

„Ich dachte, das sind viel weniger Teile, die ein BEV braucht?“
„Warum hat das BEV höhere Aufwendungen für das Basisfahrzeug (ohne Batterie!) als der Verbrenner?“

Liebe Leserinnen und Leser,

es herrscht wohl ein allgemeiner Konsens, dass ein batterieelektrisches Fahrzeug erheblich weniger Teile im Antriebsstrang benötigt als ein Pkw mit konventionellem Verbrennungsmotor. Es entfallen viele komplexe und schwere Bauteile wie bspw. Kupplung, Getriebe, Abgasanlage u.v.m. Da liegt verständlicherweise auch der Gedanke nahe, dass sich die Herstellung eines BEV – **von der Batterie des BEV einmal abgesehen** – deutlich weniger energieintensiv und damit mit geringeren CO₂-Emissionen gestaltet als die Produktion eines konventionellen Pkw.

Diese Meinung bestärkt seitens vieler Medien bspw. auch *P. Schwierz (2019)*, Chefredakteur von *electrive.net*, der die bekannte Studie des Ifo-Instituts von *Prof. H.-W. Sinn* und seiner Co-Autoren *Buchal* und *Karl* (Buchal et al., 2019) „als unwissenschaftliche Meinungsmache entlarvte“ u.a mit der Begründung: „Sinn et al. addieren den Energieaufwand für die Produktion der Batterie einfach auf den Verbrauch laut Strommix, rechnen die eingesparten Bauteile aus dem Diesel (Verbrennungskraftmaschine, Getriebe, Auspuffanlage, Abgasreinigung) aber nicht gegen. Werden diese nicht auch unter Strom Einsatz in Fabriken hergestellt? Unseriös!“.

Ende letzten Jahres erschienen nun aber OEM-Veröffentlichungen insbesondere von Volkswagen und Volvo/Geely, die hinsichtlich Energieaufwand in der Herstellungsphase des BEV genau das Gegenteil aufzeigten. Insofern waren Kommentare in Internetforen, wie ich sie exemplarisch in der Überschrift meines heutigen Aufsatzes angeführt habe, durchaus nachvollziehbar. Bild 1 illustriert zu diesem Thema die Resultate einer Life-Cycle-Analyse von Volvo/Geely, die das BEV Polestar 2 (MY2020) einem konventionellen Referenzfahrzeug, dem XC40 ICE, gegenüberstellt, (Bolin, 2020).

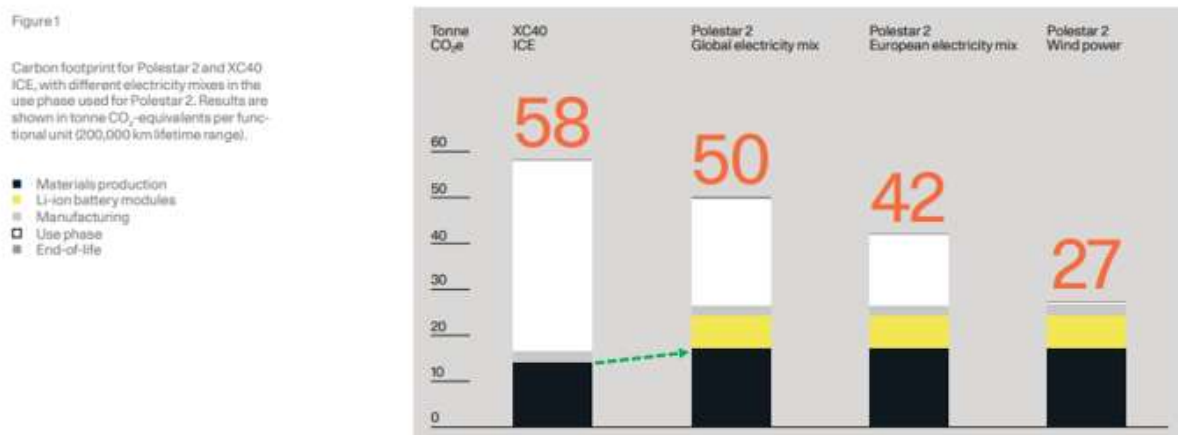


Bild 1: Vergleich der GHG - Emissionen des BEV Polestar2 und des ICE XC40 von Volvo/Geely (Bolin, 2020)

Unabhängig vom Gesamtergebnis dieser LCA, das eigentlich ja keine Neuigkeiten birgt, fiel aufmerksamen Betrachtern dieser Grafik jedoch auf, dass die CO₂e-Emission aus der Materialproduktion (schwarze Balkenanteile) beim Polestar2 sichtbar höher ausfallen (grüner Pfeil) als beim Referenzfahrzeug. Bild 2 zeigt diesen Sachverhalt nochmals in Zahlen. Insgesamt verursacht die Produktion eines Polestar2 also 10,1 Tonnen CO₂e mehr als die des Diesel-Pkw XC40, **wovon aber nur 7 Tonnen CO₂e nach vorliegender LCA auf die Fertigung der Batteriemodule zurückzuführen sind.** Die Produktion des BEV ohne Batteriemodule verursacht aktuell 3,1 Tonnen mehr CO₂e im Vergleich zum XC40. Zu beachten ist, dass die Bilanz in Bild 2 aber nur die CO₂e-Emissionen für die Produktion der Batteriemodule ausweist. Weitere CO₂e-Emissionen, die den „Battery pack“ betreffen, sind unter „Materials Production“ inkludiert, (Bolin, 2020, Seite 5). **Die Gleichung „Weniger Teile beim BEV = Weniger CO₂e beim BEV“ geht also nicht auf, zumindest nicht beim Polestar 2.**

Table 6

Carbon footprint for Polestar 2 and XC40 ICE, with different electricity mixes used in the use phase for Polestar 2. Results are shown in tonne CO₂e-equivalents per functional unit.

	Materials production	Li-ion battery modules	Manufacturing
XC40 ICE	14	0	2.1
Polestar 2 - global electricity mix	17	7	2.2
Polestar 2 - european (EU28) electricity mix	17	7	2.2
Polestar 2 - wind power	17	7	2.2

Bild 2: Vergleich der GHG - Emissionen aus Materialproduktion, Batterie-Herstellung und Fertigung des BEV Polestar2 und des ICE XC40 von Volvo/Geely (Bolin, 2020, Seite 20)

Als Ursache für die Mehremission führt Volvo/Geely den höheren Aluminiumanteil und das Mehr an Elektrik/Elektronik beim BEV an, (Bolin, 2020).

Fast zeitgleich veröffentlichte die Volkswagen AG Ende letzten Jahres eine LCA für den neuen **ID.3**, der dem benzin- bzw. dieselbetriebenen Golf 8 gegenübergestellt wird, Bild 3 (Gernuks, 2020). In dieser Darstellung wird hinsichtlich der Herstellung in Summe eine **Mehremission des BEV von insgesamt 6,6 Tonnen CO₂e** gegenüber dem Diesel (6,9 Tonnen zum Benzin) ausgewiesen.

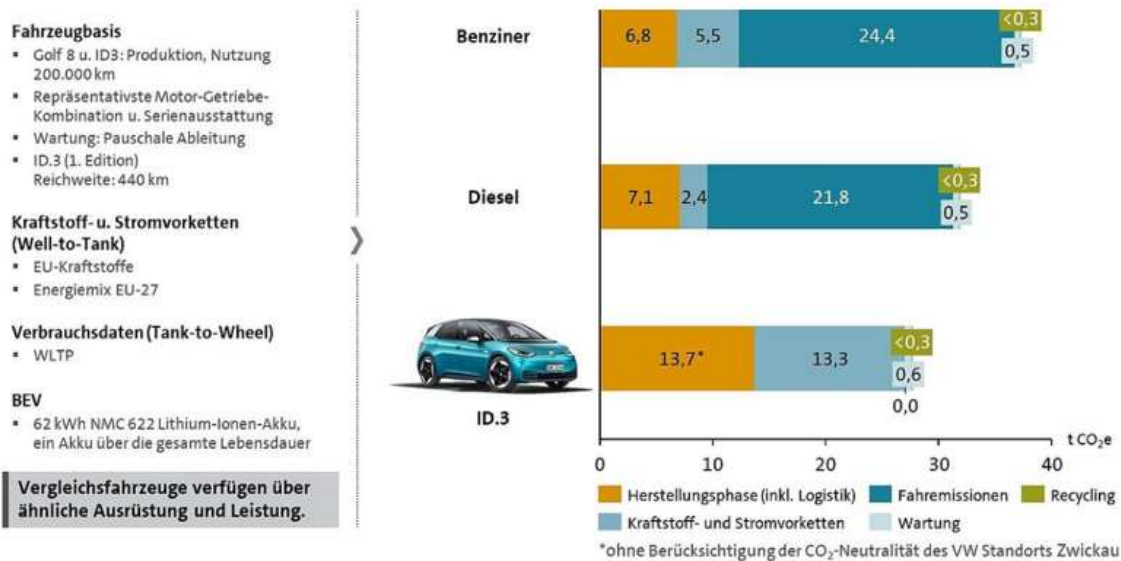


Bild 3: Vergleich der GHG – Emissionen über 200000 km für VW ID.3 und Referenzfahrzeug Golf 8, (Gernuks, 2020)

Die Herstellung der Batterie inkl. Gehäuse kann nach weiteren, hier nicht dargestellten Informationen von Volkswagen (Gernuks, 2020) mit insgesamt 4,7 Tonnen CO₂e (davon 0,9 Tonnen für das Batteriegehäuse) angesetzt werden. **Somit erweist sich, dass der Polestar 2 kein Einzelfall darstellt und auch beim VW ID.3 allein die Produktion dieses Fahrzeugs - ohne Berücksichtigung des sogenannten „CO₂-Rucksacks der Batterie“ – eine CO₂e Mehremission von 1,9 Tonnen gegenüber dem Golf 8 Diesel und 2,2 Tonnen gegenüber dem Golf 8 Benzin verursacht.** Eine detailliertere Ursachenanalyse wird in der genannten Quelle abweichend zur LCA des Polestar 2 nicht vorgenommen.

Welche Daten zu diesem Thema liegen aus früheren Untersuchungen vor?

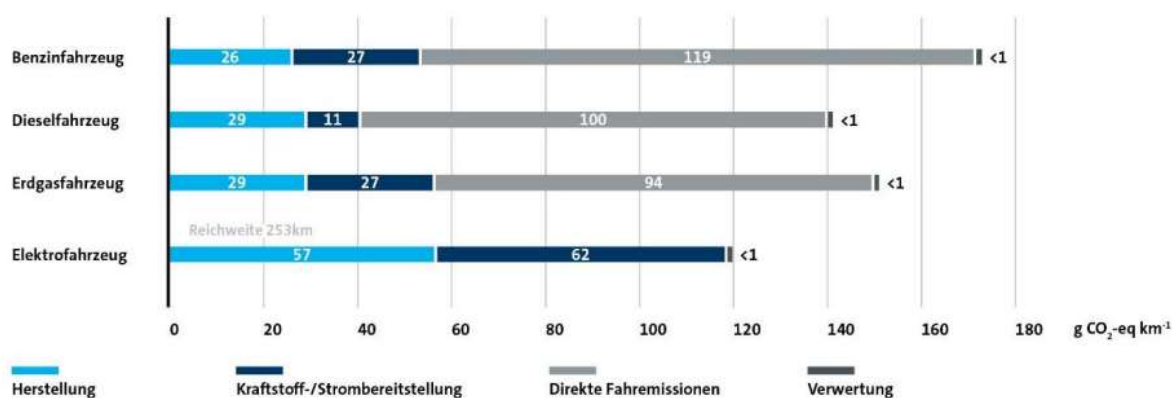
Exemplarisch zeigt hierzu Bild 4 einen Auszug aus einem im April 2019 erschienenen LCA von Volkswagen (Volkswagen, 2019), zu diesem Zeitpunkt noch erstellt für den e-Golf und das jeweilige Pendant der Golfklasse mit Benzin, Diesel und auch Erdgasantrieb. **Für die Produktion des e-Golf wurden damals die Bildung von 57 g/km CO₂e genannt, für den Golf 7 Diesel 29 g/km.**

Die 2019 erschienene Studie „Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial“ der Agora Verkehrswende, die primär vom Institut für Energie- und Umwelttechnik IFEU in Heidelberg erarbeitet wurde, geht von einer **deutlich kleineren Differenz an CO₂e** aus zwischen der Herstellung eines BEV und bspw. der eines Diesel-Pkw, genauer gesagt **etwa 0,3 bis 0,4 Tonnen**, wie Bild 5 illustriert, (Meyer et al., 2019).

Da viele LCA und vergleichende Studien ihre Resultate für die GHG-Belastung entweder in absoluten oder in spezifischen Einheiten ausweisen, wurden aus diesem Grund **in Bild 6 die jeweiligen Ergebnisse einheitlich in Tonnen CO₂e umgerechnet.**

Klimabilanz verschiedener Antriebe – heute

Basis Golf, aktuelle Technologien



Treibhauspotenzial (GWP) in g CO₂-eq pro km über den Lebensweg (200.000 km) eines Kompaktklassefahrzeugs für das Jahr 2017 mit unterschiedlichen Antriebskonzepten. Basis für die Berechnung der Nutzungsphase ist der WLTP-Fahrzyklus.

Stand: 24. April 2019

Bild 4: Vergleich der GHG – Emissionen über 200000 km für VW e-Golf und Referenzfahrzeug Golf 7, (Volkswagen, 2019)

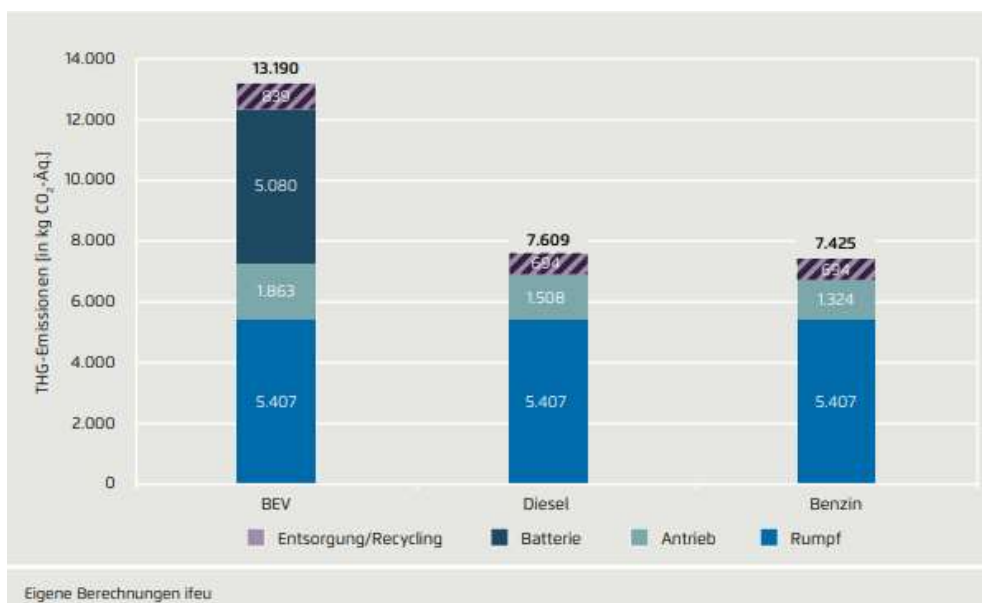


Bild 5: Vergleich der bei der Herstellung (und Entsorgung) emittierten GHG für BEV, Diesel und Benzin der Kompaktklasse (Meyer et al., 2019)

Eine aktuelle Studie der TU Eindhoven/NL vergleicht 3 ähnliche Kombinationen von konventionellen Fahrzeugen und BEV hinsichtlich ihrer CO₂e-Emissionen bei der Herstellung des Fahrzeugs, der Batterie-Fertigung und schließlich im Fahrbetrieb, Bild 6 (Hoekstra et al., 2020). Diese Ergebnisse sind insofern von Interesse, das ganz im Gegenteil zu allen im vorliegenden Aufsatz dargestellten Resultaten die Autoren *Hoekstra & Steinbuch* von einer **Minderemission (!) des BEV auch bei der Herstellung** ausgehen. Diese beträgt **bei allen**

Paarungen etwa 1 Tonne CO₂e, Bild 6. Quellenangaben oder Begründungen wurden in dieser Studie nicht genannt.

Quellen siehe Literaturverzeichnis	Fahrzeug	Herstellung Fahrzeug	
		ohne Batterie t CO ₂ e	inkl. Batterie t CO ₂ e
(Hoekstra et al., 2020)	Toyota Prius 1,8i 2020	7,0	
(Hoekstra et al., 2020)	e-Golf	6,0	8,75
(Hoekstra et al., 2020)	C220d	8,0	
(Hoekstra et al., 2020)	Tesla, Modell 3	7,0	12,75
(Hoekstra et al., 2020)	Bugatti Veyron	10,0	
(Hoekstra et al., 2020)	Porsche Taycan S	9,0	16
(Volkswagen, 2019)	e-Golf	7,5	11,4
(Volkswagen, 2019)	Golf 7 Diesel	5,8	
(Volkswagen, 2019)	Golf 7 Erdgas	5,8	
(Volkswagen, 2019)	Golf 7 Benzin	5,2	
(Gernuks, 2020)	ID.3	9	13,7
(Gernuks, 2020)	Golf 8 Diesel	7,1	
(Gernuks, 2020)	Golf 8 Benzin	6,8	
(Bolin, 2020)	Polestar 2	19,2	26,2
(Bolin, 2020)	XC40	16,1	
(Meyer et al., 2019)	BEV Kompaktklasse	7,3	12,4
(Meyer et al., 2019)	Diesel Kompaktklasse	6,9	
(Meyer et al., 2019)	Benzin Kompaktklasse	6,7	
(Tesla, 2019)	Tesla, Modell 3	5,9	11,2
<i>Quellen-Angaben in [g/km] oder [g/mi] wurden in [t] umgerechnet.</i>			

Bild 6: Vergleich der GHG – Emissionen verschiedener Antriebskonzepte in der Herstellungsphase (eigene Darstellung nach verschiedenen Quellen)

Aus Bild 6 lässt sich als Fazit ableiten:

Die Produktion eines BEV erzeugt aktuell (noch) mehr CO₂e-Emissionen im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug. Beim Polestar 2 z.B. bedeutet dies ca. **10 Tonnen CO₂e mehr im Vergleich zum XC40 Diesel**, (Bolin, 2020).

Der überwiegende Teil ist auf die Herstellung der Batterie des BEV zurückzuführen. Beim Volkswagen ID.3 bspw. verbleiben aber **auch nach Abzug der Batterie** mit 4,7 Tonnen CO₂e noch weitere **2,2 Tonnen CO₂e Mehremission** im Vergleich zur Produktion eines Golf 8 Benziner, (Gernuks, 2020).

Volvo/Geely begründen diese zusätzlichen Emissionen für den Polestar 2 mit einem **höheren Bedarf an Aluminium und Elektronik-Komponenten**, (Bolin, 2020). Auch die Studie von Agora/lfeu nennt als Ursache einen höheren Einsatz von Aluminium beim BEV sowie weiterhin die zusätzlichen BEV-spezifischen Elektronikkomponenten, (Meyer et al., 2019, Seite 37).

Alle LCA der OEM und bekannte BEV/ICE Vergleichstudien zeigen, dass die Herstellungsphase des BEV auch ohne Berücksichtigung der Batterie gegenwärtig höhere CO₂e-Emissionen verursacht als die Produktion des konventionellen Referenzfahrzeugs. **Eine somit eher fragwürdige Ausnahme** bildet die Studie der TU Eindhoven von A. Hoekstra et al. aus dem letzten Jahr im Auftrag der Bundestagsfraktion der Grünen, (Hoekstra et al., 2020).

Interessant auch am Rande, dass bei Volkswagen die Produktion eines ID.3 - auch nach Abzug der CO₂e-Belastung durch die Batterie-Fertigung – **gegenwärtig 1,5 Tonnen mehr (!)**

CO₂e verursacht im Vergleich zum Vorgänger e-Golf. Aber auch bei der Herstellung des Golf 7 Diesel wurden noch 1,3 Tonnen CO₂e weniger emittiert als bei der aktuellen Produktion des Golf 8 Diesel. Beim Benziner sogar 1,8 Tonnen, Bild 6.

Die Batterie des ID.3 verfügt fast über die doppelte Kapazität des e-Golf (62 kWh vs. 36 kWh) und erlaubt somit erheblich mehr Reichweite. **Die CO₂e-Belastung für die Umwelt hat sich aber kaum geändert: 3,8 t beim ID.3 vs. 3,9 t beim e-Golf.**

Deutliche Verbesserungen bei der Herstellung der Batterie

Die von den OEM publizierten LCA Daten zeigen deutlich, dass es bei der Herstellung der BEV Batterie in den letzten Jahren deutliche Fortschritte gibt, was die spezifischen CO₂e-Emissionen anbelangt. Bild 7 zeigt exemplarisch die Verringerung der bei der Batterie-Fertigung entstehenden THG von **110 kg/kWh (beim e-Golf) auf 62 kg/kWh (beim ID.3).**

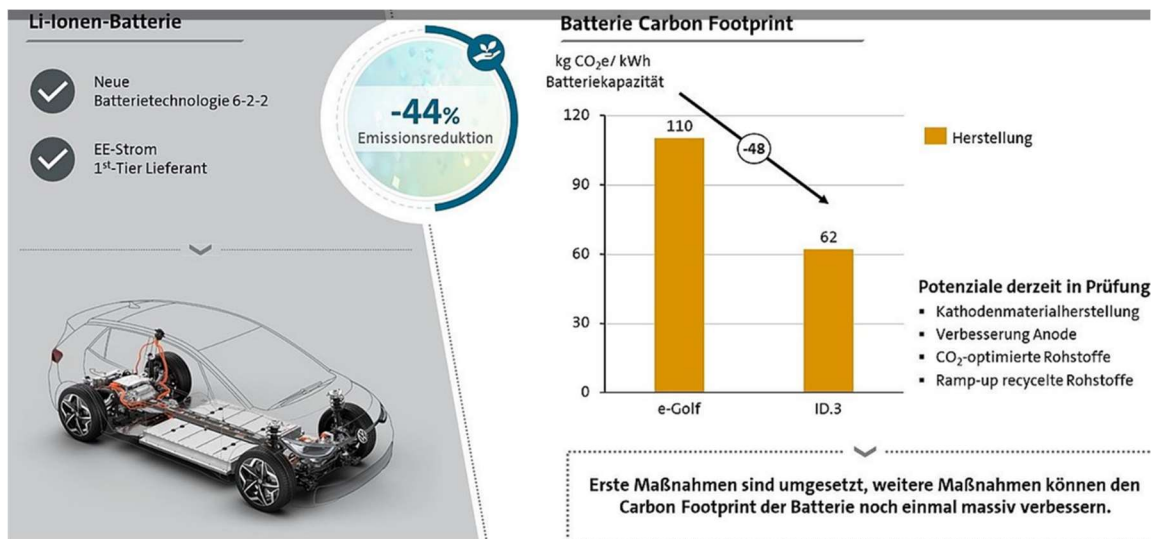


Bild 7: Vergleich der spezifischen GHG – Emissionen der Batterie-Herstellung für den ID.3 und den Vorgänger e-Golf, (Gurneks, 2020)

Beim Polestar 2 errechnet sich aus den schon oben genannten 7 Tonnen CO₂e für die Fertigung der Batteriemodule ein vergleichbarer Wert von **90 kg je kWh Batteriekapazität**. Beide Werte geben nur die GHG-Emission für die Fertigung der Batterie-Module wieder! Für den ID.3 erhöht sich bei Berücksichtigung der durch die Fertigung des Batteriegehäuses entstandene CO₂e-Emission der zuvor genannte Wert von 62 auf 76 kg/kWh.

Zum Schluß muss ich aufgrund dieser neuen Veröffentlichungen der OEM einige Zahlenangaben aus einer meiner früheren Abhandlungen vom Oktober 2020 zum Thema e-Mobilität korrigieren (Gärtner, 2020). Damals hatte ich die spezifische GHG-Emission für die Batterie des e-Golf mit 156 kg/kWh abgeschätzt und jene für den Polestar 2 mit 128 kg/kWh. Hintergrund war, dass ich durch einen Denkfehler (nicht nur bei mir!) die damals von Volvo/Geely publizierten 10 Tonnen CO₂e komplett der Batterie-Herstellung zugeschrieben habe, ebenso wie den von Volkswagen genannten Unterschied von 5,6 Tonnen zwischen dem e-Golf und dem Golf 7 Diesel. Das detaillierte LCA für den Polestar 2 (Bolin, 2020) lag zum Zeitpunkt meiner Veröffentlichung noch nicht vor und auch der Wert von 110 kg/kWh beim e-Golf (Gurneks, 2020) wurde erst Mitte Dezember 2020 von Volkswagen publiziert. Meine

abgeschätzten Zahlen waren plausibel und im Einklang mit seriösen Literaturangaben, wie bspw. von Fraunhofer ISI und Ifeu. Die aufgrund der neuen Erkenntnisse aktualisierte Tabelle aus meiner früheren Analyse (Gärtner, 2020) zeigt Bild 8. Einige Literaturstellen dieser Tabelle wurden nicht erneut in das Literaturverzeichnis des vorliegenden Aufsatzes aufgenommen; bei Interesse hier bitte unter (Gärtner, 2020) nachschlagen.

Hersteller/Forschungsstelle/Hochschule	Fahrzeug	spez. CO ₂ -Emission [kg/kWh]	Literaturverzeichnis
Volkswagen, 2020	e-Golf	110	Gernuks et al. (2020)
Volkswagen, 2020	ID.3	62	Gernuks et al. (2020)
Volvo/Geely, 2020	Polestar 2	90	Bolin (2020)
Ford Motor Company, 2016	Ford Focus BEV	141	Kim et al. (2016)
Tesla, 2019	Tesla Model 3	71	Tesla (2019)
IVL Schweden, 2017, "Schwedenstudie"		150-200	Romare & Dahllöf (2017)
IVL Schweden, 2019		61-106	Emilsson & Dahllöf (2019)
TU Eindhoven, 2020		75	Hoekstra & Steinbuch (2020)
AGORA Energiewende, 2019		100-200 (40-270)	Meyer et al. (2019)
Doppelbauer, KIT, 2019		95	Doppelbauer (2019)
Fraunhofer ISI, Karlsruhe		150	Wietschel et al. (2019)
Ifo-Studie, "Sinn-Studie"!		145-195	Buchal, Karl & Sinn (2019)

Bild 8: Vergleich der Treibhausgasemissionen aus der BEV Batteriefertigung nach verschiedenen Quellen (eigene Darstellung, aktualisierte Version von (Gärtner, 2020))

Literaturverzeichnis

Bolin, L. (2020). *Life cycle assessment — Carbon footprint of Polestar 2*. Abgerufen am 02. Februar 2021, von <https://www.polestar.com/dato-assets/11286/1600176185-20200915polestarlcafinala.pdf>

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>

Gärtner (2020). *Ein „Bärendienst“ für die E-Mobilität? - Übertreibung der Treibhausgasemissionen aus der Batterieproduktion?* Abrufbar unter [www.gaencon.de/Aktuelles/...](http://www.gaencon.de/Aktuelles/)

Gernuks, M., Bäuml, G., Schüler, M., Lösche-ter Horst T., Hofmann, L., & Halubek, P. (2020). *CO₂-Bilanz von E-Fahrzeugen*. Volkswagen AG, Konzern Forschung und Entwicklung. Abgerufen von <https://www.vdi.de/news/detail/co2-bilanz-von-e-fahrzeugen>

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

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

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.>

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

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