

# Akkumulator<sup>1</sup>-Blues

## 2. „Unterschätzung“ der Batterie-Laufzeit

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 CO<sub>2</sub>e-Vorteile bis zu 82% für das BEV gegenüber einem mit konventionellem Kraftstoff betriebenen Pkw berichtet. "Die Diskussion um die CO<sub>2</sub>-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 „Fehler Nr.2“ zur Diskussion, die „unterschätzte Batterie-Laufzeit“.**



Studie zu CO<sub>2</sub>-Bilanz

## Elektroautos sind deutlich besser für das Klima

- Die bisher angenommene Batterielaufzeit von 150.000 km ist deutlich unterschätzt und nicht mit Quellen und Forschung unterlegt. In der Praxis zeigen sich Laufzeiten der Batterie von über 500.000 km. In den eigenen Berechnungen hat die TU Eindhoven ein gemittelte Laufzeit von 250.000 km angenommen.

*Bild 1: Auszug aus der Webseite der Bundestagsfraktion „Bündnis90/Die Grünen“ (<https://www.gruene-bundestag.de/themen/mobilitaet/elektroautos-sind-deutlich-besser-fuer-das-klima>)*

<sup>1</sup> Mittlerweile ist es nicht nur im Schrifttum gängige Praxis, die Begriffe „Batterie“ und „Akkumulator“ synonym zu verwenden. Die korrekten Definitionen sind dem Autor bekannt.

**„Bei Studien aus den letzten beiden Jahren habe ich mich oft gefragt, was die Autoren geritten hat, dass das Elektroauto so schlecht weggekommen ist“, kritisierte der Grünen-Verkehrsexperte und Fraktionsvize O. Krischer. Dabei verwies er unter anderem auf eine Ifo-Studie aus dem vergangenen Jahr, der zufolge Elektroautos während der Produktion und Laufzeit im schlimmsten Falle 28 Prozent mehr CO2 ausstoßen als ein Dieselauto. "Da hatte man eher den Eindruck, dass da jemand auf der Mission ist, den Verbrenner zu retten.", (<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/elektroautos-119.html>)**

**In diesem Statement der der Bundestagsfraktion „Bündnis90/Die Grünen“ (Bild 1) ist de facto jeder Satz falsch.**

Außer der im April 2019 erschienen Ifo-Stude von Buchal, Karl und Sinn sind keine aktuellen Untersuchungen bekannt, die „die Batterielaufzeit deutlich unterschätzen“ und von lediglich 150000 km bis zum Ausfall ausgehen. Laufzeiten von Batterien in BEV über 500000 km sind zwar in Einzelfällen bekannt geworden, aber entgegen den Behauptungen der Grünen-Fraktion nicht im Serieneinsatz abgesichert. Im letzten Satz wird zudem suggeriert, dass die niederländischen Wissenschaftler aus vorliegenden Daten einen Mittelwert von 250000 km für die Batterielebensdauer berechnet hätten. **Eine derartige Datenbasis existiert aber gar nicht! Man hat also ganz im Gegenteil aus Daten konventioneller Antriebe (!) eine „Fahrzeug-Lebensdauer“ von 250000 km berechnet und diese Zahl dann parallel auch als „Batterie-Lebensdauer“ angenommen.**

Nachfolgend der entsprechende Auszug aus der Studie der TU Eindhoven:

„In vielen Studien (z.B. Buchal, Karl und Sinn, ADAC, ÖAMTC und Joanneum Research) wird vermutet, dass die Lebensdauer der Batterie nur 150 000 km betrifft. Buchal, Karl und Sinn stellen dies sogar einem Dieselauto, das 300 000 km hält, gegenüber. Wir haben jedoch keine Beispiele gesehen, wo dies auf tatsächlichen Forschungen beruhte. Empirische Daten zeigen, dass moderne Batterien **höchstwahrscheinlich** eine Laufzeit von mehr als 500 000 km haben werden. Neue Studien behaupten, dass mit der heutigen Technologie zwei Millionen km möglich sind. **Darüber hinausnimmt die Lebensdauer von Autos in Europa zu, und man kann davon ausgehen, dass ein durchschnittliches modernes Auto 250 000 km hält. Das ist die in diesem Bericht angenommene Batterielebensdauer.**“, (Hoekstra & Steinbuch, 2020).

**Hier betreiben die beiden Studienautoren und ihre Auftraggeber eine ganz dreiste Irreführung von Bürgerinnen und Bürger.**

In der Untersuchung des ADAC/Joanneum Research von 2019 bspw. wurde an keiner Stelle eine „Lebensdauer der Batterie von 150000 km“ angenommen, wie man unschwer aus Bild 2 ersehen kann. Eine sehr ähnliche Darstellung – über 200000 km - konnte man auch in der Klimabilanz von Volkswagen sehen, die ich bereits in meinem letzten Aufsatz in Bild 4 dargestellt habe, (Volkswagen, 2019). Auch die Meta-Studie der AGORA Verkehrswende zeigt eine Vielfalt von Klimabilanzen aus 11 Studien, denen u.a. Laufleistungen **zwischen 150000 und 250000 km** zugrunde liegen, (Meyer et al., 2019).

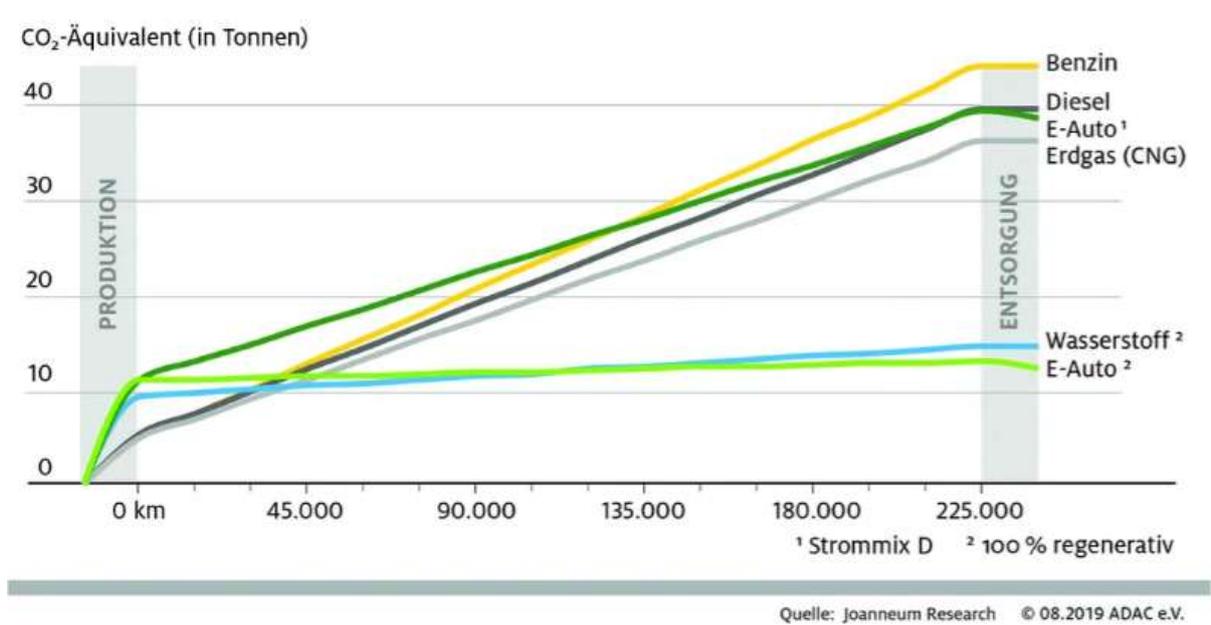


Bild 2: Cradle-to-Grave CO<sub>2</sub>e-Emission eines Kompaktfahrzeugs der „Golf-Klasse“

Lediglich die im April 2019 erschienene „Ifo-Studie“ von *Buchal, Karl und Sinn* (2019) spricht unmissverständlich von einer begrenzten Batterie-Lebensdauer: „Bei einer Haltbarkeit der Batterie von zehn Jahren und einer Fahrstrecke von 15 000 km pro Jahr impliziert diese Angabe, dass für die Produktion und das Recycling der Batterie pro Kilometer Fahrstrecke zwischen 73 Gramm und 98 Gramm an CO<sub>2</sub>-Ausstoß anzusetzen sind.“

Für das von *Buchal et al.* in ihrer Untersuchung gewählte BEV-Vergleichsfahrzeug Tesla 3 mit 75 kWh Batteriekapazität gewährt der Hersteller (Tesla, 2020) aber eine Garantie auf Batterie und Antriebsstrang von 8 Jahren oder 192000 km auf eine Restkapazität von mind. 70%. Zudem veröffentlichte Tesla auch den CO<sub>2</sub>-Beitrag für die Herstellung dieser Batterie in Höhe von 26 g/meile bzw. umgerechnet ca. 16 g/km, (Tesla, 2019). Warum *Buchal et al.* zwar ein konkretes BEV-Fahrzeugmodell wählten, dann aber die seitens des Herstellers veröffentlichten Realdaten völlig ignorierten, bleibt schleierhaft und wird merkwürdigerweise auch in ihren späteren Verteidigungen der heftig kritisierten Studienresultate nicht angesprochen, (Sinn, 2019).

Fahrzeug: Tesla Modell 3 mit 75 kWh Batterie	CO <sub>2</sub> e durch Batterie-Produktion [g/km]	CO <sub>2</sub> e durch Batterie-Produktion [t]	Annahme km-Leistung [km]
Hoekstra & Steinbuch (2020)	23	5,6	250000
Buchal, Karl & Sinn (2019)	73	10,9	150000
Hersteller Tesla <sup>1</sup> (Tesla, 2019)	16	5,3	328000
<sup>1</sup> Umrechnung nach den Originalangaben von Tesla: 26 g/meile, 17 Jahre, 12000 Meilen/Jahr			

Bild 3: Annahmen in den Studien von Hoekstra et al. (2020) und Buchal et al. (2019) im Vergleich zu Hersteller-Angaben (Tesla, 2019) für den Tesla 3 (75 kWh Batterie)

Die CO<sub>2</sub>e-Emission der Batterieherstellung bildet einen wesentlichen Stellhebel für das finale Ergebnis dieser sogenannten „Vergleichsstudien“ und ist bestens geeignet, das Bild über die Umweltfreundlichkeit von Antrieben in beide(!) Richtungen zu verzerren. Darüber muss sich der Verbraucherinnen und Verbraucher im Klaren sein, siehe exemplarisch Bild 3 und Bild 4.

Fahrzeug: Volkswagen e-Golf mit 36 kWh Batterie	CO <sub>2</sub> e durch Batterie-Produktion	CO <sub>2</sub> e durch Batterie-Produktion	Annahme km-Leistung
	[ g/km ]	[ t ]	[ km ]
Hoekstra & Steinbuch (2020)	11	2,7	250000
Hersteller Volkswagen (Volkswagen, 2019)	28	5,6	200000

*Bild 4: Annahmen in der Studie von Hoekstra et al. (2020) im Vergleich zu publizierten Hersteller-Angaben (Volkswagen, 2019), (Schüler et al., 2020) für den e-Golf (35,8 kWh Batterie)*

Die in den Bildern 3 und 4 dargestellten LCA-Laufleistungen sind jedoch nicht zu verwechseln mit den Garantieangaben der Hersteller, die insgesamt deutlich niedriger liegen als die in den diversen LCA-Studien (LCA = Life Cycle Assessment) getroffenen Annahmen. Im „Impact Report 2019“ von Tesla heißt es bspw.: „Regarding mileage and lifespan, **we estimate** that an average vehicle in the U.S. is driven slightly less than 12,000 miles per year for about 17 years before it is scrapped.“, (Tesla, 2019).

Über mehrere Alterungsmechanismen verringert sich die Kapazität einer Batterie mit der Zeit, wie aus der in Bild 5 dargestellten Übersicht hervorgeht.

kalendarische Alterung	zyklische Alterung
Temperatur	Temperatur
Ladezustand	Ladezustand
Zeit	Ladungsdurchsatz
	Strombelastung
	Entladetiefe (engl. depth of discharge, DoD)

*Bild 5: Einflussgrößen auf die Alterung von Batterien, (Paul, 2014)*

Batterie-Experten unterscheiden prinzipiell zwischen einer kalendarischen Alterung und einem zyklischen Alterungsprozess durch die Ladungs- und Entladungsvorgänge, (Hoffmann, 2015). **Die Lebensdauer einer Batterie hängt somit nur indirekt von der km-Leistung des jeweiligen Fahrzeugs ab.** Die häufig genannte Expertenschätzung von „1000 Ladezyklen (Vollzyklen)“ für die Lebensdauer eines Lithium-Ionen-Akku führt somit bspw. bei einer „kleinen“ Batterie mit 20 kWh Kapazität und damit einer Fahrzeugreichweite von etwa 100 km zu einer totalen Batterie-Laufzeit von etwa 100000 km, (Kleber et al., 2019). **Hinsichtlich der kalendarischen Alterung können aktuell keine verlässlichen Aussagen getroffen werden, die über die üblichen Hersteller-Garantiezusagen von 8 Jahren hinausgehen,** (Thielmann et al., 2020). Die Superposition von kalendarischer und zyklischer Alterung ist nicht trivial und eine andauernde Forschungsthematik, um Lebensdauerziele von 10 Jahren zu realisieren. Bild 6 zeigt hierzu beispielhaft die zunehmende Streubreite gleicher Batteriezellen im zyklischen Alterungsprozess unter gleichen Betriebsbedingungen.

## Gleiche Zellen unter gleichen Betriebsbedingungen altern unterschiedlich

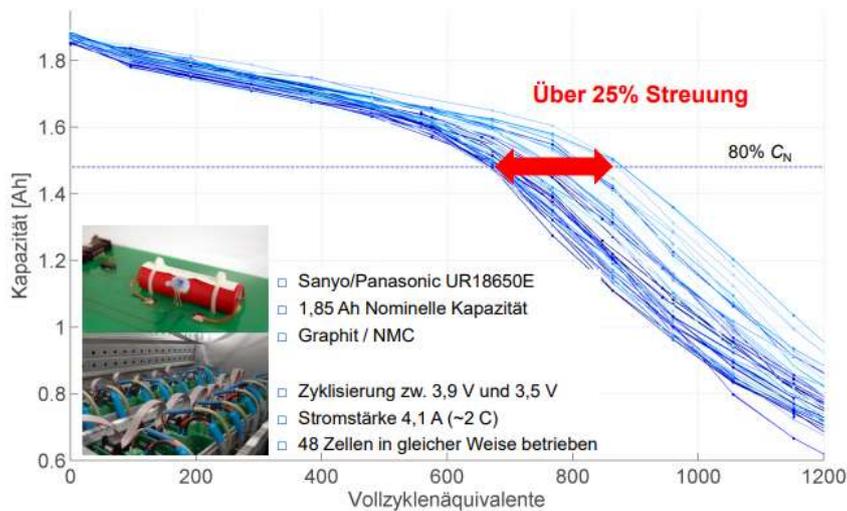


Bild 6: Alterung gleicher Batteriezellen unter gleichen Randbedingungen, (Kairies & Sauer, 2019)

Durch geschicktes Design und intelligente Steuerung kann die Lebensdauer von Batterien aber deutlich verlängert werden, (Kairies & Sauer, 2019), (Argue, 2020). Bild 7 illustriert exemplarisch am Beispiel des Batterie-Thermomanagements die Auswirkungen einer aufwendigen Batterie-Flüssigkeitskühlung (Modell Tesla S) und einer kostengünstigeren, passiven Luftkühlung (Modell Nissan Leaf) auf die Batteriealterung.

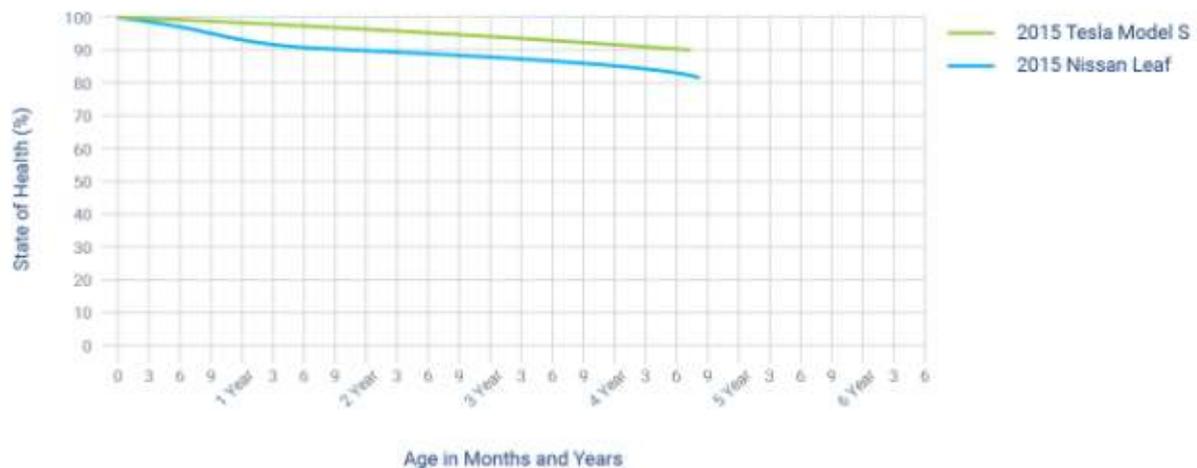


Bild 7: Alterungsvergleich zwischen aktiver Flüssigkeitskühlung (Tesla) und passiver Luftkühlung (Nissan), (Argue, 2020)

Nach Ende ihrer Verwendung im Fahrzeug, sobald die Kapazität auf etwa 70-80% ihres Wertes im Neuzustand abgesunken ist, kann die Batterie eines BEV durchaus noch über Jahre als stationärer Energiespeicher verwendet werden, wie Bild 8 erklärt.

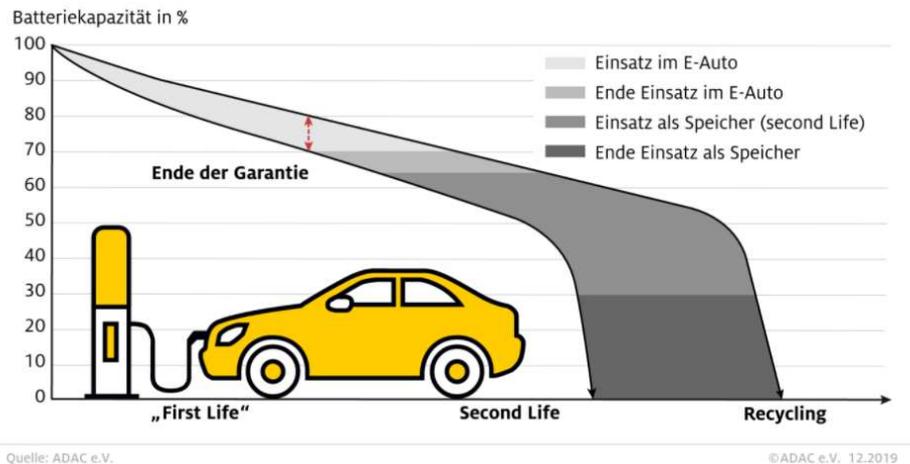


Bild 8: "Stationen" im Leben einer Batterie im BEV", (Rudschies, 2019)

Keine finale Aussage über die Lebensdauer einer Fahrzeugbatterie, aber immerhin einen ersten brauchbaren Anhaltswert liefern die diversen Garantieangaben der Hersteller. **Hinsichtlich der kalendarischen Alterung findet man mit ganz wenigen Ausnahmen Garantieverprechen über 8 Jahre für eine verbleibende Batteriekapazität von mind. 70% des Nominalwerts**, (Harloff, 2019). Die km-Laufleistungen, die parallel durch die Hersteller garantiert werden, bewegen sich zwischen 100000 km bei kleineren BEV ( z.B. smart, mini), meist 160000 km in der Kompakt- und Mittelklasse bis aktuell maximal 240000 km in der Oberklasse ( z.B. Tesla S, Tesla X). Es zählt der Garantiefall, der zuerst eintritt, (Harloff, 2019). Anfang dieses Jahres erschienen in verschiedenen Medien Sensationsmeldungen, wonach Toyota auf den Lexus UX300e eine Km-Garantie von 1 Million km gewährt. Experten sehen in dieser großzügigen Regelung auch aufgrund der geringen Stückzahl doch eher Marketingeffekte, (Rother, 2020). Gleichzeitig reduzierte die Firma Tesla Anfang 2020 ihre **ursprünglich unbegrenzte Kilometer-Garantie** für die Luxusmodelle X/S auf 240000 km (und mind. 70% Batteriekapazität), (Hahn, 2020).

„Empirische Daten zeigen, dass moderne Batterien **höchstwahrscheinlich eine Laufzeit von mehr als 500 000 km** haben werden“, behaupten *Hoekstra & Steinbuch* in ihrer Studie. **Die Bundestagsfraktion der Grünen machen diese dreiste Übertreibung gar zum „Fakt“**: „In der Praxis zeigen sich Laufleistungen der Batterie von über 500000 km“, heißt es in Bild 1. Nach einer plausiblen Datenbasis sucht der interessierte Leser dieser Studie indes vergebens. Unbestritten dürften die meisten Messdaten zur Batterie-Lebensdauer von der Fa. Tesla vorliegen und werden von den beiden Studienautoren mit Literaturhinweis auf den Internetblog des Co-Autors *Steinbuch* auch verwendet. Über zwei weitere, im Blog von *M. Steinbuch* benannte Internetquellen gelangt man zu der in Bild 9 gezeigten Darstellung.

Tesla Model S/X Mileage vs Remaining Battery Capacity

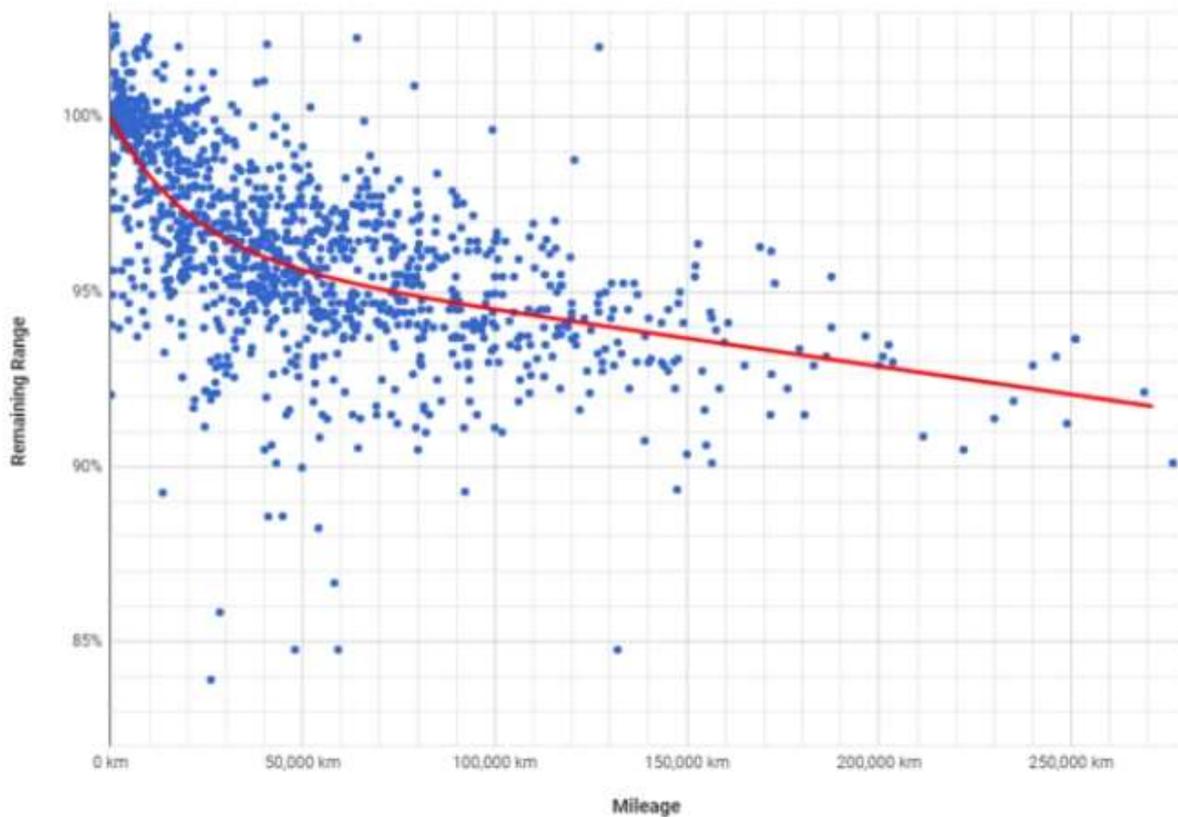
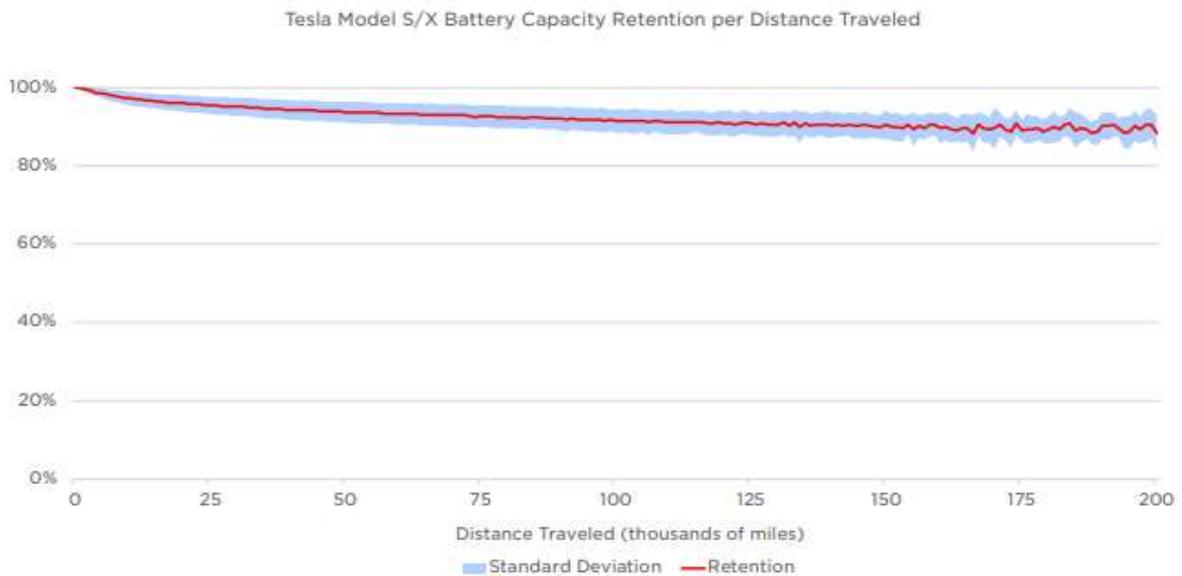


Bild 9: Verlust an Batteriekapazität nach Erfahrungen von Tesla-Besitzern (Modell S und Modell X), (Datenquellen: <https://teslike.com/> und <https://imgur.com/sGGkAfv>)

Doch selbst aus dieser hilfreichen Datensammlung gehen keine Laufleistungen von 500000 km (!) hervor. Im Gegenteil wird über 200000 km hinaus die Datenlage sogar sehr dünn. Unter der Randbedingung einer Fahrleistung von mehr als 250000 km h sind es aktuell (Stand Oktober 2020) ganze 3 (!) Fahrzeuge. Man zählt weiterhin innerhalb der ersten 100000 km genau so viele Fahrzeuge, die bereits weniger als 90% Batterie-Kapazität aufweisen, wie Fahrzeuge, die die 200000 km-Marke überschritten haben.

Tesla selbst zeigt in seinem aktuellen „Impact-Report“ (Tesla, 2019) eine statistische Auswertung über 200000 mls (etwa 320000 km) von mehr als einer Million Fahrzeuge der Luxus-Modelle S und X, die aus Bild 10 ersichtlich wird.



*Bild 10: Verlust an Batteriekapazität nach Erfahrungen von Tesla-Besitzern ( Modell S und Modell X), (Datenquellen: <https://teslike.com/> und <https://imgur.com/sGGkAfv>)*

Langzeittests mit BEV anderer Hersteller sind noch vergleichsweise selten. Der ADAC berichtete im vergangenen Jahr über die abnehmende Batteriekapazität eines seit 2012 in seiner Testflotte befindlichen Nissan Leaf der ersten Generation: „Beim abschließenden Test zeigte sich, dass die Reichweite von 119 km beim Neufahrzeug auf 90 km beim 100.184 km gefahrenen Leaf gesunken ist. Das entspricht einem Rückgang um 24,5 Prozent.“, (ADAC, 2019). Über einen BMW I3 befanden die ADAC Tester: „Von den ursprünglichen 100 Prozent Kapazität waren nach fünf Jahren und 100.000 Kilometern noch 86 Prozent Energiekapazität übrig. Das heißt, dass auch von der ohnehin schon geringen Reichweite von etwa 100 Kilometern am Ende des Dauertests nur noch 86 Kilometer potenzielle Reichweite übrig waren. Vom Garantiefall ist das aber noch weit weg.“, (Rudschies, 2020). Erfahrungen über längere Strecken gibt es weiterhin beim ADAC mit einem Opel Ampera aus dem Jahr 2011: „Insgesamt hat der Ampera nach gut acht Jahren und 200.000 Kilometern Betrieb rund 12 Prozent an Batteriekapazität verloren, was im erwartbaren Bereich und noch weit über der Garantiegrenze von 70 Prozent noch nutzbarer Batteriekapazität liegt.“, (Rudschies, 2020).

Geotab, ein auf Flottenmanagement spezialisiertes Unternehmen, führt eine Datenbank von etwa 6300 BEV mit 24 Fahrzeugmarken und -modelle. Die Abnahme der Batteriekapazität im Laufe der Zeit kann über ein Tool in Abhängigkeit vom Modelljahr abgefragt werden, Bild 11.

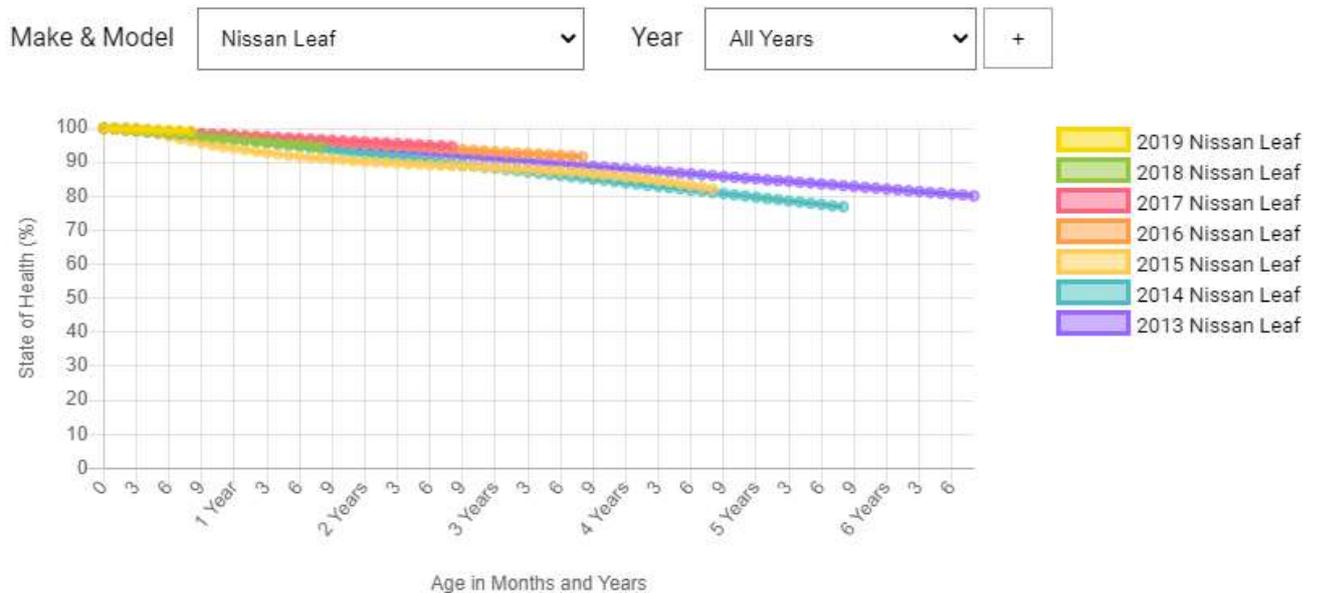


Bild 11: Verlust an Batteriekapazität am Beispiel des Nissan Leaf für die Modelljahre 2013 - 2019 ( <https://www.geotab.com/fleet-management-solutions/ev-battery-degradation-tool/> )

Für alle bisher erfassten BEV Fahrzeuge gibt Geotab eine durchschnittliche Verschlechterung der Batteriekapazität von 2,3 % pro Jahr an. Für die im Rahmen der Studie der TU Eindhoven und der vorliegenden Abhandlung interessierenden BEV Modelle Tesla 3 und VW eGolf liegen allerdings erst Daten ab 2017 bzw. 2018 vor, was für diese Fahrzeuge auch nicht anders zu erwarten war.

„Zum Glück für die Fahrer haben zu wenige Batterien, die wir beobachtet haben, das Ende der Lebensdauer erreicht, als dass wir vorhersagen könnten, zu welchem Zeitpunkt dies wahrscheinlich ist.“ „Wenn die beobachteten Verschlechterungsraten beibehalten werden, überdauert die überwiegende Mehrheit der Batterien die Nutzungsdauer des Fahrzeugs“, schätzt C. Argue von Geotab die aktuelle Situation ein, (Argue, 2020).

#### Zusammenfassung:

Werden die CO<sub>2</sub> äquivalenten Emissionen aus der Batterie-Herstellung in der fragwürdigen Dimension [g CO<sub>2</sub>e/km] dargestellt wie in den Studien von Buchal et al. (2019) bzw. Hoekstra et al. (2020), müssen Annahmen für Fahrleistungen getroffen werden, die im Augenblick ausschließlich auf einer Extrapolation basieren. Entgegen der Darstellung der Bundestagsfraktion „Die Grünen/Bündnis 90“ handelt es sich also bestenfalls um Hochrechnungen, deren Genauigkeit erst in einigen Jahren bestätigt werden dürfte. Zu optimistische Erwartungen bei der Batterielaufzeit in Kombination mit einer unterschätzten absoluten CO<sub>2</sub>-Emission bei der Batterie-Herstellung, wie bereits ausführlich in meinem ersten Aufsatz dargestellt, marginalisieren somit den Beitrag der Batterie an den totalen Treibhausgas-Emissionen eines BEV.

In meinem nächsten Aufsatz, der in Kürze erscheint, geht es um den „Fehler Nr. 3“, der nach Ansicht der beiden niederländischen Studienautoren in allen anderen Studien begangen wird: „Die Vermutung, dass die Elektrizität während der Lebensdauer eines Autos nicht sauberer wird“.

(wird fortgesetzt)

## Literaturverzeichnis

ADAC (2019). Der Nissan Leaf der ersten Generation im ADAC Dauertest. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/nissan/nissan-leaf-dauertest/>

Argue, C. (2020). Was können 6.000 Elektrofahrzeuge über den Zustand der EV-Batterie sagen? GEOTAB. Abgerufen am 31. Oktober 2020, von <https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/>

Buchal, C., Karl, H.-D., Sinn, H.-W. (2019). Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub>-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>

Doppelbauer, M. (2019). Strategiepapier elektrische Pkws – aktueller Stand und zukünftige Entwicklung (V1.5). Abgerufen am 8. Oktober 2020, von <https://www.eti.kit.edu/img/content/Strategiepapier%20Elektroautos%20Stand%202019-10%20V1.5.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>

Emilson J., & Dahllöf, L. (2019). Lithium-Ion Vehicle Battery Production, Status 2019 on Energy Use, CO<sub>2</sub> Emissions, Abgerufen am 04. Oktober 2020, von <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>

Hahn, V. (2020). Tesla begrenzt Akkugarantie nach Kilometern. Abgerufen am 20. Oktober 2020, von <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/tesla-begrenzt-akkugarantie-nach-kilometern-a-902736/>

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](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/vor_ort/bv/bv-berlin-brandenburg/dateien_dokumente/191118_Nachgerechnet-eMo_WiWo_ohne-Anzeigen.pdf)

Harloff, T. (2019). Diese Zusagen machen Hersteller bei E-Auto-Akkus. Abgerufen von <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/diese-garantien-gewaehren-hersteller-bei-e-auto-akkus/#:~:text=Die%20Daten%20zeigen%2C%20dass%20sich,urspr%C3%BCnglichen%20Akkukapazit%C3%A4t%20zur%20Verf%C3%BCgung%20stehen.>

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](https://www.gruenebundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/mobilitaet/pdf/200831-Studie_EAuto_versus_Verbrenner_CO2.pdf)

Hoffmann, D. (2015). ALTER REDUZIERT REICHWEITE: WIE LANGE LEBT DIE BATTERIE IM ELEKTROFAHRZEUG?

SGS White Paper. Fachbeitrag Elektronik Automotive. Abgerufen von [https://www.sgsgroup.de/~media/Local/Germany/Documents/White%20Papers/SGS\\_Batterie\\_Lebensdauer\\_im\\_Elektrofahrzeug\\_DE\\_1015.ashx?force=1#:~:text=Demnach%20soll%20der%20Akku%20des,Viertel%20auf%20105%20Kilometer%20gesunken.](https://www.sgsgroup.de/~media/Local/Germany/Documents/White%20Papers/SGS_Batterie_Lebensdauer_im_Elektrofahrzeug_DE_1015.ashx?force=1#:~:text=Demnach%20soll%20der%20Akku%20des,Viertel%20auf%20105%20Kilometer%20gesunken.)

IVL (2019). New report on climate impact of electric car batteries. Abgerufen am 6. Oktober 2020, von <https://www.ivl.se/english/startpage/top-menu/pressroom/press-releases/press-releases---arkiv/2019-12-04-new-report-on-climate-impact-of-electric-car-batteries.html>

Kairies, K.-P., & Sauer, D. (2019). Alterungsmechanismen von Lithium-Ionen Batterien. RWTH Aachen, Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik. Abgerufen von [https://ei.uni-paderborn.de/fileadmin/elektrotechnik/fg/nek/Kairies/2019\\_Kairies\\_Batteriealterung\\_TU\\_Paderborn.pdf](https://ei.uni-paderborn.de/fileadmin/elektrotechnik/fg/nek/Kairies/2019_Kairies_Batteriealterung_TU_Paderborn.pdf)

Kim, H.C., Wallington, T.J.; Arsenault R.; Bae, C.; Ahn, S.; Lee, J. (2016). Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis. Environmental Science & Technology. Abgerufen am 7. Oktober 2020, von DOI: 10.1021/acs.est.6b00830,

Kleber, N., Schneider, L., Janczura, L. (2019). 10 Fakten über Elektroautos. Abgerufen von <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/10-fakten-ueber-elektroautos>

Meyer, K., Biemann, K., Lambrecht, U., Jöhrens, J., Helms H., Kämper, C. (2019). Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. AGORA Verkehrswende. Abgerufen am 05. Oktober 2020, von [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz\\_von\\_Elektroautos/Agora-Verkehrswende\\_22\\_Klimabilanz-von-Elektroautos\\_WEB.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf)

Paul, B., (2014). Analyse der Ausfallwahrscheinlichkeiten von Lithium-Ionen-Energiespeichern in elektrifizierten Fahrzeugen (Dissertation, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik). Universität Ulm.

Polestar (2020). <https://www.polestar.com/de/electric-sustainability/transparency/>

Romare, M. & Dahllöf, E. (2019). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. IVL Swedish Environmental Research Institute. Abgerufen am 06. Oktober 2020, von <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>

Rother, F. (2020). Lexus mit Batterie-Garantie über eine Million Kilometer. Abgerufen von <https://edison.media/verkehr/lexus-mit-batterie-garantie-fuer-eine-million-kilometer/25205502/>

Rudschies, W. (2019). Elektroauto-Akkus: So funktioniert das Recycling. ADAC. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-akku-recycling/>

Rudschies, W. (2020). BMW i3: Zuverlässig über 100.000 Kilometer. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/bmw/bmw-i3-rex-dauertest/>

Rudschies, W. (2020). Opel Ampera Dauertest: 200.000 km elektrisch mit Range Extender. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/opel/opel-ampera-dauertest/>

Schaal, S. (2020). Tesla ändert Garantiebedingungen für Batterie. Abgerufen am 15. Oktober 2020, von <https://www.electrive.net/2020/02/03/tesla-aendert-garantiebedingungen-fuer-batterie/>

Schüler, M., Gernuks, M., Bäuml, G. (2020). Carbon Footprint of different Powertrains. Volkswagen. 11th Int. AVL Exhaust Gas and Particulate Emissions Forum, Ludwigsburg, 2020

Schwarzer, C. (2014). So sauber ist das Elektroauto. In Zeit Online, 16. Januar 2014. Abgerufen von <https://www.zeit.de/mobilitaet/2014-01/elektroauto-energiebilanz/komplettansicht>

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>

Tesla (2019). Impact Report 2019. Abgerufen am 8. Oktober 2020, von [https://www.tesla.com/ns\\_videos/2019-tesla-impact-report.pdf](https://www.tesla.com/ns_videos/2019-tesla-impact-report.pdf)

Tesla (2020). Support. Abgerufen am 15. Oktober 2020, von [https://www.tesla.com/de\\_DE/support/vehicle-warranty](https://www.tesla.com/de_DE/support/vehicle-warranty)

Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S., Grimm, A., Hettesheimer, T., Langkau, S., Loibl, A., Moll, C., Neef, C., Pötz, P., Sievers, L., Espinoza, L., Edler, J. (2020). Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI, Karlsruhe, 2020. Abgerufen von <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf>

Vollmer, P., (2019). Elektroauto-Akkus: So entstand der Mythos von 17 Tonnen CO2. Abgerufen am 07. Oktober 2020, von <https://edison.media/erklaren/elektroauto-akkus-so-entstand-der-mythos-von-17-tonnen-co2/23828936.html>

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](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](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>

Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag (2020). Batterieproduktion in China- Einzelaspekte der Ökobilanzierung. Abgerufen von <https://www.bundestag.de/resource/blob/710958/88d53d0482edb1731594729850ee49e7/W-D-8-165-19-pdf-data.pdf>