

Wie klimafreundlich sind Elektroautos?

Update Bilanz 2020



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Claudia Kämper, Hinrich Helms und Kirsten Biemann

Die Klimabilanz von Elektrofahrzeugen

Elektroautos können ein wichtiger Baustein für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors sein. Angesichts der Vielzahl von sich zum Teil auch widersprechender Pressemeldungen und Studien zur Klimabilanz von Elektrofahrzeugen¹, kommt es immer wieder zu Missverständnissen und Fehlinterpretationen. Vor allem der Strommix entscheidet, ob die Klimabilanz eines Elektrofahrzeugs besser gegenüber den konventionellen Vergleichsfahrzeugen ist. Denn während der Elektromotor im Fahrzeugbetrieb keine Treibhausgase ausstößt, treten die Emissionen stattdessen in der Strombereitstellung durch die Kraftwerke auf (Verlagerung in die Vorkette). Der Betrieb von Elektrofahrzeugen ohne erneuerbaren Strom würde die Klimabilanz daher deutlich verschlechtern. Glücklicherweise steigt der Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland seit Jahren und 2019 wurde bereits ein Anteil von 42,1 Prozent erreicht (UBA / AGEE-Stat 2020). Im Betrieb ergeben sich daher in der Regel deutliche Klimavorteile für Elektroautos. Doch was ist mit der energieintensiven Herstellung der Batterie? Wie wirkt sich diese auf die Gesamtbilanz aus?

Eine Beispielrechnung zeigt die Klimabilanz über den gesamten Lebensweg für verschiedene Antriebe, von modernen Verbrennerfahrzeugen, über das Hybrid- und Erdgasfahrzeug bis zum Elektrofahrzeug, und berücksichtigt dabei folgende möglichst realitätsnahe Annahmen:

- Betrachtet wird der gesamte Lebenszyklus der Fahrzeuge, einschließlich der Fahrzeug- und Batterieherstellung, des Betriebs mit Strom bzw. konventionellen Kraftstoffen sowie den mit deren Bereitstellung verbundenen Treibhausgasemissionen, der Wartung sowie der Entsorgung und des Recyclings aller Fahrzeugkomponenten inklusive der Batterie.
- Emissionsminderungen bei Strom und Kraftstoffen aufgrund des Ausbaus erneuerbarer Energie in der deutschen Stromerzeugung und der Beimischung von Biokraftstoffen werden bei allen Fahrzeugen entsprechend, der geltenden nationalen Ziele und EU-Verordnung 2018/2001 als Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie

¹ Zu den häufigsten Ursachen für irreführende oder sich widersprechende Meldungen zählen der Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugeigenschaften (z.B. unterschiedliche Segmente, Motorisierungen und Batteriekapazitäten), unterschiedliche Annahmen zu Bilanzgrenzen (z.B. Lebenswegphasen und Infrastruktur) sowie zum Strommix in der Herstellung und die Nutzung veralteter Daten (insbesondere bei Batterien).

(RED II), berücksichtigt². Dabei wird auch angenommen, dass neue Fahrzeuge tendenziell mehr genutzt werden als ältere.

- Für die Fahrzeugherstellung wird die Produktion in Europa angenommen, während die Batterieherstellung für die heutige Situation entsprechend dem aktuellen Mix der Herstellungsländer berücksichtigt wird. Für den Ausblick auf 2030 wird dann von einer europäischen Batterieproduktion ausgegangen.
- Verluste zwischen Kraftwerk, Steckdose und Fahrzeugbatterie werden berücksichtigt.
- Für den Energieverbrauch werden realitätsnahe Daten von ähnlichen Beispielfahrzeugen aus dem ADAC Ecotest verwendet, die deutlich über den offiziellen Herstellerangaben liegen (ADAC 2019)³. Flottendurchschnittswerte werden nicht berücksichtigt. Es handelt sich um einen reinen Technologievergleich, der möglichst ähnliche Fahrzeuge betrachtet.
- Verzicht auf Gutschriften für Elektroautos, die aus einer möglichen Zweitverwendung der Batterie („Second Life“) oder aus einer, die Einspeisung von erneuerbaren Energien begünstigenden, gesteuerten Laden zukünftig resultieren könnten.
- Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Nutzungsmustern zu ermöglichen, werden die Gesamtemissionen über den Lebensweg auf die gefahrenen Kilometer umgelegt.

Abbildung 1 zeigt diese Bilanz für eine Lebensfahrleistung von 150.000 Kilometern, die in vielen Lebenswegbetrachtungen üblich ist. Damit liegen die Treibhausgasemissionen eines heutigen rein batterieelektrischen Fahrzeugs (kurz: BEV) mit einer angenommenen Batteriekapazität von 48 kWh⁴ unter Berücksichtigung des deutschen Strommixes über den Lebensweg⁵ niedriger als bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

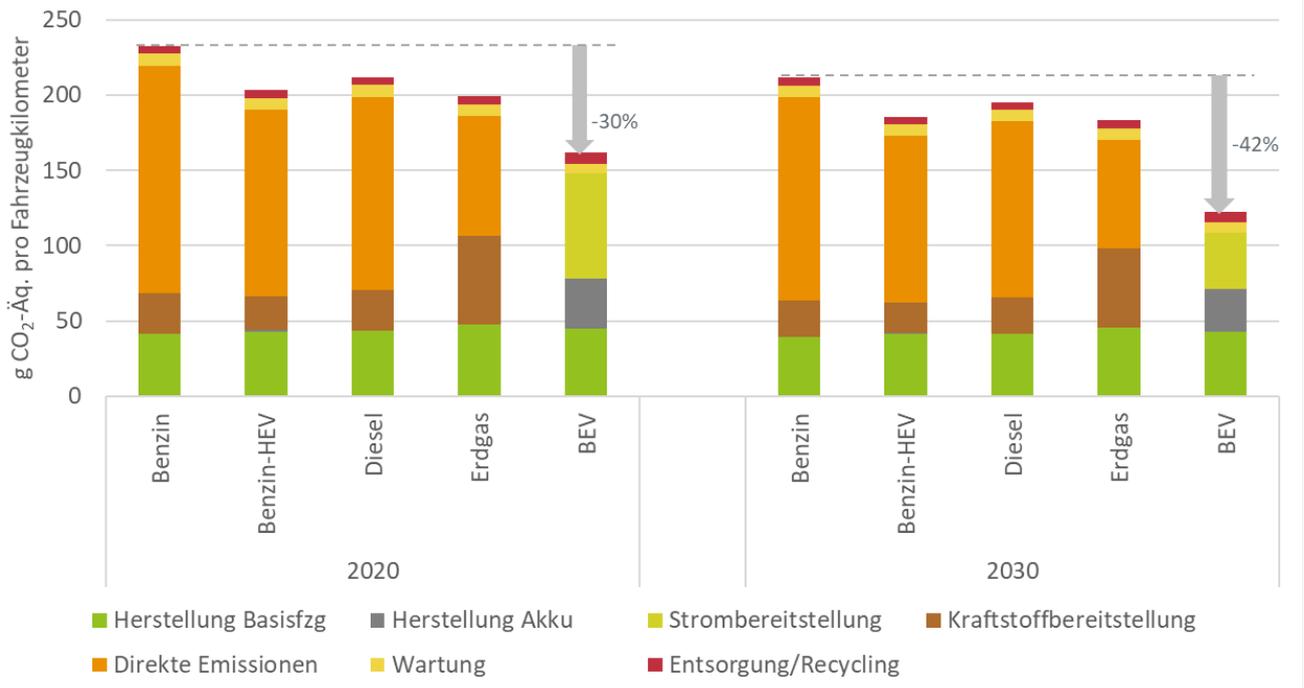
Das heutige Elektroauto der Kompaktklasse stößt über seinen Lebensweg dann etwa 30 Prozent weniger Klimagase aus als der heutige Benziner. Hybrid-, Diesel- und Erdgasfahrzeuge haben zwar eine etwas besser Klimabilanz als der Benziner, hinken gegenüber dem Elektrofahrzeug in der Klimabilanz jedoch ebenfalls schon heute hinterher. Selbst bei einer Verdoppelung der Batteriekapazität auf 90 kWh, wie sie bereits als verschiedene Ausführungsvarianten einiger Fahrzeuge angeboten werden, bleibt der Klimavorteil gegenüber Verbrennern erhalten, auch wenn dieser geringer ist. Allerdings sollte die Realität des eigenen Fahrmusters berücksichtigt werden. Die meisten Wege sind deutlich kürzer als die typischen realen Reichweiten von Elektrofahrzeugen.

² Nähere Erläuterungen zu den Anteilen der Biokraftstoffe am Endenergieverbrauch sind im Kapitel 3.7.2 im aktuellen TREMOD Bericht zu finden (Knörr et al. 2020).

³ Ausgewählt wurden Fahrzeuge der Kompaktklasse mit einer ähnlichen Motorisierung: VW Golf 1.5 eTSI Style DSG (Benziner), VW Golf 2.0 TDI SCR Style DSG (Diesel), Hyundai IONIQ Hybrid Style (HEV), VW Golf 1.5 TGI BlueMotion Comfortline und Mercedes B 200 c 7G-DCT (Erdgas) und VW e-Golf (BEV)

⁴ Für die Batteriegröße wird die Bruttokapazität der Basisauslegung des VW ID.3 gewählt. Da für den ID.3 noch keine ADAC Ecotest Daten verfügbar sind werden aufgrund der ähnlichen Motorisierung die ADAC Ecotest Verbrauchswerte für den VW eGolf gewählt.

⁵ Setzt man die mittlere Fahrleistung von privat genutzten Elektro-Pkw an, wird die Lebensfahrleistung von 150.000 Kilometern nach knapp 13 Jahren erreicht. Über diesen Zeitraum wurde hier auch der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung berücksichtigt.



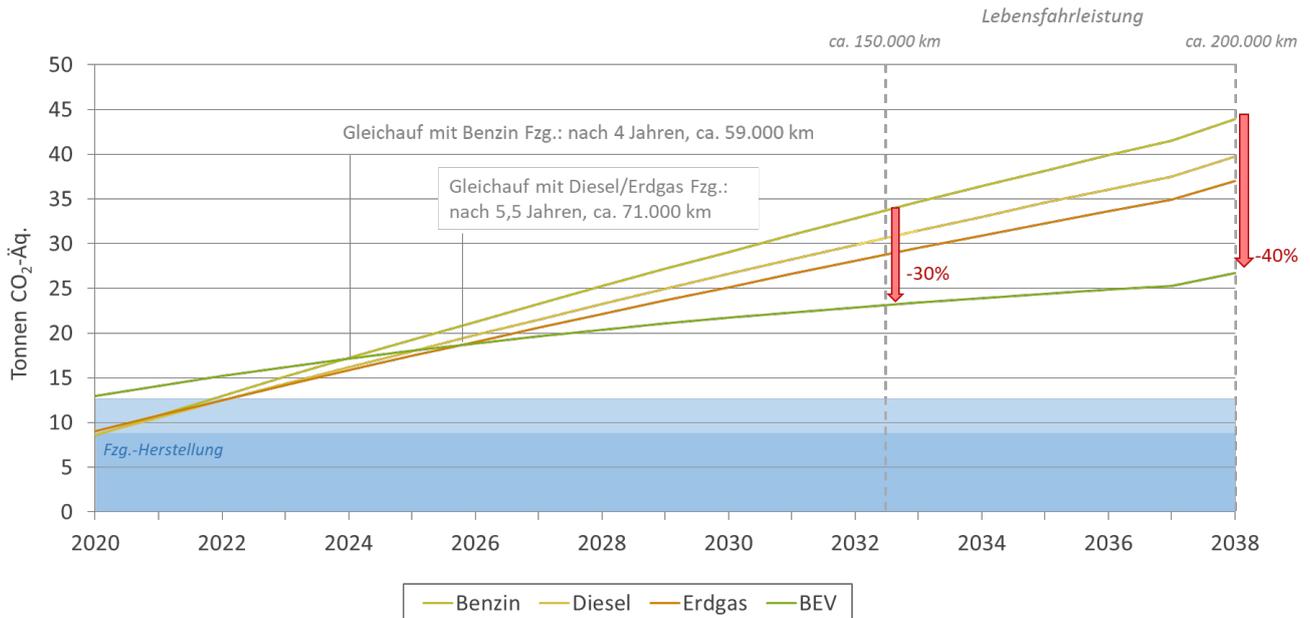
(Quelle: ifeu 2020).

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus für ein neu zugelassenes Fahrzeug 2020 und 2030 (Kompaktklasse, 150.000 km)

Welche Rolle spielt die Energiewende bei der Bewertung des Elektroautos?

Während beim Benzin- oder Diesel-Fahrzeug bereits beim Fahrzeugkauf im Wesentlichen feststeht, welche Treibhausgasemissionen anzurechnen sind, ist beim Elektroauto die Entwicklung im Stromsektor von großer Bedeutung für die Emissionen. Wird der Strommix grüner, wird auch das Elektroauto sauberer. Durch die Energiewende (Ziel für 2030 ist laut Koalitionsvertrag ein Anteil erneuerbarer Energie im Strommix von 65 Prozent (Bundesregierung 2018)) und erwartete Verbesserungen bei der Batterieherstellung, wird ein 2030 neu zugelassenes Fahrzeug einen dann noch größeren Vorteil aufweisen. Eine vergleichbare Entwicklung bei Benzin, Diesel und Erdgas ist dagegen eher unwahrscheinlich. Das Potenzial nachhaltiger Biokraftstoffe ist begrenzt und die Klimabilanz fossiler Kraftstoffe könnte sich künftig sogar verschlechtern, etwa bei einer verstärkten Förderung aus Teersanden oder mittels „Fracking“. Der Klimavorteil des Elektroautos wächst daher auf bis zu 42 Prozent, und das obwohl auch für Verbrenner weitere Effizienzverbesserungen angenommen wurden.

Verbrenner werden in Deutschland heute jedoch deutlich länger genutzt als früher. Die mittlere Betriebsdauer in Deutschland liegt heute schon bei etwa 18 Jahren (Statista Research Department 2014). Daher werden von vielen Fahrzeugen auch deutlich höhere Lebensfahrleistungen erreicht. Auch für Elektroautos sind hohe Lebensdauern und -fahrleistungen denkbar, zumal konzeptbedingt nur wenig Verschleiß auftritt (Doppelbauer 2020). Bezüglich der kalendarischen Alterung der Batterie gibt es hier jedoch Unsicherheiten.



(Quelle: ifeu 2020).

Anmerkung: Die Emissionen aus der Fzg.-Herstellung sind bereits am Beginn der Fahrleistung (2020) integriert (blauer Bereich). Die End-of-Life Emissionen werden im letzten Jahr (2038) der dargestellten Fahrleistung addiert.

Abbildung 2: Vergleich der Treibhausgasemissionen verschiedener Fahrzeugtypen über die Fahrleistung (Neuzulassungen in 2020, Kompaktklasse)

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen daher in Abhängigkeit des Fahrzeugalters unter der Annahme der heute üblichen Jahresfahrleistung von Elektroautos (Bäumer et al. 2017). Das Elektrofahrzeug beginnt seine Nutzungsphase zwar mit höheren Emissionen aus der Herstellung, die Treibhausgasemissionen der Nutzungsphase sind dann jedoch deutlich geringer, der Anstieg ist also deutlich flacher als bei den übrigen Fahrzeugen. Bei gleicher Nutzungsintensität hat das Elektrofahrzeug dann gegenüber einem Benzinler bereits ab gut 4 Jahren, gegenüber Erdgas und Diesel ab etwa 5,5 Jahren einen Klimavorteil. Nach 18 Jahren wäre dann eine Lebensfahrleistung von etwa 200.000 Kilometern erreicht und der Klimavorteil gegenüber dem Benzinler beträgt 40 Prozent, gegenüber dem Diesel 33 Prozent und gegenüber dem Erdgas-Pkw 28 Prozent.

Zusammenfassung der wichtigsten Quellen für die Bilanzierung

- Für die Umweltbilanzierung der Fahrzeugtechnologien wurde das ifeu Ökobilanzmodell eLCAR angepasst. Es ist mit umberto LCA+ modelliert und verwendet als Inventardatenbasis ecoinvent 3.6 (Wernet et al. 2016).
- Mit eLCAR können verschiedene generische Fahrzeugtechnologien abgebildet werden. Die Material- und Komponentenzusammensetzung der Fahrzeuge gehen auf (Agora Verkehrswende 2019; Helms et al. 2011, 2013, 2016) zurück.
- Die Traktionsbatterie der Elektrofahrzeuge wird kontinuierlich angepasst, da die technologischen Entwicklungen in diesem Bereich besonders ergebnis-relevant sind. Die Modellierung der Zelle basiert auf (Dai et al. 2017, 2018; Ellingsen et al. 2014). Daraus ergibt sich eine Treibhausgasintensität der Batterieherstellung für 2020 mit 105 kg CO₂-Äq./kWh und 2030 mit 70 kg CO₂-Äq./kWh auf Systemebene.
- Die Fahrzeugentsorgung wurde methodisch mit einem Cut-off Ansatz abgebildet (100:0). Der Aufwand für Recycling ist über Daten von GREET und EverBat abgebildet (Dai / Winjobi 2019).

- Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge ADAC Ecotest (VW Golf 1.5 eTSI Style DSG, 6,1 l/100 km; VW Golf 2.0 TDI SCR Style DSG, 4,8 l/100 km; Hyundai IONIQ Hybrid Style, 5 l/100 km; VW Golf 1.5 TGI BlueMotion Comfortline und Mercedes B 200 c 7G-DCT gemittelt 4,2 kg/100 km; VW e-Golf, 17,3 kWh/100 km) (ADAC 2020).
- Emissionsfaktoren für den Stromverbrauch ifeu Stromerzeugung/ Kraftwerkspark-Modell (Fehrenbach et al. 2016), Roadmap OH-Lkw (Jöhrens et al. 2020),ecoinvent 3.6 (Wernet et al. 2016)
- Kraftstoffvorketten nach HBEFA 4.1 (Matzer et al. 2019) und TREMOD (Knörr et al. 2020)
- Durchschnittliche Jahresfahrleistungen von privat genutzten Elektrofahrzeugen nach Fahrleistungserhebung 2014 (Bäumer et al. 2017).

Fazit

Elektrofahrzeuge können nicht die einzige Strategie sein, um den gesetzten Zielen des Klimaschutzes im Straßenverkehr gerecht zu werden. Eine umfangreiche Verkehrswende wird benötigt und kann nur gelingen, wenn der Fokus auch auf Vermeidung und Verlagerung gelegt wird. Das entspricht auch dem Bild der lebenswerten Stadt, mit einem attraktiven ÖPNV, mehr Radverkehr und kurzen Wegen zwischen Arbeiten, Wohnen und Versorgung. Aller Voraussicht nach wird dennoch ein erheblicher Teil der Verkehrsleistung auch künftig mit motorisierten Verkehrsmitteln erbracht werden.

Deshalb muss der Autoverkehr klimafreundlicher werden. Hierzu kann das Elektroauto einen wichtigen und, vor allem zunehmenden Beitrag leisten. Das gilt besonders für den Klimaschutz, wo das Elektroauto bereits heute deutliche Vorteile hat (je nach Lebensfahrleistung zwischen 30 und 40 Prozent Klimavorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen). Dieser Vorsprung wird weiter zunehmen, denn der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung wächst stetig. Heute neuzugelassene Fahrzeuge sind höchst wahrscheinlich 2030 noch auf der Straße, wenn nach Klimaschutzziel 65 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen soll. Gegenüber anderen potenziell klimafreundlichen Alternativen hat das Elektrofahrzeug zu dem einen deutlich Effizienzvorteil: Für die Nutzung von strombasiertem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen wird gegenüber Elektrofahrzeugen bei gleicher Strecke ein Vielfaches an erneuerbarem Strom und damit letztendlich Windrädern und Photovoltaikanlagen benötigt (AGORA Verkehrswende 2019; Liebich et al. 2020).

Quellen

- ADAC (2019): Ecotest – Test- und Bewertungskriterien (ab 2/2019). https://www.adac.de/_mmm/pdf/Methodik_EcoTest_2020_338652.pdf. (18.09.2020).
- ADAC (2020): Ecotest. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/ecotest/>. (10.09.2020).
- Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Durchgeführt von ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Berlin. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf (07.05.2019).

- AGORA Verkehrswende (2019): Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. Durchgeführt von ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Berlin. S. 56.
- Bäumer, M.; Hautzinger, H.; Pfeiffer, M.; Stock, W.; Lenz, B.; Kuhnimhof, T.; Köhler, K. (2017): Fahrleistungserhebung 2014 - Inländerfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen Verkehrstechnik. Heft V 290. IVT Research GmbH. Institut für Verkehrsforschung, DLR. Fachverlag NW, Bremen.
- Bundesregierung (2018): Koalitionsvertrag, 19. Legislaturperiode. Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/656734/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> (02.09.2020).
- Dai, Q.; Dunn, J.; Kelly, J. C.; Elgowainy, A. (2017): Update of Life Cycle Analysis of Lithium-ion Batteries in the GREET Model. Systems Assessment Group. Energy Systems Division. Argonne National Laboratory (ANL). https://greet.es.anl.gov/publication-Li_battery_update_2017 (19.11.2018).
- Dai, Q.; Kelly, J. C.; Dunn, J.; Benavides, P. T. (2018): Update of Bill-of-materials and Cathode Materials Production for Lithium-ion Batteries in the GREET Model. Argonne National Laboratory.
- Dai, Q.; Winjobi, O. (2019): Updates for Battery Recycling and Materials in GREET. Systems Assessment Center Energy Systems Division Argonne National Laboratory. https://greet.es.anl.gov/publication-battery_recycling_materials_2019 (18.05.2020).
- Doppelbauer, M. (2020): Grundlagen der Elektromobilität: Technik, Praxis, Energie und Umwelt. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Ellingsen, L. A.; Majeau-Bettez, G.; Singh, B.; Srivastava, A. K.; Valøen, L. O.; Strømman, A. H. (2014): Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. In: *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 18, No.1, S. 113–124.
- Fehrenbach, H.; Lauwigi, C.; Liebich, A.; Ludmann, S. (2016): Documentation for the UMBERTO based ifeu electricity model. Status: 06/2016. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg. <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Documentation-IFEU-Electricity-Model-2016-06.pdf> (18.09.2020).
- Helms, H.; Jöhrens, J.; Hanusch, J.; Höpfner, U.; Lambrecht, U.; Pehnt, M. (2011): Umbrella: Umweltbilanzen Elektromobilität - Grundlagenbericht. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg. <http://www.emobil-umwelt.de/> (12.05.2018).
- Helms, H.; Jöhrens, J.; Kämper, C.; Giegrich, J.; Liebich, A.; Vogt, R.; Lambrecht, U. (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. UBA Texte 27/2016. ifeu- Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-vertiefte-analyse-der> (12.05.2018).
- Helms, H.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Pehnt, M.; Liebich, A.; Weiß, U.; Kämper, C. (2013): Ökologische Begleitforschung zum Flottenversuch Elektromobilität - Endbericht. ifeu- Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg.
- Jöhrens, J.; Rucker, J.; Kräck, J.; Allekotte, M.; Helms, H.; Biemann, K.; Schillinger, M.; Waßmuth, V.; Paufler-Mann, D.; Frischmuth, F.; Gerhard, N. (2020): Roadmap OH-Lkw: Einführungsszenarien 2020-2030. Institut für Energie und Umweltforschung (ifeu). PTV Transport Consult. Fraunhofer IEE, Heidelberg.
- Knörr, W.; Heidt, C.; Gores, S.; Bergk, F. (2020): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2019 (Berichtsperiode 1990-2018). UBA Texte 116/2020. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Heidelberg.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_116-2020_tremod_2019_0.pdf (11.06.2020).

- Liebich, A.; Fröhlich, T.; Münter, D.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Dünnebeil, F.; Knörr, W.; Biemann, K.; Simon, S.; Maier, S.; Albrecht, F.; Pregger, T.; Schillings, C.; Moser, M.; Reißner, R.; Hosseiny, S.; Jungmeier, G.; Beermann, M.; Frieden, D.; Bird, N.; Stallmann, M. (2020): Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien. UBA TEXTE 68. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/systemvergleich-speicherbarer-energietraeger-aus> (10.09.2020).
- Matzer, C.; Weller, K.; Dippold, M.; Lipp, S.; Röck, M.; Rexeis, M.; Hausberger, S. (2019): Update of emission factors for HBEFA Version 4.1. Graz. S. 138.
- Statista Research Department (2014): Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/316498/umfrage/lebensdauer-von-autos-deutschland/>. (25.09.2020).
- UBA; AGEE-Stat (2020): Erneuerbare Energien in Zahlen. In: *Umweltbundesamt (UBA)*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>. (27.07.2020).
- Wernet, G.; Bauer, C.; Steubing, B.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E.; Weidema, B. (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol. 21, No.9, S. 1218–1230.