zukunftspotenzial-alternativer-antriebstechnologien-bei-pkw/> (Bertelsmann Stiftung)

³⁰ Martin Wietschel, Steffen Link, Kirsten Biemann, Hinrich Helms. Langfristige Umweltbilanz und Zukunftspotenzial alternativer Antriebstechnologien, 2022.

<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/251363/1/1795367423.pdf>

B. bei Beleuchtung und Weißen Waren, geht zurück. und eine Reihe an neuen Stromnachfragern kommt aus Anwendungen wie batterieelektrischen Fahrzeugen, Wärmepumpen, IKT-Anwendungen oder Strom für Niedertemperatur-Wärmenachfrage in der Industrie hinzu. Wer entscheidet, nach welchen Kriterien, welche der Anwendungen Grenznachfrager nach Strom sind und deshalb mit den Grenzemissionen zu belasten ist?“

Doch es besteht kein Zuordnungsproblem, wenn wir eine Welt mit E-Auto mit einer ohne E-Autos vergleichen. Die E-Autos sind eine Verbrauchergruppe, die es vorher nicht gab. Sie bezieht Strom, der ohne sie nicht produziert worden wäre. Man vergleicht die Emissionen der Stromerzeugung im Jahr 1 (ohne E-Autos) mit dem Jahr 2 (mit E-Autos). Beides lässt sich errechnen.

Andere in der Passage angesprochenen Sachverhalte betreffen andere Zusammenhänge/Zielsetzungen (flexibles Laden / Wasserstoff, Abregeln, Lastmanagement, Ausbaupläne für EE-Strom). sind bei Maßnahmen zur Elektromobilität zu bedenken, aber haben keinen Bezug zur Frage der Richtigkeit des Grenzstromansatz.

Festzuhalten ist: Zuerst muss EE-Strom den bisher verwendeten Fossilstrom verdrängen. So lange noch fossiler Strom im Netz ist, muss dieser zuerst verdrängt werden. Erst dann werden neue Stromverbraucher nicht mehr mit dem hohen CO₂-Emissionsfaktor des Fossilstroms belastet.

3.2 So rechnen Kritiker des E-Autos

Blümm, Florian

Seine Website: „E-Autos sind in Deutschland eine miserable Klimaschutz-Maßnahme. Ich kann gar keine CO₂-Vermeidungskosten berechnen, weil bis 2045 kein CO₂ vermieden wird. ... „E-Autos verursachen bis zum Kohleausstieg sogar zusätzliche CO₂-Emissionen! Selbst nach dem Kohleausstieg sind sie fürs Klima nicht besser als ein Diesel. Die Emissionen werden dann lediglich vom Verkehrssektor in den Stromsektor verlagert.“³¹

Buchal, Christoph, Prof. Physik

Prof. für Physik an der Universität zu Köln (emerit.): „... könnte der forcierte Ausbau der E-Mobilität im Verein mit der Abschaltung der Kernkraftwerke bedeuten, dass die marginale Stromquelle für die vielen neuen Elektroautos zumindest zeitweilig nicht etwa grüner Strom, sondern Kohlestrom ist. Dann würde „...“, der Wechsel vom Dieselmotor zum Elektromotor je nach Art der Batterieproduktion eine Erhöhung des CO₂-Ausstoßes um zwei Drittel, wenn nicht gar auf mehr als das Doppelte bedeuten.“³²

Eisenkopf, Alexander, Prof.

Professor für Wirtschafts- und Verkehrspolitik an der Zeppelin Universität Friedrichshafen: „Batterieelektrische Autos sind nicht der richtige Weg zur Dekarbonisierung des Pkw-Verkehrs, solange es nicht gelingt, sie mit einem wesentlich größeren Anteil emissionsarmen Stroms zu betreiben.“³³

³¹ <https://www.tech-for-future.de/elektroautos/>

³² Christoph Buchal, Hans-Dieter Karl und Hans-Werner Sinn, Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf>

³³ https://www.zu-daily.de/daily/zuruf/2019/05-16_eisenkopf-eine-unbequeme-wahrheit.php

Guzzella, Lino, Prof.

von der ETH Zürcher in der NZZ: „Elektroautos schneiden noch viel schlechter ab, wenn man den Grenzstrom berücksichtigt: Sie verbrauchen nicht den üblichen Strommix, sondern steigern den Stromverbrauch; deswegen werden deutsche Braunkohlekraftwerke nicht abgestellt.“³⁴

Hoberg, Peter, Prof.

von der Hochschule Worms: „Der fossile Strom wird zwar partiell von dem Strom aus erneuerbaren Energien verdrängt, muss aber alle zusätzlichen Strommengen liefern. ... Höherer Strombedarf führt somit auch über die nächsten Jahre dazu, dass mehr Kohlestrom erzeugt werden muss. Wenn also zusätzliche Elektrofahrzeuge (BEV), Wärmepumpen etc. angetrieben werden müssen, wird der zusätzlich benötigte Strom zum großen Teil aus fossilen Energiequellen kommen müssen.“³⁵

IASTEC

International Association of Sustainable Drivetrain and Vehicle Technology Research (IASTEC): Die Berechnung mit dem spezifischen Emissionsfaktor des aktuellen deutschen Strommix (381 g CO₂/kWh in 2021) für Elektroautos ist irreführend. Die dem Elektroauto zuzuordnende Treibhausgasemissionen hängen nicht vom durchschnittlichen, sondern vom fossilen Strommix ab, der im marginalen Emissionsfaktor zum Ausdruck kommt.³⁶

Ilgmann, Gottfried, Dr.

Berater, Ilgmann Miethner Partner: „Ein anderer Ansatz, die Klimabilanz des Elektroautos zu schönen, ist der Verzicht auf die Zuwachsbetrachtung beim Strom-Mix: Stillschweigend werden für den zusätzlichen Elektroauto-Strom zusätzliche CO₂-freie Quellen angenommen – oder es wird auf den europäischen Strom-Mix zurückgegriffen, dessen fossiler Anteil geringer ist als der von Deutschland.“³⁷

Indra, Friedrich, Prof.

TU Wien: „Schließlich ist die deutsche Stromversorgung schon ohne E-Autos am Anschlag. Der Zusatzstrom, der zum Aufladen der Batterien gebraucht wird, kann also nur aus kalorischen Kraftwerken kommen, in denen heute wieder Braunkohle verstromt wird.“³⁸

Luczak, Andreas, Prof.

Professor für Regenerative Energien an der Fachhochschule Kiel: „In der Endphase der Energiewende, ist ein Umstieg auf Elektromobilität natürlich sehr sinnvoll, aber davon sind wir bei der gegenwärtigen Klimapolitik noch etliche Jahrzehnte entfernt.“ Er kritisiert, dass „... die Politik bislang sehr wenig auf die „Energiewendeeffizienz“ geachtet hat. Es werden oft Dinge gefördert, die zwar klimafreundlich sind, aber in Relation zu den damit verbundenen Kosten vergleichsweise wenig bringen. Leider spielt

³⁴ <https://www.nzz.ch/elektroauto-schadetder-umweltmehr-als-dieselauto-ld.643005>

³⁵ <https://www.elektroauto-news.net/news/meinung-der-grosse-denkfehler-elektroautos-in-deutschland-viel-dreckiger-als-gedacht>

³⁶ Ruhsert, Kai: Der Elektroauto-Schwindel. Wie Greenwashing-Studien die Energiewende verzögern, BoD, Norderstedt 2020, S. 18

³⁷ https://www.imp-mc.com/aktuell/elektromobil_2009/FAS_090201_Fliesstext.pdf

³⁸ <https://www.automagazin.at/motorpapst-indra-verbrennungsmotor-existiert-laenger-als-eu/>

oft die Ideologie und der Lobbyismus bestimmter Wirtschaftszweige eine größere Rolle, als zu versuchen, mit dem geringsten Aufwand den größten Klimaeffekt zu erzielen.“³⁹

Lohbeck, Wolfgang

Lohbeck, Wolfgang, Mobilitätsexperte, Greenpeace: „Der Umstieg zu weniger CO2 wäre mit kleineren, leichteren Verbrennern schneller zu schaffen als mit Elektro-Autos“.⁴⁰ Anderer Stelle sagt er, dass er Tesla für die dümmste Art von Elektromobilität stehe, die man sich denken könne.

Meiners / Viehmann, Focus

Meiners / Viehmann. FOCUS-online-Redakteur, Montag, 07.11.2022, 10:23: E-Autos gelten als „Null-Emissionsfahrzeuge“. In Wahrheit steht nur der Auspuff woanders.

Paschotta, Rüdiger

Physiker und Berater im Energiebereich: „Ökostrom-Erzeugung hilft der Umwelt sehr, aber es hilft kaum zusätzlich, auch noch Elektroautos anzuschaffen, um diesen Strom damit zu verbrauchen und dafür Kohlekraftwerke weiterhin laufen zu lassen.“⁴¹

Ruhsert, Kai

Elektroauto-Experte: „Die dem Elektroauto zuzuordnende Treibhausgasemissionen hängen somit nicht vom durchschnittlichen, sondern vom fossilen Strommix ab.“⁴² E-Autos werden bis zur vollständigen Dekarbonisierung der Energieversorgung keine bessere Klimabilanz als Autos mit Verbrennungsmotoren haben.⁴³ Das soll zwar bis 2045 erreicht werden, doch daran bestehen noch erhebliche Zweifel.

Schmidt Ulrich, Prof.

Kieler Institut für Weltwirtschaft: „Gleichgültig womit man sein Elektroauto betankt, aus gesamtwirtschaftlicher Sicht fährt es de facto mit 100 Prozent Strom aus fossilen Energieträgern, heutzutage sogar zu 100 Prozent aus Kohle. Erst wenn die Energiewende weit fortgeschritten und der Strom nahezu ausschließlich aus erneuerbaren Energien bestünde, wäre das Elektroauto umweltfreundlicher als moderne Diesel-Fahrzeuge.“⁴⁴

Sedlak, Mario

Berater für die Stromwirtschaft: „Jeder, der von einem Elektroauto auf einen Verbrenner umsteigt, spart Kohle in einem Kohlekraftwerk ein.“ Dort findet sich auch eine Liste mit weiteren [Verfechtern des Grenzstromansatzes](#).

³⁹ <https://www.fh-kiel.de/news/in-sachen-klimafreundlichkeit-ist-deutschland-underperformer-fh-professor-prof-dr-andreas-luczak-hat-buch-zur-energiewende-in-deutschland-geschrieben-1/>

⁴⁰ <https://www.deutschlandfunkkultur.de/mobilitaetsexperte-zu-deutschlandplaenen-von-tesla-elon-100.html>

⁴¹ https://www.energie-lexikon.info/rp-energie-blog_2014_02_15.html

⁴² Ruhsert, Kai: Der Elektroauto-Schwindel. Wie Greenwashing-Studien die Energiewende verzögern, BoD, Norderstedt 2022, S. 18

⁴³ Ruhsert, Kai: Der Elektroauto-Schwindel, Norderstedt, 2022, S. 9

⁴⁴ Vgl. Ulrich Schmidt, Elektromobilität und Klimaschutz: Die große Fehlkalkulation, KIEL POLICY BRIEF, Juni 2020, S. 6

Seifried, Dieter

Beratungsbüros „Ö-quadrat“. Zu den in wissenschaftlichen Studien üblich gewordenen Schummeleien: „*Wer also mit den niedrigen Emissionswerten des Kraftwerks-Mix rechnet, lügt sich eins in die Tasche – mancher bewusst, mancher aus Unkenntnis. ... Eine Energiepolitik, die herkömmliche Energieträger einfach durch Stromanwendungen ersetzt, wird sich also als Bären dienst für das Klima entpuppen. Das gilt für die Wärmepumpe oder die Elektroheizung genauso wie für das E-Fahrzeug.*“⁴⁵

Sinn, Hans-Werner, Prof.

Hans-Werner Sinn leitete als Präsident des Ifo Instituts für Wirtschaftsforschung von 1999 bis 2016.: Der grüne „Flatterstrom“, also Strom, der durch Solar- und Windanlagen erzeugt wird – steht noch nicht ausreichend zur Verfügung. Deshalb muss der Strom für E-Autos in umweltschädlichen Braunkohlekraftwerken erzeugt werden. Dieser Zusatzstrom vergrößert den weltweiten Gesamtausstoß an CO₂. „Wind- und Sonnenstrom werden uns nicht alleine versorgen. Die Quellen sind nicht regelbar und das Wetter ist un stetig.“ In Dunkelflauten müssen regelbare Kraftwerke den gesamten Verbrauch Deutschlands decken.⁴⁶

„E-Autos emittieren in erheblichem Umfang CO₂. Nur liegt der Auspuff ein bisschen weiter entfernt im Kraftwerk. Solange noch Kohle- oder Gaskraftwerke am Netz sind – und sie müssen ja dauerhaft am Netz bleiben, um die Versorgung in den Dunkelflauten beim Wind- und Sonnenstrom zu sichern – fahren auch E-Autos mit Kohlenstoff.“⁴⁷

Stahl, Martin

Geschäftsführer von **Stahl** Automotive Consulting (SAC): „*Kommen jetzt Elektrofahrzeuge hinzu, so stellen diese eine zusätzliche Stromnachfrage dar, die bei einer 100prozentigen Durchdringung der deutschen Pkw-Flotte einen zusätzlichen Bedarf von etwa 110 TWh erzeugen wird. ... Da es sich aber um eine zusätzliche Nachfrage handelt, steht diese im Wettbewerb zur Reduzierung der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen, zu allererst der Braunkohle. Mit einer kWh erneuerbarer Energie lässt sich entweder eine kWh Braunkohlestrom substituieren oder ein Elektroauto betreiben.*“⁴⁸

Stelter, Daniel, Dr.

Volkswirt. Blog: *Think Beyond The Obvious*: „Mit anderen Worten: Wir können ohne Elektromobilität die Nutzung der fossilen Energieträger zurückdrängen, während der Ausbau der Elektromobilität eine stärkere Nutzung fossiler Energieträger erfordert.“⁴⁹

Stobbe, Rüdiger

Blog stromdaten.info. „*Das neue E-Auto kommt als zusätzlicher Verbraucher ans Netz. Deshalb wird die regenerative Stromerzeugung aber durchaus nicht größer. Also muss der benötigte Strom zusätzlich fossil erzeugt werden.*“⁵⁰

⁴⁵ <http://www.fr.de/meinung/klimakiller-elektroauto-11672490.html>

⁴⁶ <https://www.hanswernersinn.de/de/fuer-einen-rationalen-klima-diskurs-faz-08092023>

⁴⁷ <https://www.hanswernersinn.de/de/der-schwindel-mit-dem-e-auto-hb-23122019>

⁴⁸ <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroauto-co2-bilanz-insgesamt-verschlechtert-sich-a-1246276.html> (03.01.2019)

⁴⁹ <https://think-beyondtheobvious.com/stelters-lektuere/elektromobilitaet-und-klimaschutz-die-grosse-fehlkalkulation/>

⁵⁰ https://www.achgut.com/artikel/woher_kommt_der_strom_woche_34_potemkinscher_e_auto_erfolg

UBA, Umweltbundesamt, Studie

„Die potenziellen Auswirkungen von Elektromobilität auf den Kraftwerkspark in Deutschland wurden bereits in verschiedenen Projekten untersucht (...) und dem vom BMUB geförderten Flottenversuch Elektromobilität (...). Für das Bezugsjahr 2030 wurden im Flottenversuch Elektromobilität der Bereitstellungsmix für den zusätzlichen Strombedarf durch Elektroautos betrachtet (,Marginalbetrachtung‘).“⁵¹

UPI (Umwelt- und Prognose-Institut)

UPI beurteilt die Klimabilanz des E-Autos negativ: *„Mit Elektroautos können deshalb heute und in den nächsten Jahren keine CO₂-Emissionen reduziert werden. Es ist sogar das Gegenteil der Fall: Elektroautos erhöhen die CO₂-Emissionen.“⁵²*

Watter, Holger, Prof.

Experte für Systemtechnik (Regenerative Energiesysteme, Fluid- und Schiffstechnik), Hochschule Flensburg: *“‘Der Schornstein steht nur woanders‘. Unter Berücksichtigung der Wandlungs- und Übertragungsverluste sind Aussagen zu ‚Null-Emissionen‘ fahrlässige Täuschungen. Die Verschiebung von Emissionen kann für Großstädte eine sinnvolle Option sein, die Übertragung auf strukturschwache Räume ist unter Emissionsgesichtspunkten fraglich.“⁵³*

Weimann, Joachim, Prof.

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg: *„Jedes Elektroauto und jede Wärmepumpe, die heute installiert wird, verzögert den Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen, weil sie erneuerbaren Strom davon abhält, fossilen Strom zu ersetzen.“⁵⁴*

Wolf, Winfried, Dr.

Wolf, Winfried, Autor des Buchs „Mit dem Elektroauto in die Sackgasse“, 2019

4. Das Strommodell: Zwei Erzeuger, zwei Verbraucher und zwei Fälle

4.1 Das Modell

Ceteris paribus meint „unter sonst gleichen Bedingungen“ oder „alle anderen Dinge konstant haltend“. Dabei geht es bei einer Analyse darum, den Effekt von einer ökonomischen Variable auf das Modell zu evaluieren, ohne dabei die anderen Variablen zu verändern. Um kausale Zusammenhänge aufzudecken, müssen die mit der abhängigen Variablen gemessenen Effekte eindeutig auf die Veränderung der unabhängigen Variablen zurückzuführen sein. Andere Einflüsse müssen also ausgeschlossen sein bzw. konstant gehalten werden.

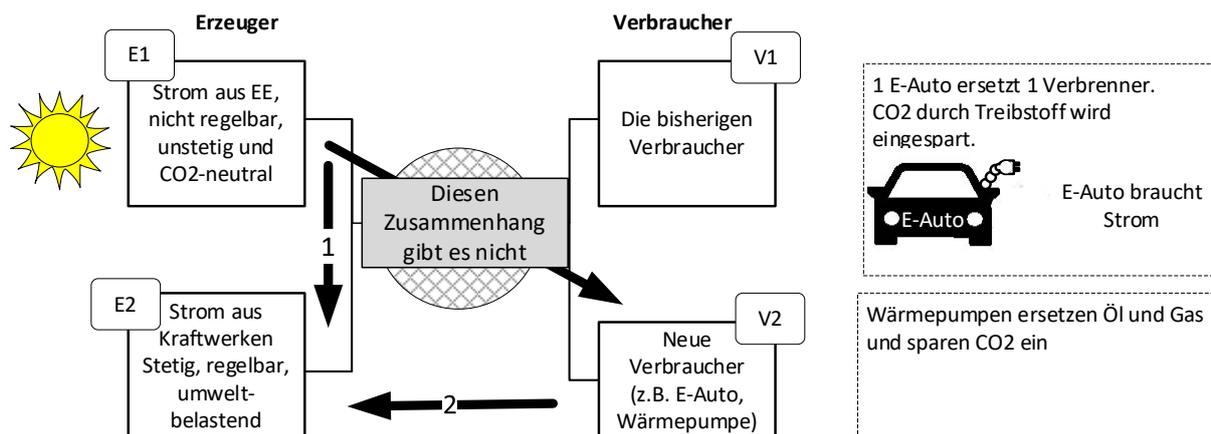
Wir sehen hier ein einfaches Modell des Stromnetzes mit vier Akteuren.

⁵¹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf, Seite 111

⁵² https://www.upi-institut.de/upi79_elektroautos.htm#UPI-Bericht_79

⁵³ https://holgerwatter.files.wordpress.com/2017/10/2017-11-09-tourismus_e-mobil.pdf, Seite 10

⁵⁴ https://m.focus.de/auto/news/umweltbilanz-im-vergleich-experte-verreisst-elektroautos-als-ineffizienteste-form-der-klimapolitik_id_13198969.html



$$E2 = V1 + V2 - E1$$

Fossiler Strom = Stromverbrauch + Stromverbrauch E-Auto - EE-Strom

Es gibt in diesem Modell drei Variable (E1, V1, V2) und eine abhängig Variable (E2). Zwei der Variablen werden konstant gesetzt, dann die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen einer unabhängigen (E1, V1, V2) und der abhängigen Variablen (E2) untersucht.

Drei Ursache-Wirkungsbeziehungen sind für unsere Überlegungen relevant.

1. Strom von E1 steigt, E2 wird reduziert. V1 und V2 konstant angenommen.
2. V2 fragt Strom nach, E2 steigert Stromerzeugung. E1 und V1 konstant.

4.2 Erzeuger E1. Strom aus Erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien E1 stellt in unserem Modell die Stromerzeuger Solar- und Windenergie sowie Biomasse-/Wasserkraft dar. Sie beliefern das Netz mit einem Strom, der in hohem Maß von den externen Bedingungen, vorwiegend von Wind und Sonne, abhängig ist. Dieser Strom ist unstetig und kann kaum geregelt werden. Diese Schwankungen bei der Einspeisung machen das Netz tendenziell instabil. Der frühere Präsident des ifo-Instituts Hans-Werner Sinn spricht von "Zappelstrom".⁵⁵

Der CO₂-Emissionsfaktor für EE-Strom ist niedrig, aber nicht null. So verursacht eine heute neu gebaute Windrad-Anlage laut einer Untersuchung des Umweltbundesamts (UBA) zwischen 7 und 9 Gramm CO₂ pro kWh.⁵⁶ Im Vergleich zum Strom aus einem Kohlekraftwerk mit über 1.000 Gramm pro kWh ist dies verschwindend gering.

4.3 Erzeuger E2. Strom aus fossilen Kraftwerken

Kohle- und Gaskraftwerke (E2) stellen die Grundlastleistung bereit, sind regelbar und können flexibel hoch- und runtergefahren werden. Um das Netz stabil zu halten, stellen sie witterungs- und tageszeitunabhängig Strom bereit. Dafür reagieren sie

- auf die schwankende Einspeisung von Wind- und Solarenergie (E1) und auf
- die schwankende Nachfrage (V1, V2).

⁵⁵ <https://www.hanswernersinn.de/en/node/973>

⁵⁶ UBA: Climate Change, 35/2021, Für Mensch & Umwelt, Abschlussbericht, Aktualisierung und Bewertung, der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen, S. 284, 288

Die Residuallast ist die Differenz zwischen der aktuell benötigten Leistung und der Leistung, die die nicht regelbaren Stromquellen Wind und Sonne erbringen.⁵⁷ Diese Differenz muss mehrheitlich von den regelbaren fossilen Quellen gedeckt werden. Diese Flexibilität ist für die Netzstabilität unerlässlich.

Welcher Anteil der Stromversorgung ist regelbar? Konventionelle Energieträger machen in 2022 immer noch mehr als die Hälfte der Stromproduktion aus. Kohle, Gas und Laufwasser kommen gemeinsam auf 218,5 TWh, also **45 Prozent** der gesamten Stromerzeugung von 491,51 TWh. Daneben sind auch Wasserspeicherkraftwerke und - in geringen Maß - auch Bioenergie- oder Holzheizkraftwerke regelbar. Die Stromerzeugung aus Biomasse mit 42 TWh wird in geringem Maß auch zur Stabilisierung des Netzes eingesetzt. Die Hauptlast der Stabilisierung des Netzes tragen jedoch die fossilen Kraftwerke.

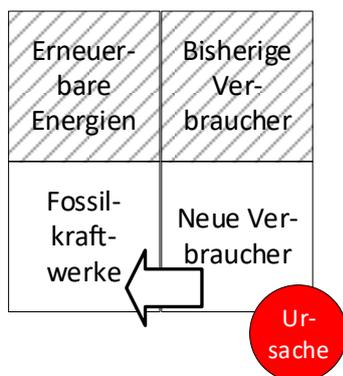
4.4 Verbraucher V1. Die bisherigen Verbraucher

Die bisherigen Verbraucher waren schon am Netz, bevor es E-Autos und Wärmepumpen gab.

4.5 Verbraucher V2. Die neue Verbrauchergruppe E-Auto

Zusatzverbraucher, also momentan in erster Linie E-Autos und elektrische Wärmepumpen.

4.6 Fall A: Eine neue Verbrauchergruppe. CO2-Emissionen?



Ursache – Wirkung: Verbraucher 2 braucht mehr, Erzeuger 2 liefert.

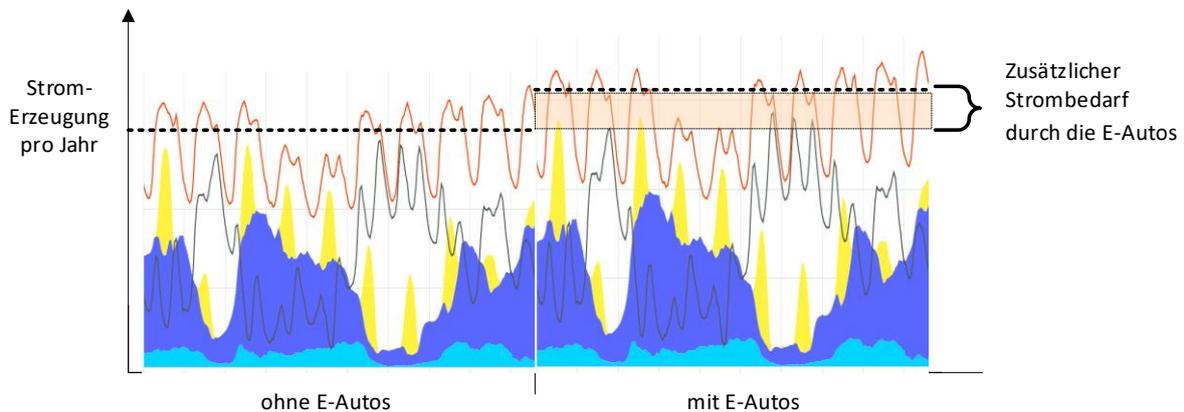
Diese Beziehung funktioniert nur in dieser einen Richtung, also wird eine Erhöhung der Stromerzeugung durch fossile Kraftwerke keine Verbrauchserhöhung zur Folge haben.

Es kommt eine neue Verbrauchergruppe hinzu (z. B. E-Autos, elektrische Wärmepumpen). Die neue Verbrauchergruppe erhöht den fossilen Stromverbrauch. Zukünftig sollen Sektoren wie Stahl und Chemie elektrifiziert werden. Ferner soll Wasserstoff mit Elektrolyse hergestellt werden. Im Zuge der Dekarbonisierung werden weitere Verbrauchergruppen erheblichen Strombedarf anmelden. Welche Auswirkungen wird das auf die Emissionen haben?

Wenn das E-Auto als neue Verbrauchergruppe dazu tritt, muss dafür zusätzlich Strom erzeugt werden. Bei einer periodenbezogenen Betrachtung, z.B. ein Jahr, wird gefragt, um wie viel mehr Strom im Folgejahr erzeugt und verbraucht werden wird.

⁵⁷ Abweichend von dieser Definition sagt das SMARD Benutzerhandbuch: „Residuallast entspricht dem gesamten Realisierten Stromverbrauch, abzüglich der Einspeisung von Photovoltaik-, Wind Onshore- und Wind Offshore-Anlagen.“ S. 48. Also ohne Biomasse, u.a.,

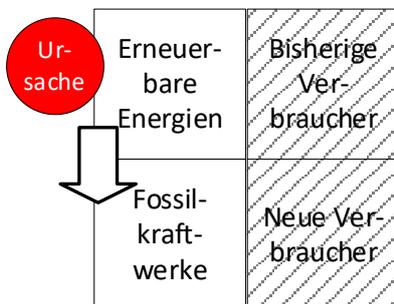
Ergebnis: Die neue Verbrauchergruppe wird mit Fossilstrom versorgt werden. Dieser hat einen Emissionsfaktor von rund 1.000 g/kWh.



Da nur Fossilstrom aufgrund seiner Eigenschaft als regelbar zur Verfügung steht, steigen die CO₂-Emissionen der Kraftwerke.

Die Anwendung für Strom, nämlich für den motorisierten Individualverkehr, gab es vor dem E-Auto nicht. Es ist eine neuartige Anwendung, die vorher nicht existent war. Jetzt ist sie da und verursacht Emissionen. Wäre sie nicht da, würde sie keine Emissionen verursachen. Fossilstromkraftwerke können diesen Zusatzstrom liefern, Erneuerbare Quellen erst einmal nicht.

4.7 Fall B: EE-Strom verdrängt Fossilstrom. CO₂-Emissionen?



Ursache – Wirkung: Erzeuger 1 nimmt zu, Erzeuger 2 reduziert seine Erzeugung. Auch hier funktioniert die Beziehung nur in dieser einen Richtung. Eine Reduktion der Stromerzeugung durch fossile Kraftwerke wird keine Steigerung der Erzeugerleistung durch E 1 (EE-Strom) bewirken.

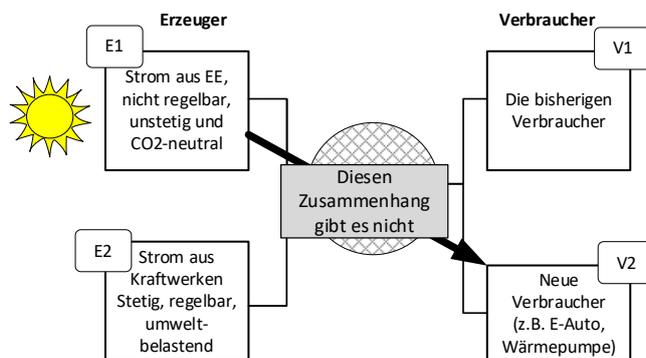
Die Erneuerbaren Energien haben ihre Leistung erhöht. In diesem Fall wird mehr EE-Strom ins Netz eingespeist, während der fossile Stromverbrauch entsprechend reduziert wird. Um die Schwankungen im Netz durch Solarpanels und Windräder auszugleichen, verringern die Fossilkraftwerke ihre Einspeisung ins Netz.

Was ist mit den Emissionen? Wird Strom von Erneuerbarer Energien ins Netz eingespeist, wird Fossilstrom mit einem CO₂-Emissionsfaktor von rund 1 kg/kWh verdrängt. Jedes kWh senkt die Emission um 1 kg CO₂. Der CO₂-Emissionsfaktor sinkt ebenfalls.

Ergebnis: Die CO₂-Emissionen sinken.

4.8 Diesen Zusammenhang gibt es nicht

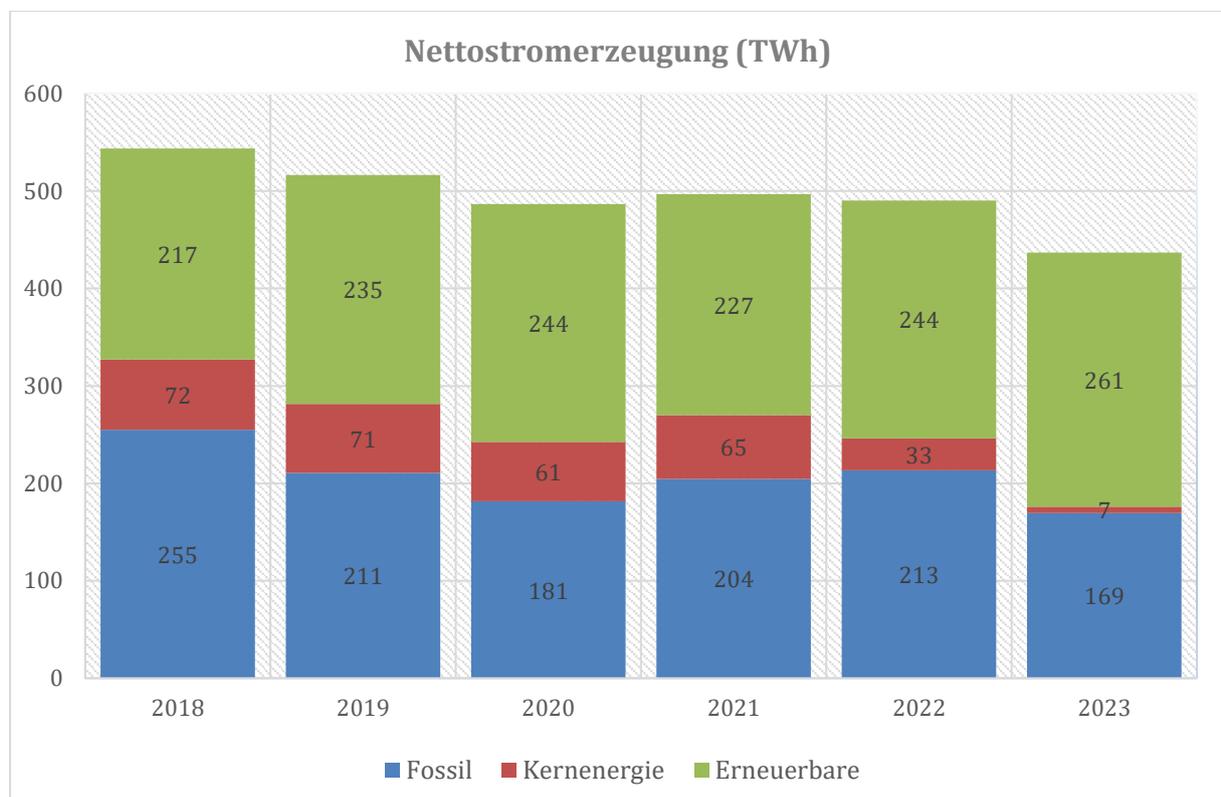
Wenn die Zahl der Storchenpaare in einer Region steigt und gleichzeitig auch mehr Kinder geboren werden, gibt es zwar eine Korrelation, aber keinen kausalen Zusammenhang zwischen beiden Ereignissen. Wenn in einem Jahr 1 TWh mehr Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt wird und gleichzeitig 1 TWh mehr Strom in E-Autos verbraucht wird, gibt es keinen Grund anzunehmen, dass es sich um eine Ursache-Wirkungsbeziehung handelt. Es gibt keine Beziehung, weder in der einen, noch in der anderen Richtung.



Beispielsweise kann sich der EE-Strom verzehnfachen, ohne dass ein neuer Verbraucher ans Netz geht. Ebenso kann sich die Zahl der E-Autos verzehnfachen, ohne dass der Strom aus Erneuerbaren auch nur um eine kWh steigt. Zwischen beiden Größen besteht keine Ursache-Wirkungsbeziehung.

5. Stromerzeugung und CO2-Emissionen in Deutschland (2018 – 2023)

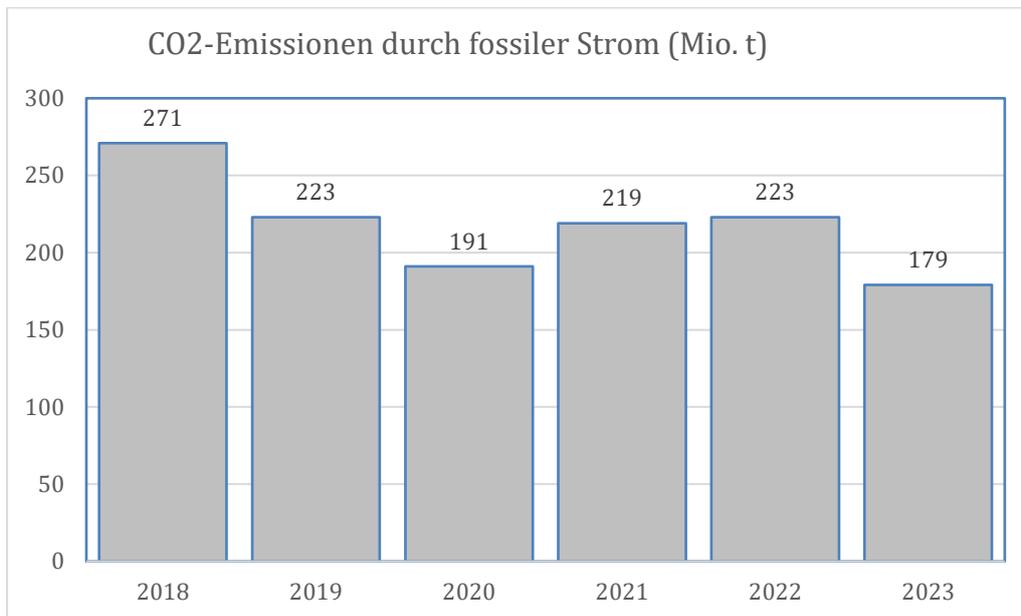
5.1 Nettostromerzeugung in Deutschland 2018 – 2023



	Nettostromerzeugung (TWh)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fossil	255,09	210,62	181,44	204,47	213,41	169,38
Kernenergie	71,87	70,99	60,91	65,44	32,78	6,72
Erneuerbare	216,53	234,68	244,31	226,78	244,15	260,68
Gesamt	543,49	516,29	486,66	496,69	490,34	436,78

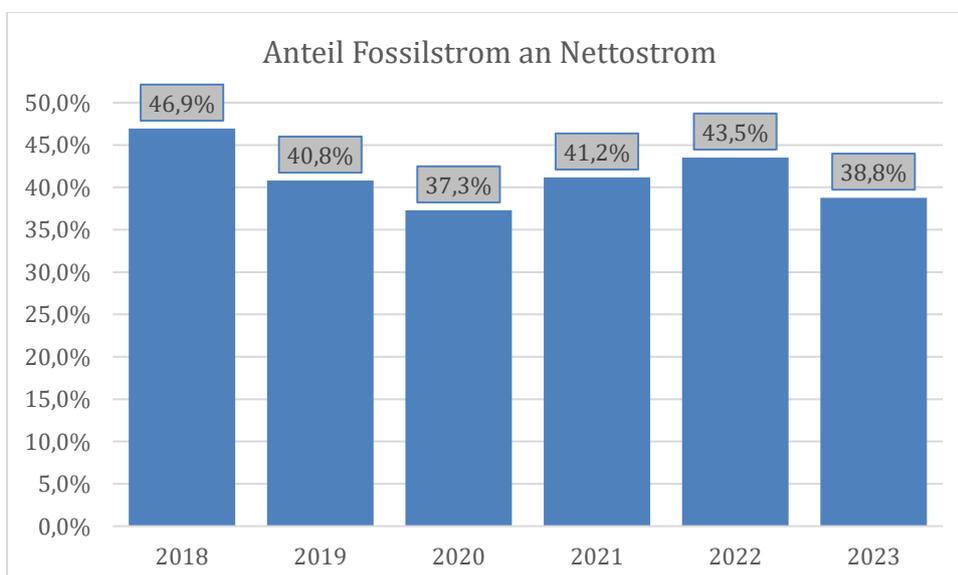
Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=2018 (und Folgejahre)

5.2 Fossiler Strom in der Nettostromerzeugung in Deutschland



Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>

5.3 Anteil fossilen Stroms an der Nettostromerzeugung in Deutschland

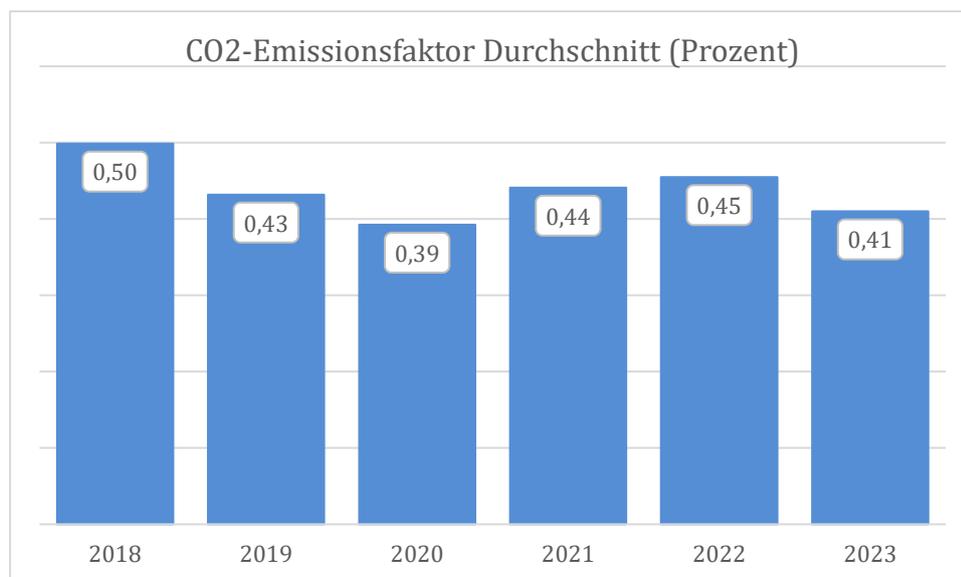


In obigem Diagramm zeigen die Säulen den Anteil der fossilen Energien an der Nettostromerzeugung in den Jahren von 2018 bis 2022. Von 2018 bis 2019 fällt der Anteil. Von 2021 bis 2022 steigt er wieder, um dann in 2023 deutlich zu sinken.

Entsprechend verändern sich über die Jahre hinweg die Emissionen.

5.4 CO₂-Emissionsfaktor der Stromerzeugung Deutschlands

Der CO₂-Emissionsfaktor der deutschen Stromerzeugung steigt von 2020 zu 2022. Also nicht gut für die Strombezieher wie E-Autos, selbst wenn man fälschlicherweise mit der Durchschnittsansatz rechnet.



Der CO₂-Emissionsfaktor sinkt ab 2018, erreicht in 2020 einen niedrigsten Wert und steigt in den Folgejahren an.⁵⁸ In 2023 sinkt er wieder auf 0,41 kg/kWh. Die Minderung geht auf einen starken Rückgang des Kohleverbrauchs zurück. Auch sanken die Emissionen zu Lasten der energieintensiven Industrie durch konjunktur- und krisenbedingte Produktionsrückgänge. Es fehlen aber noch Minderungen im Verkehrs- und Gebäudebereich.

5.5 CO₂-Emissionsfaktor anderer Länder

Einen Verbrenner durch ein E-Auto zu ersetzen, wird die CO₂-Emissionen reduzieren, wenn in einem Land der elektrische Strom vorwiegend durch Wasser und Wind hergestellt wird. Das ist beispielsweise in Norwegen der Fall. Doch in vielen Ländern der Erde, zumal in Deutschland, steht klimaneutraler Strom (noch) nicht zur Verfügung. In Polen, wo der Strom überwiegend aus Kohle gewonnen wird, wird ein E-Auto für das Klima negativ sein. Generell gilt: Solange E-Autos überwiegend mit fossiler Energie geladen werden, schaden sie dem Klima. Der Effekt hängt in hohem Maß von der Art der Stromerzeugung ab. CO₂-Emissionsfaktoren für einige Länder in 2022: Polen 636 g/kWh, Frankreich 48 g/kWh, Schweden 20 g/kWh, Deutschland 467 g/kWh.

⁵⁸ Statistische Bundesamt. Die Zahlen, die dort genannt sind, unterscheiden sich geringfügig, aber bestätigen den im Diagramm dargestellten Trend. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/> // <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>