

Über Mythen und Halbwissen zur CO₂-Emission von Dieselmotoren ...

oder

Müssen Lehrbücher neu geschrieben werden?

Bild 1: Jürgen Resch von der Deutschen Umwelthilfe DUH und „Autoexperte“ Prof. Ferdinand Dudenhöffer zu den CO₂-Emissionen von Dieselmotoren, siehe [3]

Liebe Leserinnen und Leser dieser Blogs,

wie viele "Fakten" im sogenannten Dieselskandal sind auch beim Thema "CO₂ - Emissionen von Verbrennungsmotoren" gewisse Behauptungen und Botschaften, wie sie beispielhaft in Bild 1 illustriert sind, ganz offensichtlich auf fruchtbaren Boden gefallen.

Nachfolgend finden Sie - stellvertretend für viele ähnlich lautende Ansichten – einen Leserkommentar aus dem Netz:

"Das haben wir uns in Deutschland schön gerechnet und alle glauben daran! Im Verbrauchsvergleich unter Berücksichtigung der höheren Energiedichte eines Liters Diesel im Vergleich zu einem Liter Benzin sowie unter Einbeziehung des höheren Energiebedarfs bei der Herstellung eines Dieselliters ist der Diesel nicht sparsamer. Im Gegenteil, er ist sogar schlechter als Benzin und mit Gas angetriebene Fahrzeuge. Da Dieselmotoren im Vergleich auch noch teurer in der Anschaffung sind (daraus schließe ich mal, dass sie auch aufwendiger in der Produktion sind) frage ich mich, warum immer noch so viele Leute an das "Diesel-Effizienz- und Antrieb-der-Zukunft"-Märchen glauben."

Sachliche Aufklärung und Beseitigung des technischen Informationsdefizits ist ganz dringend notwendig. Dies ist das Ziel des heutigen Blogs, wobei ich mich in meinen Ausführungen zunächst auf Pkw-Dieselmotoren beschränken werde.

Der Wirkungsgrad

In Wärmekraftmaschinen, wie bspw. Verbrennungsmotoren, wird die in Kraftstoffen gebundene chemische Energie in mechanische Energie umgewandelt.

Die Wissenschaft, die sich – gleichwohl nicht ausschließlich - mit dieser Energieumwandlung beschäftigt, nennt sich **Thermodynamik** und ist selbst bei den Studierenden der Ingenieurwissenschaften eigentlich eher wenig beliebt. Seit Beginn des sogenannten Abgasskandals und in der oft sehr emotionalen und faktenfrei geführten Diskussion über die Formen zukünftiger Mobilität erlebt die Thermodynamik aber eine ungekannte Renaissance. Fast vergleichbar mit einer Fußballweltmeisterschaft, wenn in Deutschland für einige Wochen „Millionen von Bundestrainern“ auftauchen.

Setzen wir die mechanische Energie, die unser Verbrennungsmotor liefert, ins Verhältnis zur zugeführten chemischen Energie, ergibt sich aus dieser Rechnung der sogenannte Wirkungsgrad. Die Eingangsgrößen, die man für eine solche Rechnung benötigt, muss man zuvor messen. Man misst also die vom Motor in einem bestimmten Betriebspunkt abgegebene mechanische Arbeit (N.B.: mechanische Arbeit = eine Form von Energie), die dafür erforderliche Kraftstoffmasse und weiterhin die im Kraftstoff gebundene chemische Energie. Dazu brauchen wir Motorprüfstände und Kraftstoff-Labore bzw. Kraftstoff-Analysen.

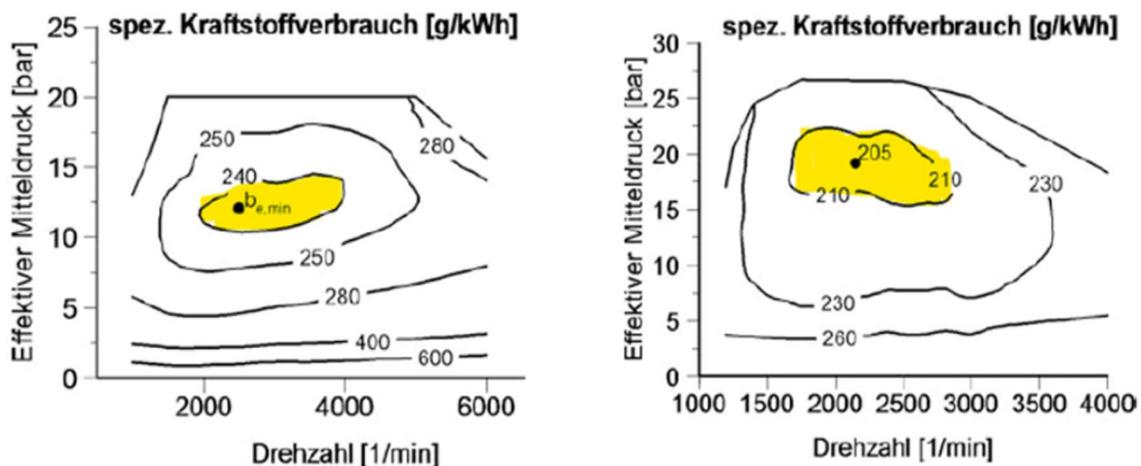


Bild 2: Vergleich des spezifischen Kraftstoffverbrauchs eines Ottomotors (links) und eines Dieselmotors (rechts) nach [1]. Bei beiden Motoren handelt es sich um Direkteinspritzer mit Abgasturboaufladung.

Aus einer Vielzahl vermessener Betriebspunkte kann man sodann die in Bild 2 exemplarisch aus einem Standard-Lehrbuch [1] für Verbrennungsmotoren entnommenen **Kennfelder des Motors mit Linien konstanten Wirkungsgrades** erstellen. Die waagerechte x-Achse stellt dabei die Motordrehzahl dar und die vertikale y-Achse den sogenannten effektiven Mitteldruck dar. Letzterer ist eine weitere spezifische Motorkenngröße und identisch mit dem auf den Hubraum des Motors bezogenen Drehmoment. Lassen sie sich bitte durch die Zahlenwerte der Isolinien nicht verwirren. Im Motorenbau ist es üblich, anstelle des dimensionslosen Wirkungsgrades mit dem sogenannten effektiven spezifischen Kraftstoffverbrauch in der Einheit [g/kWh] zu arbeiten.

Beide thermodynamischen Kenngrößen sind gleichwertig, solange die Heizwerte nicht merklich differieren.

Multipliziert man diesen spezifischen Kraftstoffverbrauch mit dem unteren Heizwert des eingesetzten Kraftstoffs und bildet anschließend den Kehrwert dieses Produkts, ergibt sich daraus unmittelbar der effektive Wirkungsgrad.

Es gilt: je kleiner also der spezifische Verbrauch, umso größer der effektive Wirkungsgrad. Die Betriebsbereiche beider Motoren, in denen ihre spezifischen Verbräuche minimal und in Folge die effektiven Wirkungsgrade maximal werden, habe ich zur besseren Orientierung in Bild 2 gelb eingefärbt.

Ein spezifischer Verbrauch von 240 g/kWh bspw. beim Ottomotor (Bild 2, links) entspricht einem Wirkungsgrad von etwa 36%, ein spezifischer Verbrauch des Dieselmotors von 210 g/kWh kommt einem effektiven Wirkungsgrad von fast 40% gleich (Bild 2, rechts)

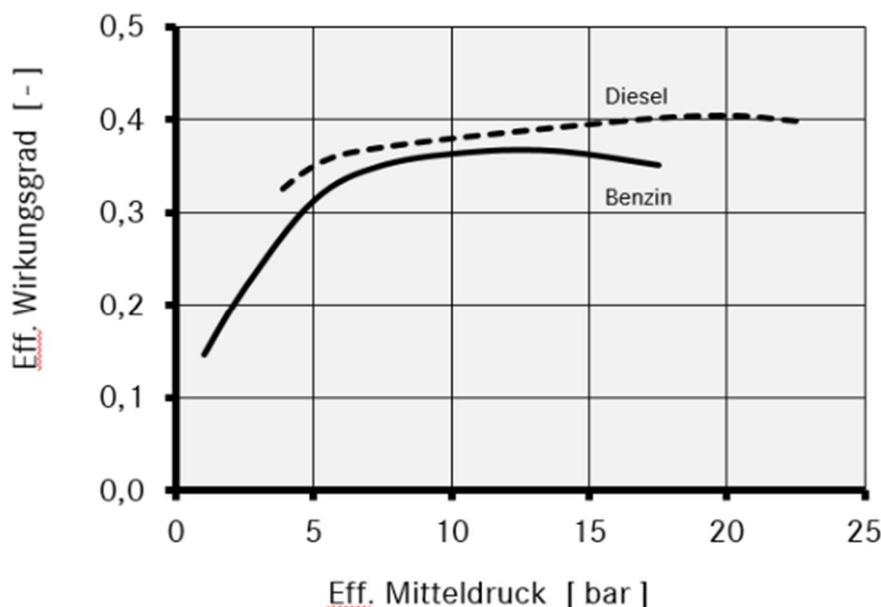


Bild 3: Vergleich des effektiven Wirkungsgrades von Otto- und Dieselmotor, Lastschnitt bei 2500/min (eigene Rechnung/Darstellung auf der Datenbasis von Bild 2)

Das Beispiel aus dem Lehrbuch zeigt, dass der effektive Wirkungsgrad eines Dieselmotors sichtbar höher liegt als der eines vergleichbaren Ottomotors, Bild 3.

Die Ursachen dafür, wie bspw. das höhere Verdichtungsverhältnis und der permanente Betrieb mit Luftüberschuss, lassen sich ebenfalls mit Hilfe der Thermodynamik erklären, aber das würde jetzt etwas zu weit führen.

Nebenbei bemerkt:

Man könnte jetzt sagen: "30 % oder 40 % Wirkungsgrad sind ja wirklich erbärmlich. Elektromotoren im BEV erreichen doch Wirkungsgrade von 90% !"

Das ist richtig. Aber mit dem Unterschied, dass die diesem Elektromotor zugeführte Energie - Strom - ja bereits eine entscheidende Energieumwandlung hinter sich hat. Mit der - zugegeben extremen - Annahme, dass dieser Strom im ungünstigsten Fall aus einem mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerk stammt und dieser Kraftwerksprozess einen Wirkungsgrad von angenommenen 40 % aufweist, multiplizieren sich die Wirkungsgrade von Kraftwerk und E-Maschine und wir liegen damit auch bei einem BEV bei 36 % effektivem Wirkungsgrad (N.B.: $0,4 \times 0,9 = 0,36$).

Doch dazu in Kürze mehr in meiner neuen Blog-Serie "Zurück zur e-Mobilität".

Aber kommen wir nun zurück zu der eingangs in jenem Leserbrief aufgezeigten Behauptung *"Im Verbrauchsvergleich unter Berücksichtigung der höheren Energiedichte eines Liters Diesel im Vergleich zu einem Liter Benzin ..."*.

In Bild 4 habe ich dazu dargestellt, welche physikalisch/chemischen Zusammenhänge zwischen den massebezogenen bzw. volumenbezogenen Kraftstoffverbräuchen eines Otto- und Dieselmotors existieren:

$$\frac{m_{\text{Diesel}}}{m_{\text{Benzin}}} = \frac{\eta_{\text{Benzin}}}{\eta_{\text{Diesel}}} \times \frac{H_{u,\text{Benzin}}}{H_{u,\text{Diesel}}} = \frac{\eta_{\text{Benzin}}}{\eta_{\text{Diesel}}} \times 0,9535$$

$$\frac{V_{\text{Diesel}}}{V_{\text{Benzin}}} = \frac{\eta_{\text{Benzin}}}{\eta_{\text{Diesel}}} \times \frac{H_{u,\text{Benzin}}}{H_{u,\text{Diesel}}} \times \frac{\rho_{\text{Benzin}}}{\rho_{\text{Diesel}}} = \frac{\eta_{\text{Benzin}}}{\eta_{\text{Diesel}}} \times 0,8561$$

Bild 4: Verhältnisgleichungen für den Kraftstoffverbrauch von Otto und Dieselmotor bei gleicher Leistungsabgabe.

Der griechische Buchstabe eta steht dabei für den effektiven Wirkungsgrad, H_u ist der untere Heizwert des jeweiligen Kraftstoffs in [kJ/kg] und der griechische Buchstabe rho steht für die Dichte des Kraftstoffs in [kg/m³]. m ist der jeweilige Verbrauch in [kg], V der absolute Verbrauch in [liter]. Die Relation zwischen Diesel-Verbrauch und Benzinverbrauch hängt damit nur von den jeweiligen effektiven Wirkungsgraden und einer Konstante ab, die aus der unterschiedlichen Kraftstoffcharakteristik resultiert.

Man erkennt aus den rechts aufgeführten Gleichungen in Bild 4, dass selbst bei gleichen Wirkungsgraden der Dieselmotor einen immer noch um fast 15% niedrigeren, volumenbezogenen Verbrauch und einen ca. 5% niedrigeren, massebezogenen Kraftstoffverbrauch aufweist.

Die Zahlenwerte in Bild 4 basieren in dieser Betrachtung auf folgenden spezifischen Stoffdaten:

		Diesel	Benzin	rel. Unterschied
Heizwert H_u	[kJ/kg]	43	41	95,2
Heizwert H_u	[kJ/l]	35,8	30,6	85,5
Dichte	[kg/l]	0,83	0,75	89,8

Bild 5: Typische Unterschiede im unteren Heizwert und der Dichte zwischen Benzin und Diesel-Kraftstoffen (Mittelwerte aus eigenen Recherchen)

Unterschiede in den CO₂-Emissionen

Die massebezogene CO₂-Emission beider Motoren, die sich aus dem im Kraftstoff gebundenen Anteil an Kohlenstoff C ergibt, kann nun in gleicher Weise ins Verhältnis gesetzt werden, siehe Bild 6:

$$\frac{m_{CO_2,Diesel}}{m_{CO_2,Benzin}} = \frac{\eta_{Benzin}}{\eta_{Diesel}} \times \frac{H_{u,Benzin}}{H_{u,Diesel}} \times \frac{\rho_{Benzin}}{\rho_{Diesel}} \times \frac{2,66}{2,33} = \frac{\eta_{Benzin}}{\eta_{Diesel}} \times 0,9773$$

Bild 6: Verhältnisgleichungen für die CO₂-Emission von Otto und Dieselmotor bei gleicher Leistungsabgabe

In einem kg Dieselmotor sind 870 g Kohlenstoff enthalten, in einem kg Benzin etwas weniger, nämlich nur etwa 850 g. In der Reaktion mit Luftsauerstoff O₂ werden aus einem kg Kohlenstoff C schließlich 3,67 kg CO₂. Aus einem kg Diesel bilden sich somit 3,19 kg CO₂ und aus einem kg Benzin 3,12 kg CO₂. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Dichte beider Kraftstoffe resultieren dann volumenbezogen 2,66 kg/l CO₂ bzw. 2,33 kg/l CO₂ für Benzin. Diese oder ähnliche Zahlen haben sie sicherlich schon gelesen, siehe z.B. auch Bild 1 oder [3].

Aus einem Liter Diesel entsteht also ca. 14% CO₂ mehr als bei der Verbrennung von Benzin, aus einem kg Diesel aber nur 2,2 % mehr.

Damit sind wir zurück in Bild 6 und erkennen, dass - bei gleichen Wirkungsgraden und Motorleistung - der Dieselmotor nur noch einen kleinen Vorteil von ca. 2% in den massebezogenen CO₂-Emissionen liefern würde.

Oder umgekehrt der Schluss: Ein spürbarer CO₂-Vorteil des Dieselmotors kann nur bei deutlich unterschiedlichen effektiven Wirkungsgraden auftreten.

Wirkungsgrad Diesel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Wirkungsgrad Benzin	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25
Volumenbez. Verbrauchsverhältnis	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
Massebez. Verbrauchsverhältnis	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,79
Massebez. CO2 Verhältnis	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81

Bild 7: Verhältnis Kraftstoffverbrauch Diesel/Benziner und CO2-Emission bei Annahme unterschiedlicher effektiver Wirkungsgrade und gleicher Leistungsabgabe

Diesen Sachverhalt verdeutlicht nochmals Bild 7. Hier habe ich zur Veranschaulichung - ausgehend von einem Basiswert von 30 % für den effektiven Wirkungsgrad des Dieselmotors - unter der Annahme eines schrittweise von 1% bis 5 % niedrigeren Wirkungsgrades des Ottomotors die resultierenden Verhältnisse zwischen den Kraftstoffverbräuchen und der CO2-Emission berechnet.

Nimmt man beispielweise an, dass der Benzinmotor im Vergleich nur 27% Wirkungsgrad aufweisen würde, ergäbe sich ein um 23 % niedrigerer vol. Verbrauch für den Dieselmotor und eine um 12 % niedrigere CO2-Emission, siehe Bild 7, 3. Spalte von rechts.

Werte aus der Praxis

Reale Unterschiede im Verbrauch zwischen Benzin- und Dieselmotoren lassen sich beispielsweise der Internetseite spritmonitor.de entnehmen.

Hersteller	Modell	Modelljahr	Diesel	Benziner	Verhältnis
			[l/100km]	[l/100km]	
BMW	5er	alle	7,6	10,6	0,72
BMW	5er	ab 2016	7,4	10,1	0,73
BMW	3er	alle	6,6	9,3	0,71
BMW	3er	ab 2016	6,5	9	0,72
VW	Passat	alle	6,4	8,8	0,73
VW	Passat	ab 2016	6,3	7,7	0,82
VW	Golf	alle	5,7	7,7	0,74
VW	Golf	ab 2016	5,9	7,4	0,80
Opel	Corsa	alle	5,1	6,7	0,76
Opel	Corsa	ab 2016	4,7	6,8	0,69
Opel	Astra	alle	6	7,7	0,78
Opel	Astra	ab 2016	5,6	7,1	0,79

Bild 8: Reale Unterschiede gemittelter Kraftstoffverbräuche zwischen Diesel- und Benzinmodellen verschiedener Hersteller (Quelle: spritmonitor.de)

Je nach Hersteller und Modell ergeben sich für die beiden Antriebskonzepte Differenzen zwischen 1,5 und 3 Liter Kraftstoff pro 100 km Fahrstrecke. In der rechten Spalte der in Bild 8 dargestellten Tabelle findet man weiterhin die jeweiligen Verhältniswerte aus den volumetrischen Kraftstoffverbräuchen in einem Wertebereich zwischen 0,69 und 0,82.

Mit den letztgenannten Werten lassen sich nun mit Hilfe der Tabelle in Bild 7 die Unterschiede zwischen diesel- und ottomotorischem Wirkungsgrad abschätzen. Gemittelt über alle drei Hersteller ergibt sich aus diesen Daten ein Verbrauchsvorteil von ca. 2,3 l/100 km (entspricht ca. 26 % weniger) und ein CO₂-Vorteil von ca. 31 g/100 km (entspricht ca. 14 % weniger) für den Dieselantrieb. Dies entspräche einem Unterschied im Wirkungsgrad von etwa 4 Prozentpunkten.

Wird der Unterschied zwischen Benzin- und Dieselmotoren kleiner bei aktuellen Modellen? Zu einer ersten Einschätzung findet man dazu in der Tabelle in Bild 8 eine Differenzierung zwischen aller im "spritmonitor" aufgeführten Diesel- und Benzinfahrzeuge und Fahrzeugen ab Baujahr 2016, i.e. Euro 6. Ohne eine tiefere Ursachenanalyse vorzunehmen, scheint dies zumindest bei den aufgeführten Modellen von Volkswagen der Fall zu sein. Der Vorteil im Wirkungsgrad beträgt dort aktuell nur noch etwa 1 bis 2 Prozentpunkte.

Unterschiedliche Darstellungen?

Wie erklären sich aber nun die unterschiedlichen Einschätzungen und Darstellungen verschiedener Politiker, Behörden und NGOs im Vergleich zu Motoreningenieuren und zur Lehre an Hochschulen hinsichtlich der CO₂-Emission des Dieselmotors?

Exemplarisch habe ich hierzu eine aktuelle, zugleich recht eindeutig gefasste Publikation des UBA herausgegriffen: **"Vom Diesel als Klimaretter kann also keine Rede sein"**, Bild 9 nach [4].

Umwelt Bundesamt Start Das UBA Themen Presse Publikationen

ausgenommen sind. Zudem müssten die Automobilhersteller die Kosten für die Nachrüstung zumindest teilweise übernehmen.

7. Brauchen wir den Diesel nicht für den Klimaschutz ?

2019 lagen die Kohlendioxid-Emissionen von neu zugelassenen Benzin-Pkw im Flottendurchschnitt mit 157,6 Gramm Kohlendioxid pro Kilometer (g CO₂/km) unter denen von Diesel-Pkw mit 167,6 g CO₂/km. Der Gesamtdurchschnitt aller neuen Pkw lag übrigens sogar bei lediglich 157 g CO₂/km – aufgrund der Hybrid- und Elektroautos. **Vom Diesel als Klimaretter kann also keine Rede sein.**

Der Vorteil der Diesel-Pkw besteht nur auf dem Papier. Bei gleicher Motorisierung stoßen Diesel-Pkw theoretisch zwar bis zu 15 Prozent weniger CO₂ aus als Benziner. Die Realität sieht aber anders aus – SUV und hochmotorisierte Fahrzeuge werden meist mit Diesel-Motoren ausgestattet, um den Spritverbrauch in einem erträglichen Rahmen zu halten. So kommen und kommen diese Fahrzeuge mehr und mehr in den Markt. Inzwischen ist jeder

Bild 9: Informationen des Umweltbundesamts zum "CO₂-Vorteil" des Dieselmotors nach [4]

Natürlich sehe auch ich keinen CO₂-Vorteil des Dieselmotors, wenn ich bspw. einen Diesel-Pkw GLS 400d von Mercedes-Benz, Verbrauch 7,9 l/100km, damit 208 g CO₂/100km mit einem Benzinmodell A200, 5,7 l/100km, damit 130 g CO₂/100km vergleiche.

Wenn keine annähernd gleichmäßige Verteilung der Diesel- und Ottomotoren über alle Modellreihen und Leistungsklassen mehr vorliegt, sind die Ausführungen des UBA selbstverständlich plausibel.

Man könnte allerdings umgekehrt auch die Frage stellen, wo denn die CO₂-Emissionen der Pkw-Flotte lägen, wenn es dort gar keine Dieselmotoren mehr gäbe? Oder geht man beim UBA davon aus, dass in diesem Fall in Deutschland keine "SUV und hochmotorisierten Fahrzeuge" mehr gekauft würden? Mittlerweile mehren sich die Anzeichen, dass durch den drastischen Rückgang der Neuzulassungen bei Diesel-Pkw in der EU gar zu einem Wiederanstieg der CO₂-Emissionen kommt, wie exemplarisch die in Bild 10 dargestellte aktuelle Analyse des Consultingunternehmens JATO ausweist. Offensichtlich können die aktuellen Neuzulassungen an BEVs und Hybriden diesen Trend nicht einmal kompensieren!

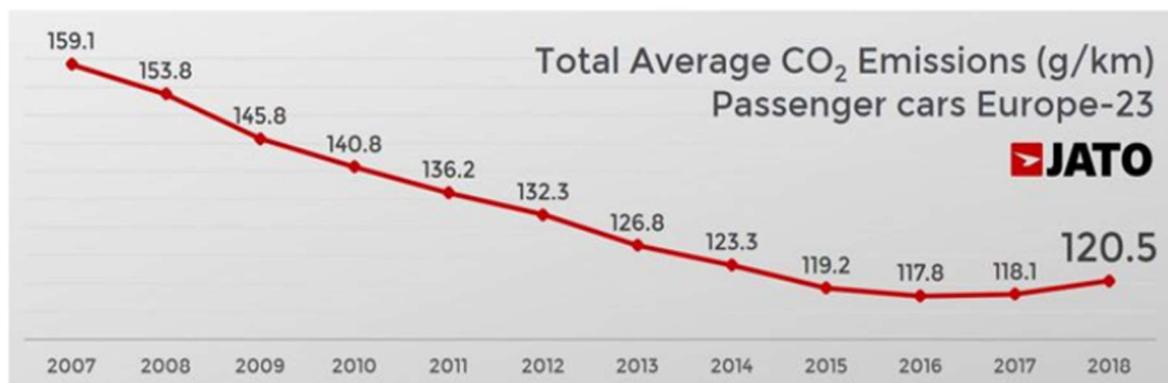


Bild 10: Wiederanstieg der CO₂-Emissionen der Pkw-Flotten innerhalb der Europäischen Union nach [5]

Vom Bohrloch zur Tankstelle - die sogenannten "Vorketten"!

Zum Ende des heutigen Blogs möchte ich noch auf eine Behauptung des eingangs zitierten Leserbriefs zurückkommen: "... unter Einbeziehung des höheren Energiebedarfs bei der Herstellung eines Dieselliters ist der Diesel nicht sparsamer".

Informationsbedürfnis und Fragen über den Energiebedarf und damit auch die CO₂-Emissionen bei der Förderung/Produktion und Lieferung von Kraftstoffen tauchen immer wieder auf. Insbesondere auch in Vergleichen zwischen konventionellen Antrieben und bspw. e-Fahrzeugen.

Dieses Informationsdefizit ist für mich nicht ganz nach vollziehbar, da es an öffentlich zugänglichen Daten m.E. nicht mangelt. Exemplarisch habe zu diesem Thema drei unterschiedliche Quellen herangezogen, die im Detail in [6], [7] und [8] beschrieben sind.

Vorkette nach JRC (Joint Research Centre der EU), siehe [8]		
	Diesel	Benzin
	[g CO ₂ /MJ]	[g CO ₂ /MJ]
Förderung	4,3	4,3
Transport	0,8	0,8
Raffinerie	8,6	7
Verteilung Tankstelle	1	1
Summe	14,7	13,1
	[g CO ₂ /Liter]	[g CO ₂ /Liter]
CO ₂ gesamt	526	401
Vorkette nach Auke Hoekstra (Techn. Universität Eindhoven), siehe [7]		
	Diesel	Benzin
	[g CO ₂ /MJ]	[g CO ₂ /MJ]
Förderung bis Raffinerie	10,3	10,3
Raffinerie	5,4	10,2
Verteilung Tankstelle	1	1
Summe	16,7	21,5
	[g CO ₂ /Liter]	[g CO ₂ /Liter]
CO ₂ gesamt	598	658
Vorkette nach DIN EN 16258, siehe [6]		
	Diesel	Benzin
	[g CO ₂ /Liter]	[g CO ₂ /Liter]
CO ₂ gesamt	660	460

Bild 11: CO₂ Emissionen (Well-to-Tank) für Benzin und Diesel nach verschiedenen Quellen, siehe [6], [7], [8].

Die bereits oben erwähnten CO₂ Emissionen für 1 Liter Benzin bzw. Diesel von 2,3 bzw. 2,6 kg CO₂ erhöhen sich damit bei einer Well-to-Wheel Betrachtung um 526 g bis 660 g (Diesel) bzw. um 401 g bis 658 g (Benzin).

Dies entspricht einer Erhöhung des bei der eigentlichen Verbrennung im Motor entstehenden CO₂ - je nach Datenquelle - um 20 bis 25 % (Diesel) bzw. 17 bis 28 % (Benzin). Von einem generell höheren Energiebedarf resp. höherer CO₂-Emission in der Vorkette des Dieselmotors kann also nicht die Rede sein.

Der Verbrauchsvorteil des Dieselmotors bleibt somit auch nach einer WTW Betrachtung nahezu unverändert erhalten.

Quellen:

[1] F. Schäfer, R. van Basshuysen, *Handbuch des Verbrennungsmotors*, 8. Auflage, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-10901-1

[2] R. Pischinger et al. *Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine*, Springer Verlag Wien, ISBN 978-3-7091-3827-4

[3] <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Der-klimafreundliche-Diesel-ist-ein-Mythos-article19857613.html>, letzter Zugriff am 27.2.2020

[4] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/sieben-fragen-antworten-diesel>, letzter Zugriff am 10.3.2020

[5] <https://dieselnet.com/news/2019/03jato.php>, letzter Zugang am 24.2.2020

[6] Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258,
[https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/8F102DF8C3E4A2F141257BB7007779CB/\\$file/DSLVL-Leitfaden%20Berechnung%20von%20THG-Emissionen%20Stand%2003-2013.pdf](https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/8F102DF8C3E4A2F141257BB7007779CB/$file/DSLVL-Leitfaden%20Berechnung%20von%20THG-Emissionen%20Stand%2003-2013.pdf), letzter Zugang am 10.3.2020

[7] <https://innovationorigins.com/de/die-herstellung-von-benzin-und-diesel-verursacht-mehr-co2-emissionen-als-wir-dachten/>, letzter Zugang am 24.2.2020

[8] <https://emobly.com/de/wissen/noch-mehr-ehrlichkeit-bei-der-oekobilanz-diskussion/>, letzter Zugriff am 10.03.2020