

„Grundlose Benachteiligung des Elektrofahrzeugs?“

4. „Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch“

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.4“ zur Diskussion: „Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch“.

The screenshot shows the website 'electrive.net' with a navigation bar containing 'Nachrichten', 'Videos', 'Premium', 'Jobmarkt', and 'Termine'. Below the navigation bar, there are sub-navigation links for 'Automobil', 'Nutzfahrzeug', 'Energie & Infrastruktur', 'Daten', 'Speichertechnik', 'Flotten', 'Politik', and 'Zweirad'. The main article is dated '31.08.2020 - 13:42' and has the title 'Niederländische Studie: Aktuelle E-Autos für weniger CO2 verantwortlich als Verbrenner'. The article text includes: 'Laut einer neuen Studie der TU Eindhoven im Auftrag der Grünen-Bundestagsfraktion sind aktuell verkaufte E-Autos im Vergleich zu Verbrennern für deutlich weniger CO₂-Emissionen verantwortlich – auch wenn man die Produktion der Batterie sowie den Stromverbrauch mit einrechnet.' and 'So verursacht ein Tesla Model 3 der Studie zufolge pro Kilometer 91 Gramm CO₂-Äquivalent pro Kilometer – 65 Prozent weniger als die 260 Gramm eines Mercedes C 220d. Damit hat der Tesla der Studie zufolge seinen CO₂-Rückstand'.

Bild 1: Auszug aus einem Internetdienst für Elektromobilität, (Schaal, 2020)

Vor fast 30 Jahren wurde mit der Abgasstufe Euro1 auch der Europäischen Union auch der „**Neue Europäische Fahrzyklus**“ eingeführt, abgekürzt NEFZ.

Trotz fortwährender Aufklärungsversuche ist bis heute der Hintergrund und die Aussagekraft dieses standardisierten Rollentests nicht verstanden. Der Laie wundert sich über die niedrigen Verbrauchswerte in diesem Testverfahren und äußert lautstark seinen Unmut, warum die Verbrauchswerte der Hersteller nicht sein individuelles Fahrverhalten widerspiegeln. Im Extremfall wird gar -völlig unangebracht- eine betrügerische Absicht unterstellt.

Bemerkenswert in diesem Kontext, dass man ausgerechnet auf der Internetseite der Fa. Tesla folgendes Statement findet: „**Der NEFZ-Standard ist ein nützlicher Orientierungswert beim VERGLEICH der Reichweite elektrischer Fahrzeuge.**“, (Tesla,2020a).

Es geht also schlicht und ergreifend um den **Vergleich von Verbrauchswerten**, nicht um deren absolute Höhe. Ein einfaches Beispiel: Sie möchten vor dem Kauf den Verbrauchsunterschied zwischen einem Mercedes-Benz C200 Benziner und einem Dieselmotortyp C220d informieren. Der Hersteller nennt hierzu auf Basis des NEFZ Werte von 6,4 l/100km bzw. 4,6 l/100km. Natürlich werden diese Werte im realen Autoleben kaum erreicht werden. Viel wichtiger ist aber die Differenz von 1,8 Litern Kraftstoff. Und diese findet man auch im Mittelwert der realen Verbräuche dieser beiden Beispiel-Fahrzeuge. Die Internetseite Spritmonitor.de nennt für den genannten Benziner einen Mittelwert von 8,2 l/100 km und 6,4 l/100 als Durchschnittswert für das Dieselmotortypmodell.

Der seit September 2017 für die Typprüfung (ab September 2019 für die Erstzulassung) vorgeschriebene Nachfolger des NEFZ, der WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) führt aufgrund der überarbeiteten Testcharakteristik – die mittlere Testleistung steigt immerhin von 4 auf 7 kW (!) - zu höheren Absolutwerten im Verbrauch, bleibt aber wie der NEFZ aber immer noch ein Rollentest mit standardisierten Randbedingungen.

NEFZ und der Nachfolger WLTP als standardisierte Prüfverfahren sind bei weitem kein Einzelfall für die vergleichbare Bewertung des Energiebedarfs technischer Produkte. Die Stiftung Warentest bspw. informiert seit Jahren über die in der Realität erheblich höheren Strombedarfe von Waschmaschinen, Backöfen und Kühlschränken im Vergleich zu den Resultaten der von den Herstellern durchgeführten EU-Normtests, (Stiftung Warentest, 2017). Es ist aber merkwürdig, dass sich die Empörung der Öffentlichkeit in den genannten Fällen doch eher in Grenzen hält. Ganz im Gegenteil zu den gegenwärtigen Diskussionen der CO₂-Beiträge konventioneller und zukünftiger Pkw-Antriebe!

In seinem electrive.net-Artikel „Experten entlarven Elektroauto-Studie von Hans-Werner Sinn als unwissenschaftliche Meinungsmache“ entrüstet sich z.B. Autor Peter Schwier: „Hans-Werner Sinn (Anm. d. Verf.: zur Studie siehe (Buchal et al., 2019)) rechnet bei seinem CO₂-Vergleich zwischen Tesla Model 3 und Mercedes C 220 Diesel mit NEFZ -Laborwerten, was insbesondere den Diesel deutlich besser aussehen lässt als er auf der Straße ist. Dabei sind Daten zu beiden Fahrzeugen (WLTP oder EPA) problemlos zu bekommen. Aber dann passt halt das Ergebnis nicht.“, (Schwierz, 2019).

Solche Polemik genießt mittlerweile keinen Seltenheitswert mehr. Die mittlerweile gar als „**Un-Sinn-Studie**“ **geschmähte Abhandlung** vergleicht für den Fahrbetrieb die CO₂-Beiträge eines C220d von Mercedes-Benz mit den Werten eines Tesla Modell 3 (75 kWh Batteriekapazität). Wie Prof. Sinn später erklärte, standen – entgegen den Darstellungen von P. Schwier – zum Zeitpunkt des Entstehens seiner Studie für das Tesla Modell 3 noch keine WLTP-Werte zur Verfügung. Weiter unten wird gezeigt, dass sich dies zumindest für den beschriebenen Vergleichsfall auch recht unerheblich erweist. Die Webseite der EPA mit

„realistische Verbrauchsdaten“, die auch A. Hoekstra empfiehlt (Hoekstra et al., 2020), gibt leider wenig Auskunft über Diesel-Modelle wie den hier als Referenzfahrzeug diskutierten C220d.

| Verbrauch | Diesel | Benzin | BEV | Verbrauch |
|---|-------------------------|---------|------------------------------|-------------|
| [l/100km] | [g/km CO ₂] | | | [kWh/100km] |
| 4 | 132 | 126 | 50 | 10 |
| 5 | 166 | 157 | 60 | 12 |
| 6 | 199 | 188 | 70 | 14 |
| 7 | 232 | 220 | 80 | 16 |
| 8 | 265 | 251 | 90 | 18 |
| 9 | 298 | 283 | 100 | 20 |
| 10 | 331 | 314 | 110 | 22 |
| 11 | 364 | 345 | 120 | 24 |
| Basisdaten: | | | | |
| CO ₂ aus Diesel-Verbrennung | 3310 | [g/l] | (Hoekstra & Steinbuch, 2020) | |
| CO ₂ aus Benzin-Verbrennung | 3140 | [g/l] | (Hoekstra & Steinbuch, 2020) | |
| CO ₂ Emissionsfaktor dt. Strommix 2020 | 500 | [g/kWh] | (Wietschel et al., 2019) | |

Bild 2: Fahrstrecken-bezogene CO₂ Emissionen für konventionelle Antriebe (Benzin/Diesel) und BEV (eigene Berechnungen)

Die CO₂-Emissionen im Fahrbetrieb für einen Diesel-Pkw, einen Benziner und ein BEV unter Variation der Verbrauchswerte in [l/100km] bzw. [kWh/100km] illustriert Bild 2. Für die Well-to-Wheel Emissionen der beiden Verbrenner wurden Resultate der Studie der TU Eindhoven vom August 2020 angewandt, die nach Angaben der Autoren auf neuesten Erkenntnissen bei der Herstellung von fossilen Kraftstoffen basieren (Hoekstra & Steinbuch, 2020). **Der CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix 2020** entstammt der Prognose des Fraunhofer ISI, Karlsruhe und beinhaltet gleichfalls die Vorkette kalorischer Kraftwerke und auch die Verluste im Stromnetz, (Wietschel, 2019a), (Gärtner, 2020a).

Man erkennt in dieser Aufstellung einen deutlichen Vorteil des batterieelektrischen bewegten Pkw im Fahrbetrieb, der sich mit zunehmendem Anteil von „grünem Strom“ im Mix in Zukunft weiter verbessern dürfte. Die Diskussion um den sogenannten „Grenzstrom“, i.e. die Frage inwieweit beim Umstieg auf die e-Mobilität mit „zusätzlich“ aufscheinenden Stromverbraucher überhaupt der Strommix anzusetzen ist, soll einer späteren Betrachtung vorbehalten bleiben. Mehrere Studien, wie bspw. Buchal et al. (2019), Hoekstra et al. (2020) und Stahl et al. (2020), diskutieren aktuell auch Szenarien, inwieweit die Umstellung auf BEV in Verbindung mit dem Abschied von Kohle und Kernkraft bei der Stromgewinnung zunächst gar zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen in Deutschland führen könnte.

Wie sehen nun aber die CO₂-Emissionen für die genannten Antriebsformen auf Basis amtlicher Testzyklen sowie plausibler Quellen zum Realverbrauch aus? Hoekstra und Steinbuch (2020) haben in ihrer Studie „Vergleich der lebenslangen Treibhausgasemissionen von Autos mit Elektromotoren mit denen mit Verbrennungsmotoren“ vom August diesen Jahres insgesamt 6 Pkw miteinander verglichen, wobei ich insbesondere die Paarung „Tesla Modell3 und MB C220d“ herausgegriffen habe, da die Abhandlung von Buchal et al., zwischenzeitlich vielleicht besser als „Sinn-Studie“ bekannt, ebenfalls genau diese Paarung

diskutiert, (Buchal, Karl & Sinn, 2019). In Bild 3 sind hierzu auf der Basis von NEFZ, WLTP und Realverbräuchen die unter Annahme der bereits aus Bild 2 bekannten Randbedingungen nun die resultierenden CO2 Emissionen pro km nach eigener Berechnung aufgelistet.

| Datenquelle | Tesla Modell 3, Long Range, 75 kWh | | MB C220d | | CO2(ICE)/CO2(BEV) [-] |
|-------------|------------------------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| | [kWh/100km] | [g CO2/km] | [l/100km] | [g CO2/km] | |
| NEFZ | 15 | 75 | 4,6 | 152 | 2,0 |
| WLTP | 16 | 80 | 5,7 | 189 | 2,4 |
| Real | 20,9 | 105 | 6,4 | 212 | 2,0 |

Bild 3: Fahrstrecken-bezogene CO2 Emissionen für Tesla, Modell 3 (75 kWh) und Mercedes-Benz C220d im Vergleich (eigene Berechnungen)

Die Verbrauchsangaben nach NEFZ und WLTP in dieser Darstellung basieren auf den Angaben der beiden Fahrzeughersteller (Tesla, 2020b), (Mercedes-Benz, 2020). Der „Real-Verbrauch“ des Tesla Modell 3 stammt aus dem ADAC-ecotest und beinhaltet damit auch den gemessenen Verlust beim Laden der Batterie, (Wieler, 2020). Im „Spritmonitor“ findet sich für dieses Tesla-Modell aktuell ein Mittelwert von 19,8 kWh/100km (Stand 17.11.2020, n=60), d.h. recht nahe an dem vom ADAC publizierten Wert. BEV-Fahrer dokumentieren im „Spritmonitor“ aber i.d.R. ohne Ladeverlust.

Es ist weithin bekannt, dass die Abweichungen zwischen Realverbräuchen und dem NEFZ-Ergebnis im Zuge der Zeit zunehmend angewachsen sind. „Bei einem durchschnittlichen Elektrofahrzeug ist die Auswirkung auf einen Vorteil von 5 g CO₂-Äq/km begrenzt, bei Verbrennungsmotoren liegt der Vorteil jedoch in der Regel bei 50-100 g CO₂-Äq/km.“ quantifizieren Hoekstra und Steinbuch dieses Phänomen, (Hoekstra & Steinbuch, 2020, Seite 19). Wie aus Bild 3 für den Tesla Modell 3 hervorgeht, scheint diese Erkenntnis der beiden niederländischen Wissenschaftlern zumindest für ein BEV **nicht generell zutreffend**. Die CO₂-Emission des ICE liegt nach Bild 3 **beim aktuellen Strommix etwa um einen Faktor 2 höher** im Vergleich zu einem BEV. Wie weiter unten gezeigt wird, gilt dieser Zusammenhang sowohl bei einem Vergleich der NEFZ-Werte wie auch der Realverbräuche auch für andere Fahrzeug-Vergleiche.

Im Hinblick auf reale Verbrauchswerte beziehen sich Hoekstra und Steinbuch sowohl auf das Internetportal „spritmonitor.de“ bzw. auch auf die Internetseite „www.fueleconomy.gov“ der amerikanischen EPA. In ihrer Studie nennen die beiden Wissenschaftler leider aber keine Details, welche Quelle sie schlussendlich für welches Fahrzeug benutzt haben. So finden Leserinnen und Leser dort lediglich die resultierenden CO₂-Emissionen, wie Bild 4 auszugsweise darstellt.

| | Mercedes C 220d | Tesla Model 3 |
|---|-----------------|-------------------------|
| Herstellung ohne Batterie | 32 | 28 |
| Herstellung der Batterie | - | 23 (75 kWh Batterie) |
| Fahren | 228 | 40 |
| Gesamt g CO ₂ eq per km | 260 | 91 (65% weniger) |
| Anzahl der km, die das Elektrofahrzeug benötigt, um die Batterie "zurückzuzahlen" | | 30 000 km |

Bild 4: Fahrstrecken-bezogene CO2 Emissionen für Tesla, Modell 3 (75 kWh) und MB C220d im Vergleich (Hoekstra & Steinbuch, 2020, Seite 5)

Der von den Autoren ausgewiesene CO₂e-Wert für den Diesel-Pkw mit 228 g/km ist fast identisch mit dem in Bild 3 aufgeführten Wert aus eigenen Berechnungen. **Beiden Bewertungen liegt der schon oben erwähnte, in der Studie von Hoekstra & Steinbuch publizierte CO₂e Emissionsfaktor von 3310 g/l Diesel (i.e. inkl. Vorkette!) zugrunde.**

Ganz auffällig hingegen ist der von den beiden Studienautoren angegebene CO₂e Wert für den Tesla mit 40 g/km im Fahrbetrieb. Dieser ergibt sich aus dem in der Studie angenommenen, zumindest fragwürdigen Strommix von 250 g/kWh CO₂e, siehe hierzu auch (Gärtner, 2020a). **Rechnet man nun mit diesem Wert zurück auf den in der Studie dargelegten, aber nicht explizit genannten Verbrauch des Tesla 3, ergeben sich 16 kWh/100 km.** Das ist für den Realverbrauch recht niedrig und liegt deutlich unter meinen in Verbindung mit Bild 3 recherchierten Werten. Auch die EPA nennt für dieses Tesla-Modell ein CO₂-Äquivalent von doch 18 kWh/100km (Werte 2018 -2019), siehe (U.S. Environmental Protecting Agency EPA, 2020).

Die Frage ist erlaubt, warum die niederländische Studie einerseits Transparenz bei den Realverbräuchen fordert, beim realen Fahrverbrauch des Tesla 3 aber einen zumindest fragwürdigen Wert annimmt.

| Datenquelle | Tesla Modell 3, Long Range, 75 kWh | | MB C220d | | CO ₂ (ICE)/CO ₂ (BEV) |
|-------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|---|
| | [kWh/100km] | [g CO ₂ /km] | [l/100km] | [g CO ₂ /km] | |
| NEFZ | 15 | 75 | 4,6 | 152 | 2,0 |
| WLTP | 16 | 80 | 5,7 | 189 | 2,4 |
| Real | 20,9 | 105 | 6,4 | 212 | 2,0 |
| Datenquelle | eGolf | | Golf 1.6 TDI SCR 85 kW 5-Gang | | CO ₂ (ICE)/CO ₂ (BEV) |
| | [kWh/100km] | [g CO ₂ /km] | [l/100km] | [g CO ₂ /km] | |
| NEFZ | 13,8 | 69 | 4,2 | 139 | 2,0 |
| WLTP | 16 | 80 | 5,4 | 179 | 2,2 |
| Real | 17,3 | 87 | 5,3 | 175 | 2,0 |
| Datenquelle | smart fortwo EQ | | smart fortwo, 52 kW | | CO ₂ (ICE)/CO ₂ (BEV) |
| | [kWh/100km] | [g CO ₂ /km] | [l/100km] | [g CO ₂ /km] | |
| NEFZ | 16,5 | 83 | 5 | 157 | 1,9 |
| Real | 19,4 | 97 | 6,2 | 195 | 2,0 |

Bild 5: Fahrstrecken-bezogene CO₂e-Emissionen für verschiedene Kombinationen von ICE und BEV im Vergleich (eigene Berechnungen)

In Bild 5 habe ich neben den bereits oben diskutierten CO₂e-Emissionen des Tesla Modell 3 und des C220d weitere Fahrzeuge verglichen: den e-Golf und einen Golf 1,6 TDI sowie den smart fortwo EQ und das Benziner-Pendant. Das letztere Vergleichspaar kommt auch aus dem Umstand, dass aktuell in meinem Familienfuhrpark beide Fahrzeuge im Einsatz sind und somit Erfahrungen zu den Realverbräuchen existieren, die sich allerdings sehr gut in die „offizielle Datenbasis“ einordnen.

Die Zahlen für die Golf-Modelle stammen aus dem ADAC-ecotest bzw. für das Diesel-Fahrzeug aus dem „Spritmonitor“ (n=84, Fzg. ab Baujahr 2018). Für den e-Golf nennt die EPA für die Jahre 2017-2020 einen mittleren Verbrauchswert von 17,9 kWh/km. A. Hoekstra beziffert die CO₂e-Emission des e-Golf mit 43 g/km. Die Rückrechnung unter Annahme des von ihm angenommenen Strommix von 250 g/kWh ergibt dann einen Energiebedarf von 17,2

kWh/100km. Dieser Wert steht – im Gegensatz zu dem genannten Tesla-Wert – nun doch deutlich mehr im Einklang mit anderen Quellen. Für den elektrisch angetriebenen smart wurde für die Berechnungen in Bild 5 der (von Meile auf km umgerechnete) EPA-Wert von 19,4 kWh/100 km gewählt. Hintergrund hier, dass seitens des ADAC bisher nur eine Vermessung des smart EQ forfour existiert und die Werte im „Spritmonitor“ wie schon erwähnt meist ohne Ladeverluste eingetragen werden. Für den Benziner findet sich im „Spritmonitor“ ein realer Durchschnittsverbrauch von 6,2 l/100km. Die Produktion des dieselangetriebenen smart wurde schon 2014 mit Ende Euro5 eingestellt. Insofern konnte nur der Benziner für einen aktuellen Vergleich herangezogen werden. Seit 2020 wird der smart ausschließlich als BEV angeboten. Insofern sind in Bild 5 auch keine WLTP-Werte mehr aufgeführt.

Unter der Annahme eines CO₂e-Emissionsfaktors von 500 g/kWh für das Jahr 2020 (Wietschel et al., 2019a) erkennen wir in Bild 5, rechte Spalte, wiederum den bereits erwähnten Faktor von „etwa 2“ zwischen den CO₂e-Emissionen eines BEV und eines Verbrenners im Fahrbetrieb. Dieser Faktor ist natürlich keine „Naturkonstante“, sondern resultiert ganz einfach aus dem Verhältnis der jeweiligen Verbrauchswerte multipliziert mit dem Verhältnis der CO₂-Entstehung der Verbrennung von Diesel oder Benzin zum **CO₂-Emissionsfaktor aus dem aktuellen Strommix in Deutschland**. Nehmen wir als Beispiel den VW Golf und die entsprechenden NEFZ-Angaben aus Bild 5, so ergibt sich ein Energieverbrauch beim e-Golf von 13,8 kWh/100km und beim Diesel-Golf von 42 kWh/100 km. Also ein Verhältnis von ca. 3. Die CO₂e-Emission bei der Dieselerbrennung (Bild 2) liegt bezogen auf den Heizwert des Kraftstoffes bei 331 g/kWh, im deutschen Strommix für das Jahr 2020 bei 500 g/kWh, also ein Verhältnis von etwa 1,5. **Die Verrechnung beider Größen erklärt den bereits weiter oben angeführten Faktor von 2. Dies gilt nicht nur für den NEFZ, sondern auch für die Realverbräuche zumindest für die in Bild 5 aufgeführten Fahrzeug-Paarungen.**

Nach den Prognosen des Fraunhofer ISI (Wietschel et al., 2019a) ist für das Jahr 2030 im dt. Strommix ein Emissionsfaktor von 347 g/kWh CO₂e zu erwarten. **Dann läge das Verhältnis bei einem Faktor von ca. 3, d.h. im Fahrbetrieb würde das mit einem Dieselmotor betriebene Fahrzeug etwa 3x soviel CO₂e emittieren wie das BEV.**

Der vieldiskutierte Break-Even-Punkt, d.h. i.d.R. die km-Laufleistung, ab der die kumulierte CO₂-Emission des BEV schließlich unter die eines konventionell angetriebenen Fahrzeuges sinkt, verschiebt sich durch Annahme der Verbräuche aus standardisierten Zyklen zu höheren Laufleistungen hin. Umgekehrt können natürlich auch zu niedrig angesetzte „Realverbräuche“ beim BEV den umgekehrten Effekt bewirken.

Bild 6 soll diese Effekte nochmals für ein konventionelles Fahrzeug MB C220d und ein BEV Tesla Modell 3 verdeutlichen. Die Ergebnisse sind neben den aus der Tabelle ersichtlichen, variierten Energieverbräuchen abhängig von den gewählten Randbedingungen, wie der Batteriekapazität des BEV, der bei der Batterie-Herstellung entstandenen CO₂-Masse, dem Strommix in Deutschland für das Jahr 2020 und der spezifischen CO₂-Masse, die bei Verbrennung von Diesel entsteht inkl. der WTW CO₂-Emission für den Diesel-Kraftstoff. Für diese Werte und ihre Herkunft siehe die Quellenangaben in Bild 2 sowie die erste Abhandlung dieser Serie (Gärtner, 2020b).

| | C220d | Tesla Modell 3 |
|--------------------------------------|--------|----------------|
| Verbrauch [l/100km] bzw. [kWh/100km] | 4,6 | 15 |
| Datenbasis | NEFZ | NEFZ |
| Masse CO2e kum. nach 100tkm | 15,2 | 12,8 |
| Break-Even-point bei ca. [km] | 70000 | |
| Verbrauch [l/100km] bzw. [kWh/100km] | 6,4 | 20,9 |
| Datenbasis | real | real |
| Masse CO2e kum. nach 100tkm | 21,2 | 15,8 |
| Break-Even-Point bei ca. [km] | 50000 | |
| Verbrauch [l/100km] bzw. [kWh/100km] | 4,6 | 20,9 |
| Datenbasis | NEFZ | real |
| Masse CO2e kum. nach 100tkm | 15,2 | 15,8 |
| Break-Even-Point bei ca. [km] | 110000 | |
| Verbrauch [l/100km] bzw. [kWh/100km] | 6,4 | 16 |
| Datenbasis | real | ? |
| Masse CO2e kum. nach 100tkm | 21,2 | 13,3 |
| Break-Even-Point bei ca. [km] | 40000 | |
| Batteriekapazität | | 75 kWh |
| Emissionsfaktor Batterie-Produktion | | 71 kg/kWh CO2e |
| Emissionsfaktor Dieselerbrennung | | 3310 g/l CO2 |
| Emissionsfaktor dt. Strommix 2020 | | 500 g/kWh CO2e |

Bild 6: Break-Even-Point bei Variation des Energieverbrauchs von BEV und ICE (eigene Berechnungen)

Fazit:

Beim deutschen Strommix des Jahres 2020 emittiert ein BEV im Fahrbetrieb – unabhängig vom Fahrzyklus - nur etwa die Hälfte der CO2e-Emission eines vergleichbaren Verbrenners.

Ein Break-Even-Punkt der kumulierten CO2-Emissionen von ICE und BEV kommt bei Berücksichtigung des deutschen Strommix nur zustande unter Einbezug der CO2-Vorlast durch die Batterieproduktion für das BEV. Daten zur Batterieherstellung findet man im ersten Teil dieser Aufsatzserie, (Gärtner, 2020b).

Neben den Daten zur Batterie und ihrer Produktion muss man der Vergleichbarkeit der in den diversen Studien gewählten Verbrauchsdaten und ihrer Herkunft größte Aufmerksamkeit schenken. Dies gilt nicht nur für Pkw mit ICE, wie von Hoekstra et al. (2020) vermutet, sondern insbesondere auch für den „realen Fahrstrom“ eines BEV.

In meinem nächsten Aufsatz, der in Kürze erscheint, geht es um den „Fehler Nr. 5“, der nach Ansicht der beiden niederländischen Studienautoren Hoekstra und Steinbuch in allen anderen Studien begangen wird: „Keine Berücksichtigung der Voremissionen bei Diesel und Benzin bspw. beim Herstellungsprozess“.

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>

Elektroautomobil (2020). Neuwagen Übersicht. Abgerufen von <https://www.elektroautomobil.com/eam/EAM-Fahrzeugliste-0220.pdf>

Gärtner, U. (2020a). Kleine Cocktail-Kunde: Der „Strommix“. Abgerufen von <https://www.gaencon.de/Aktuelles/>

Gärtner, U. (2020b). Ein Bärendienst für die Eektromobilität. Abgerufen von <https://www.gaencon.de/Aktuelles/>

Hajek, S. (2019). Nachgerechnet: Wann Elektroautos sauberer sind als Verbrenner. In Wirtschaftswoche , 12. Novemer 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

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>

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

Mercedes-Benz (2020). WLTP Verbrauchs- und Emissionswerte. Abgerufen am 13. November 2020, von <https://www.mercedes-benz.com/de/fahrzeuge/wltp/wltp-verbrauchs-und-emissionswerte/>

Regett A., Mauch W. , Wagner U. (2019a). Klimabilanz von Elektrofahrzeugen – Ein Plädoyer für mehr Sachlichkeit. Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V.. Abgerufen von https://www.ffe.de/attachments/article/856/Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE.pdf

Regett A., Mauch W. , Wagner U. (2019b). Klima- und Ressourcenwirkung von Elektrofahrzeugbatterien. Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V.. Abgerufen von https://www.ffe.de/attachments/article/698/Begleitdokument_Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE.pdf

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/>

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>

Stahl, M., Seeberger M., Coto J. (2020). DER WEG HIN ZU EINER CO2-ARMEN MOBILITÄT. Stahl Automotive consulting. Abgerufen von https://www.sac-group.eu/wordpress/wp-content/uploads/2020/07/Stahl_Automotive_Consulting_Whitepaper.pdf

Stiftung Warentest (2017). Warum Geräte in der Küche mehr verbrauchen als im Labor. Abgerufen von <https://www.test.de/Energielabel-Warum-Geraete-in-der-Kueche-mehr-verbrauchen-als-im-Labor-5198556-0/>

Tesla (2020). Abgerufen von https://www.tesla.com/de_DE/support/your-future-tesla

U.S. Environmental Protecting Agency EPA (2020). Kraftstoffverbrauch. Abgerufen am 12. Novmber 2020, von <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=39769&id=40769>

Volkswagen (2019a). 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

Volkswagen (2019b). WLTP Emissionen. Abgerufen am 18.11.2020, von https://www.volkswagen.de/idhub/content/dam/onehub_pkw/importers/de/besitzer-und-nutzer/wissenswertes/wltp/WLTP_Emissionswerte_Emissionsnormen_DE_10-19.pdf

Wieler, J. (2020). Stromverbrauch Elektroautos: Aktuelle Modelle im ADAC Test. ADAC. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

Wietschel, M., Kühnbach, M., Rüdiger, D. (2019a). Die aktuelle Treibhausgasemissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland. FRA UNHOFER-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

Zacher...<https://generationstrom.com/2019/08/27/wltp/>