

Kleine Cocktail-Kunde: Der „Strommix“

3. „Die Vermutung, dass die Elektrizität während der Lebensdauer eines Autos nicht sauberer wird“

Im August d.J. erschien eine **Studie der niederländischen Universität Eindhoven** mit dem Titel „Comparing the lifetime green house gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel“. Autoren dieser **von der Grünen-Fraktion im Deutschen Bundestag beauftragten Untersuchung** waren *Auke Hoekstra*, Forscher und Senior-Berater Elektromobilität, und *Prof. Maarten Steinbuch*, Gründer des Masterstudiengangs Automobiltechnik (Hoekstra & Maarten, 2020). Je nach Vergleichsbasis werden darin beachtliche CO₂e-Vorteile bis zu 82% für das BEV gegenüber einem mit konventionellem Kraftstoff betriebenen Pkw berichtet. "Die Diskussion um die CO₂-Bilanz von E-Autos wird zu sehr in Lagern und zu wenig auf Basis wissenschaftlicher Daten geführt. Viele Studien, vor allem aus Deutschland treffen zu konservative Annahmen auf Basis veralteter Daten.", kritisiert Autor *A. Hoekstra* von der Eindhoven University of Technology (<https://www.spiegel.de/auto/elektroautos-tatsaechlicher-co2-ausstoss-niedriger-als-bisher-angenommen-a-01907849-ede6-4f24-8c3f-89475aadbe69>).

Die niederländische Untersuchung erhob zudem den Anspruch, **die 6 größten Fehler zu korrigieren, die in den bisher vorliegenden Studien gemacht wurden** und das BEV grundlos benachteiligen.

Die vorliegende Abhandlung stellt diesmal den „Fehler Nr.3“ zur Diskussion, die „Vermutung, dass die Elektrizität während der Lebensdauer eines Autos nicht sauberer wird“.

The screenshot shows the website 'electrive.net' with a navigation bar. The main article is titled 'Elektroautos: Wie sauber ist der Fahrstrom? Eine Entwicklungsbilanz' and is dated 13.01.2020. The article text is highlighted in yellow, containing the following text: 'Die Energiewende auf dem Strommarkt ist sowohl Erfolgsgeschichte als auch Nachweis des politischen Unwillens, die Klimaziele zu erreichen. Was bedeutet das für die CO₂-Emissionen der Elektromobilität? Christoph M. Schwarzer klärt die Zusammenhänge anhand der deutschen Stromerzeugungsdaten 2019 auf.' Below the text are three asterisks '***'.

Bild 1: Auszug aus einem Internetdienst für Elektromobilität. Aufklärung? Leider (wie so oft) Fehlanzeige! Stattdessen Ignoranz und wieder einmal eine Schönrechnerei des BEV-Fahrstroms, (Schwarzer, 2020)

Eigentlich scheint es doch ganz simpel. Man multipliziert einfach den Fahrverbrauch des BEV in [kWh/100km] mit den bekannten Emissionsfaktoren für die länderspezifische Stromherstellung in der Einheit [g/kWh CO₂] und als Resultat bekommt man den streckenbezogenen CO₂-Beitrag des BEV analog zu einem konventionellen Verbrennerfahrzeug. Dies dachte sich auch *M. Schwarzer* von *electrive.net*, Bild 1, und konstruierte gar ein kleines Rechenbeispiel: „Ein Tesla Model 3 verbraucht laut *spritmonitor.de* im Realbetrieb 18,1 kWh/100 km. Legt man den 2018er Wert zu Grunde (Anm. des Verf.: gemeint ist hier der lt. Umweltbundesamt vorläufige Wert von 474 g CO₂/kWh für die CO₂ - Emission im deutschen Strommix 2018), ergeben sich daraus 85,8 g CO₂ pro km. **Hierbei ist anders als bei fossilen Kraftstoffen die Vorkette der Produktion berücksichtigt.**“, (Schwarzer, 2020).

Diese Unkenntnis taucht in den einschlägigen Medien leider immer wieder auf. In den besagten Zahlen des UBA sind die Vorketten eben NICHT enthalten, wie zum wiederholten Mal auch im aktuellen Bericht des UBA „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019“ explizit auf Seite 11, unten dargestellt wird, (Icha et al., 2020). Nebenbei hat der *electrive.net* - Journalist *M. Schwarzer* in seiner Rechnung weiterhin die Übertragungsverluste im deutschen Stromnetz und die Ladeverluste für den Tesla Modell 3 „übersehen“.

Ein zentraler Kritikpunkt an der viel geschmähten „Sinn-Studie“ vom April 2019 (Buchal et al., 2019) bestand darin, dass Prof. Sinn und seinen Mitautoren vorgeworfen wurde, dass sie die CO₂-Emission des deutschen Strommix mit 550 g CO₂/kWh viel zu hoch angesetzt hätten. Der Journalist *S. Hajek* informierte bspw. die Leserschaft der *WirtschaftsWoche* wenige Tage später: „Beim Stromaufwand für das Fahren des Tesla schließlich berechnet *Sinn* CO₂-Emissionen, die um **satte 16 Prozent höher** liegen als die offiziellen Zahlen des Umweltbundesamtes. **Warum weiß man nicht**, aber auch das verschlechtert natürlich die Bilanz des Elektroautos, **ist ohne wissenschaftliche Grundlage und öffnet Spekulationen Tür und Tor.**“, (Hajek, 2019).

Ist es eigentlich wirklich zu viel verlangt, dass Journalisten vor derartig dreisten Behauptungen eine wissenschaftliche Abhandlung vielleicht doch erst einmal durchlesen sollten? *WirtschaftsWoche*-Journalist *S. Hajek* hätte die Antwort auf seine Frage der Originalstudie entnehmen können, (Buchal et al., 2019). Auch in einer späteren Verteidigung der Vorgehensweise und Annahmen betonte Prof. Sinn nochmals, dass der Unterschied in den CO₂-Emissionsfaktoren darauf zurückgeht, dass die Zahlen des UBA keine „Vorketten“ beinhalten, (Sinn, 2019).

„Alles in allem sollten Elektrofahrzeuge, die 2020 in Europa verkauft werden, mit 250 g CO₂eq/kWh Elektrizität (sic!) über ihre gesamte Lebensdauer berechnet werden.“ fordern die Autoren *A. Hoekstra* und *M. Steinbuch* in ihrer aktuellen Studie „Vergleich der lebenslangen Treibhausgasemissionen von Elektroautos mit den Emissionen von Fahrzeugen mit Benzin- oder Dieselmotoren“, (Hoekstra et al. 2020).

Bei diesem Wert habe sicherlich nicht nur ich gestutzt. **Lediglich 250 g CO₂e/kWh zur Berechnung der BEV Emission im Fahrbetrieb?** „Einen für Elektroautos vorteilhaften Wert“ nennt der *electrive.net*-Journalist *S. Schaal* diese Annahme der niederländischen Wissenschaftler. *C. Bauer* vom schweizerischen Paul-Scherrer-Institut bezeichnet das Vorgehen von Hoekstra et al. als „...derzeit etwas optimistisch. 400 Gramm wären hier ein besser abgesicherter Wert“, (Schaal, 2020).

Wie kann der Fahrstrom für ein identisches BEV – ein Tesla Modell 3 – in einer Studie mit 550 g CO₂/kWh, in einer anderen, ein Jahr später erschienenen Untersuchung mit 250 g CO₂/kWh berechnet werden?, (Buchal et al., 2019), (Hoekstra et al., 2020).

H.-W. Sinn, C. Buchal und H.-D. Karl verwendeten in ihrer Analyse den **deutschen Strommix aus dem Jahr 2018**. Das geht schon zweifelsfrei aus dem 2. Satz (!) ihrer Einleitung hervor. Auf nachvollziehbarem und mit glaubwürdigen Quellen belegtem Rechenweg ergibt sich unter Einbezug der Vorketten und Netzverluste in der Studie der Wert von **550 g/kWh** Kohlendioxid für den „Strom aus der Steckdose“. Der vom UBA für 2018 angegebene, vorläufige(!) Wert von **468 g/kWh**, bezieht sich allein auf die Stromerzeugung im Kraftwerk, (Icha et al., 2020). Insofern ist eine Kritik an der „lfo-Studie“ zumindest in diesem Punkt in keiner Weise zu rechtfertigen.

In der Untersuchung von *Hoekstra et al. (2020)* wird hingegen der **europäische Strommix** für die Berechnungen verwendet. Die Autoren nutzen für das Jahr 2019 einen Wert von **267 g/kWh** (ohne Vorkette!). **Der Unterschied zwischen deutschem und europäischem Strommix beeinflusst das finale Ergebnis einer solchen Studie entscheidend**, wie exemplarisch Bild 2 illustriert. VW Volkswagen vergleicht hier das LCA Resultat seines eGolf für den Strommix verschiedener Staaten. In Summe ergibt sich bspw. eine totale CO2 Emission von 119 g/kWh unter Berücksichtigung des EU-Strommix und 142 g/kWh bei Annahme des Strommix in Deutschland (Volkswagen, 2019). In diesem Diagramm nicht dargestellt sind die Referenzfahrzeuge von Volkswagen mit konventionellem Antrieb. **Der dieselbetriebene Golf emittiert dabei lt. Volkswagen 140 g/kWh CO2 und liegt damit sogar etwas günstiger als der elektrifizierte Golf, (Volkswagen, 2019).**



Stand: 24. April 2019

Bild 2: Einfluss des länderspezifischen Strommix auf die CO2-Emission von BEV (Volkswagen, 2019)

Ein grundsätzliches Problem solcher Betrachtungen ist die rasche jährliche Veränderung des Strommix und so erklärt sich auch der häufige genannte Kritikpunkt, für die Berechnung der CO2-Emissionen des BEV im Fahrbetrieb würden „veraltete“ Daten benutzt. Dieser Vorwurf passt eigentlich (fast) immer, da zum Zeitpunkt der Publikation einer Studie der Strombeitrag aus konventionellen kalorischen Kraftwerken meist schon wieder gesunken ist. In Bild 3 habe ich aus Daten des Umweltbundesamtes diese historische Entwicklung des deutschen Strommix aufgezeichnet. Eine lineare Regression auf Basis dieser Daten ($r^2=0,94$) ergibt eine

jährliche Abnahme von etwa 10 g/kWh CO₂. Der Wert für 2018 ist lt. UBA noch ein vorläufiger Wert und der CO₂-Wert für 2019 eine Schätzung, (Icha et al., 2020).

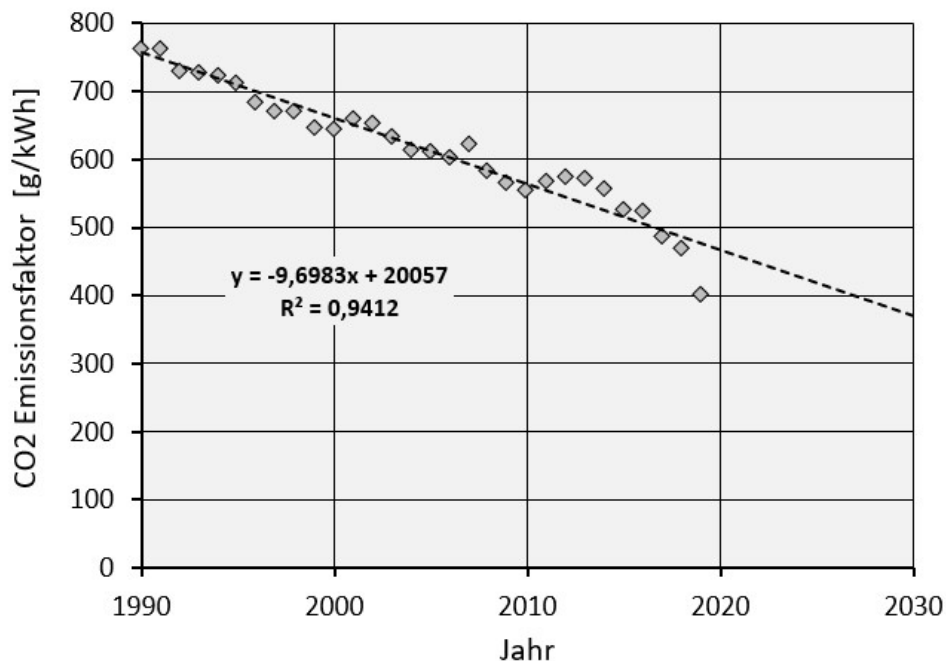


Bild 3: Historie der CO₂-Emission im deutschen Strommix von 1990 bis 2019 (eigene Darstellung auf Basis der Daten des UBA)

Die Mehrzahl aller aktuellen Studien geht von einer positiven Weiterentwicklung und fortwährender CO₂-Reduktion im Strommix aus und entwickelt so auch gewisse Vergleichsszenarien für 2030 und evtl. auch für noch später.

Ausnahmen, wie bspw. die Abhandlung von Buchal et al. (Buchal, 2019), i.e. die sogenannte „Ifo-Studie“ oder „Sinn-Studie“, berücksichtigen nur das erste Bezugsjahr (hier das Jahr 2018) und halten den **Wert von 555 g/kWh CO₂** konstant über die gesamte zukünftige Fahrleistung des BEV. Dieses ist vielleicht ein bequemer, aber doch eher unwahrscheinlicher Ansatz.

Das Karlsruher Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI bspw. berücksichtigt in seinen Untersuchungen eine zukünftige positive Entwicklung des Strommix und unterstellt eine linear verlaufende, alljährliche Verbesserung, die aus Bild 4 ersichtlich wird. **Zusätzlich sind auch die Netzverluste mit 6% und die „Vorketten-Emissionen mit 30 g/kWh CO₂ (= roter Kurvenverlauf in Bild 4) eingetragen.** Für das **Jahr 2030** geht das ISI von einem **CO₂-Wert im deutschen Strommix von 347 g/kWh** aus, (Wietschel et al., 2019).

Im Auftrag von Automobilclubs in Deutschland ADAC, Österreich ÖMATC und der Schweiz FIA hat das Grazer Forschungsinstitut Joanneum Research eine Studie erstellt, die für das Jahr 2019 eine CO₂-Emission von 415 g/kWh, **in 2030 von 435 g/kWh** (sic) und für das Jahr 2050 von 285 g/kWh im deutschen Strommix unterstellt, (Jungmeier, 2019). Der ADAC, der diese Studie mit beauftragt hatte, nennt in einer Zusammenfassung der für Deutschland relevanten Studienergebnisse allerdings **für 2019** einen abweichenden Wert von **590 g/kWh**, (Kroher, 2019). Eine Anfrage des Verfassers an das Joanneum zur Klärung dieser Unstimmigkeit blieb bisher noch unbeantwortet. Der auffallend hohe Emissionsfaktor für das

Jahr 2030 wird mit der Kompensation des beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie begründet, (Kroher, 2019).

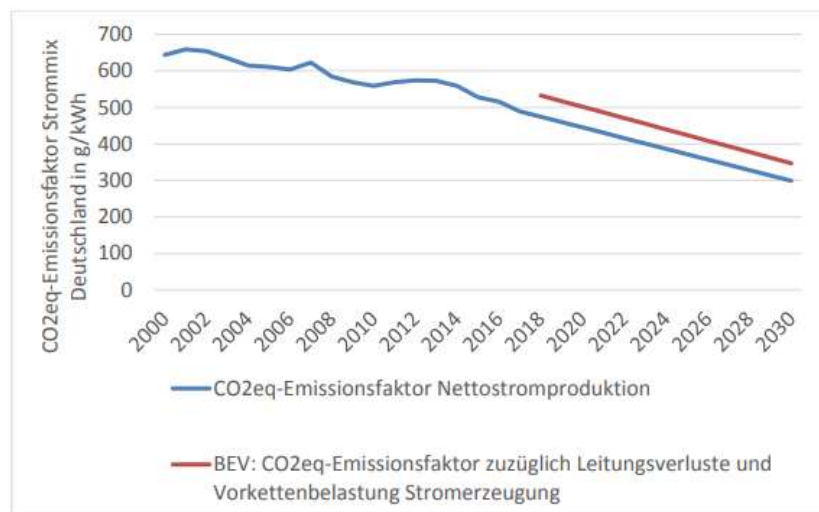


Bild 4: Historie der CO₂-Emission im deutschen Strommix von 1990 bis 2017, danach Trendanalyse nach Berechnungen des Fraunhofer ISI, Karlsruhe (Wietschel et al., 2019)

Abweichend von den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen wählen A. Hoekstra und M. Steinbuch einen gänzlich anderen Ansatz, basierend auf einem Durchschnittswert der geschätzten CO₂-Emissionsfaktoren aus den Jahren 2019 und 2040. Die Studienautoren führen dazu aus: „Der europäische Strommix ändert sich über die Lebensdauer des Elektrofahrzeugs von **260 g CO₂-Äq/kWh im Jahr 2019** auf **117 g CO₂-Äq/Jahr im Jahr 2040**.“ Der gewichtete Durchschnitt der europäischen Stromversorgung über die Lebensdauer eines im Jahr 2020 verkauften Elektrofahrzeugs beträgt etwa **192 g CO₂-Äq/kWh**. Addiert man die vorgelagerten Emissionen, den Handel und die Netzverluste, so ergibt sich eine Gesamtkohlenstoffintensität des von Elektrofahrzeugen verbrauchten Stroms von etwa **250 g CO₂-Äq/kWh**.“, (Hoekstra & Steinbuch, 2020). Erwartete Verbesserungen in der Zukunft werden auf diese Weise schon nach 2020 „vorverlagert“.



Land	Forschungsinstitut/Hochschule/....	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh CO ₂ e]					Quelle	Anmerkung	
		2018	2019	2020	2030	2040			2050
	"IFO-Studie", "Sinn-Studie"	550						(Buchal, Karl & Sinn, 2019)	inkl. Vorketten + Netzverluste
	Fraunhofer ISI Karlsruhe			500	347			(Wietschel et al., 2019)	inkl. Vorketten + Netzverluste
	ADAC		590		435		285	(Kroher, 2019)	inkl. Netzverluste
	Joanneum Research Graz		415		435		285	(Jungmeier, 2019)	inkl. Netzverluste
	Umweltbundesamt UBA	468	401					(Icha, 2020)	ohne Vorkette + Netzverluste
	TU Eindhoven			250	250	250		(Hoekstra & Steinbuch, 2020)	inkl. Vorketten + Netzverluste

Bild 5: Angaben zum Strommix in verschiedenen Studien

Wie bereits weiter oben erwähnt, benutzen Hoekstra und sein Co-Autor Steinbuch ausschließlich die Werte des europäischen Strommix, der bekanntlich auf niedrigem Niveau liegt als der deutsche Strommix. Warum eine Studie, die von Abgeordneten des Deutschen Bundestages in Auftrag gegeben wurde und zweifelsfrei zur „Aufklärung der deutschen

Bürgerinnen und Bürger zum Thema „E-Mobilität“ dienen soll, NICHT auch zusätzlich die deutschen Verhältnisse bei der Stromerzeugung berücksichtigt, bleibt zumindest fragwürdig. In Bild 5 findet sich nochmals eine Zusammenfassung aller in meiner Abhandlung angesprochenen CO₂-Emissionsfaktoren zur Berechnung des Fahrstroms von BEV. Die Auswirkungen dieser tlw. doch sehr unterschiedlichen Annahmen auf das Ergebnis solcher Vergleichsstudien und die absolute CO₂-Belastung durch das jeweilige Fahrzeug bilden das Thema meines nächsten Aufsatzes in dieser Serie.

In meinem nächsten Aufsatz, der in Kürze erscheint, geht es um den „**Fehler Nr. 4**“, der nach Ansicht der beiden niederländischen Studienautoren *Hoekstra und Maarten* in allen anderen Studien begangen wird: „**Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch**“.

Literaturverzeichnis

Buchal, C., Karl, H.-D., Sinn, H.-W. (2019). Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? ifo Schnelldienst, 8/2019. 72. Jahrgang, 25. April 2019. Abgerufen von <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf>

Juhrich, K. (2020). Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix. Abgerufen am 03. Oktober 2020, von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>

Hajek, S. (2019). Nachgerechnet: Wann Elektroautos sauberer sind als Verbrenner. In Wirtschaftswoche, 12. November 2019. Abgerufen von https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/vor_ort/bv/bv-berlin-brandenburg/dateien_dokumente/191118_Nachgerechnet-eMo_WiWo_ohne-Anzeigen.pdf

Hajek, S. (2019). Was Hans-Werner Sinn bei seiner Elektroauto-Studie übersehen hat. Abgerufen am 4. November 2020, von <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/ist-das-e-auto-ein-rueckschritt-was-hans-werner-sinn-bei-seiner-elektroauto-studie-uebersehen-hat/24237236.html>

Hoekstra, A., & Steinbuch, M. (2020). Comparing the lifetime green house gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel. Eindhoven University of Technology. Abgerufen am 04. Oktober 2020, von https://www.gruenebundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/mobilitaet/pdf/200831-Studie_EAuto_versus_Verbrenner_CO2.pdf

Icha, P., Kuhs, G. (2020). Entwicklung der spezifischen KohlendioxidEmissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019. Umweltbundesamt UBA. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf

Jungmeier G., Canella L., Pucker-Singer J., Beermann M. (2019). Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen. Joanneum Research Version 1.1. Abgerufen am 10. November 2020, von https://res.cloudinary.com/adacde/image/upload/v1572625374/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/LCA_Tool_-_Joanneum_Research_zp22wt.pdf

Kroher, T. (2019). Elektroautos brauchen die Energiewende: Die Klimabilanz. ADAC. Abgerufen am 9. November 2020, von <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/klimabilanz/?redirectId=quer.klimabilanz2018>

Schaal, S. (2020). Niederländische Studie: Aktuelle E-Autos für weniger CO2 verantwortlich als Verbrenner. Abgerufen am 4. November 2020, von <https://www.electrive.net/2020/08/31/niederlaendische-studie-aktuelle-e-autos-fuer-weniger-co2-verantwortlich-als-verbrenner/>

Schwarzer, M. (2020). Elektroautos: Wie sauber ist der Fahrstrom? Eine Entwicklungsbilanz. Abgerufen am 03. November 2020, von <https://www.electrive.net/2020/01/13/elektroautos-wie-sauber-ist-der-fahrstrom-eine-entwicklungsbilanz/>

Schwierz, P. (2019). Experten entlarven Elektroauto-“Studie” von Hans-Werner Sinn als unwissenschaftliche Meinungsmache. Abgerufen am 4. November 2020, von <https://www.electrive.net/2019/04/20/experten-entlarven-elektroauto-studie-von-hans-werner-sinn-als-unwissenschaftliche-meinungsmache/#:~:text=Experten%20entlarven%20Elektroauto%2D%E2%80%9CStudie%E2%80%9D,Werner%20Sinn%20als%20unwissenschaftliche%20Meinungsmache&text=Elektroautos%20belasten%20das%20Klima%20um,Prozent%20mehr%20als%20vergleichbare%20Diesel.&text=Hans%2DWerner%20Sinn%2C%20ver%C3%B6ffentlichte%20am%2017.>

Sinn, H.-W. (2019). Erläuterungen zur Studie: Was zeigt die CO2-Bilanz? Abgerufen am 16. Oktober 2020, von <https://www.hanswernersinn.de/de/elektroautos-was-zeigt-die-co2-bilanz-faz-26042019>

Volkswagen (2019). Klimabilanz von E-Fahrzeugen & Life Cycle Engineering. https://uploads.volkswagen-newsroom.com/system/production/uploaded_files/14448/file/da01b16ac9b580a3c8bc190ea2af27db4e0d4546/Klimabilanz_von_E-Fahrzeugen_Life_Cycle_Engineering.pdf?1556110703

Wietschel, M., Kühnbach, M., Rüdiger, D. (2019). Die aktuelle Treibhausgasemissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI.. Abgerufen von https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2019/WP02-2019_Treibhausgasemissionsbilanz_von_Fahrzeugen.pdf

Wietschel, M., Moll, C., Oberle, S., Lux, B., Timmerberg, S., Neuling, U., Kaltschmitt, M., Ashley-Belbin, N. (2019). Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw. Abgerufen von <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/klimabilanz-kosten-potenziale-antriebe-pkw-lkw.pdf>

Wietschel, M. (2019). Stellungnahme zur Ifo Studie. Abgerufen von https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/Stellungnahme_zur_ifo-Studie_Klimabilanz_Elektrofahrzeug.pdf