

„Die Lieferkette für Verbrennungsfahrzeuge ist einfach so schmutzig, ...“ – Ergebnisse einer neuen Vergleichsstudie der Yale University

Große mediale Aufregung gab es um die Ergebnisse einer Studie der amerikanischen Yale University zur CO₂-Emission verschiedener Antriebsformen, die im Dezember 2021 in der Fachzeitschrift „Nature Communications“ erschien, (Wolfram et al., 2021). Die bekannten einschlägigen Internet-Portale der e-Mobilität wie ecomento, edison, mobility.talk, elektroauto-news u.a. übertrafen sich in Lobeshymnen, siehe exemplarisch Bild 1, blieben der Leserschaft aber in bedauerlicher, aber bekannter Weise verwertbare Resultate oder gar eine Einordnung derselben wieder einmal schuldig:

„Laut der Studie schneidet das batterieelektrische Auto auch bei den indirekten Emissionen besser ab als Fahrzeuge, die mit fossilen Kraftstoffen betrieben werden“, (mobility.talk, 2022).

„[...] kommt zu dem Schluss, dass die gesamten indirekten Emissionen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu den indirekten Emissionen von mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeugen viel geringer sind“, (ecomento, 2021)

E-Autos wegen der Produktion dreckiger als Verbrenner? Forscher fällen Urteil

von Tobias Stahl am 03.02.2022



Eine aktuelle Yale Studie zeigt: Auch bei Berücksichtigung der gesamten Lieferkette sind E-Autos sauberer – Andrew Roberts/Unsplash.com als Verbrenner - und zwar deutlich.

E-Auto-Kritiker bemängeln immer wieder den CO₂-Fußabdruck von E-Autos - insbesondere der Akkuherstellung. Erst nach hunderttausenden von Kilometern könne ein E-Auto diesen Nachteil ausgleichen - wenn überhaupt. Eine neue Studie von Wissenschaftlern der renommierten Yale University bezieht für den Vergleich von E-Auto und Verbrenner alle Aspekte der Kraftstoff-Produktion mit ein und macht Schluss mit dem Todschlagargument.

Bild 1: EFAHRER.com berichtet über eine „neue Studie von Wissenschaftlern der renommierten Yale University“, (Stahl, 2022)

„[...] zeigt die Studie, dass „der Elefant im Raum die Lieferkette von Fahrzeugen mit fossilen Brennstoffen ist, nicht die von Elektroautos“, (elektroauto-news, 2022)

„Zwar sei die Lieferkette von E-Autos, einschließlich des Abbaus und der Verarbeitung von Rohstoffen und der Herstellung von Batterien, alles andere als sauber. Zu berücksichtigen sei aber auch die CO₂-Erzeugung beim Fördern von Rohöl und dessen Umwandlung in Benzin und Diesel für Verbrennerfahrzeuge“, (autobild, 2022)

„Überraschend sei aber, „dass auch die Emissionen, die nicht am Auspuff entstehen, niedriger sind“, [...], „Das lässt die aktuelle öffentliche Debatte über „schmutzige“ Akkus und Elektrizität in einem anderen Licht erscheinen.“, (Pluta, 2021)

„So machten laut der Studie die indirekten Emissionen von Verbrennerfahrzeugen mehr als ein Viertel des gesamten CO₂-Fußabdrucks des Fahrzeugs aus. Das liegt vor allem daran, dass bei der Weiterverarbeitung von Erdöl zu Kraftstoffen sehr viel CO₂ freigesetzt wird.“, (Stahl, 2022).

Der in den genannten deutschen Medien von allen am meisten zitierte Passus aus der Pressemitteilung der Yale School of Environment (YSE, 2021) lautet aber:

„Das Überraschende war, dass die Emissionen von Elektrofahrzeugen um ein Vielfaches niedriger waren“, sagt Postdoktorandin Stephanie Weber. **„Die Lieferkette für Verbrennungsfahrzeuge ist einfach so schmutzig, dass Elektrofahrzeuge sie nicht übertreffen können, selbst wenn Sie die indirekten Emissionen einbeziehen.“**, (YSE, 2021)

„Indirekte“ und „direkte“ Emissionen: die Ergebnisse der Yale-Studie im Überblick

Aus der dürftigen Berichterstattung der deutschen Presse lassen sich so gut wie keine Informationen ableiten, worin eigentlich der Neuigkeitswert dieser Studie besteht und wie sich die Studienresultate von den bekannten europäischen Studien unterscheiden.

Im Folgenden werden daher die CO₂-Kennwerte der Studie für Fahrzeugproduktion, Bereitstellung von Kraftstoffen etc. analysiert und eingeordnet. Dies erfolgt zudem nur im Vergleich zwischen Verbrennerfahrzeug und BEV. Hybride und Brennstoffzelle werden in vorliegendem Aufsatz nicht betrachtet, ebenso wie ökonomischen Erkenntnisse und Ableitungen der Studie.

Die Yale University YSE führte diese Untersuchung im Auftrag der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA durch. Bei den verbrennungsmotorischen Antrieben werden ausschließlich Benzinmotoren betrachtet. Die Zahlen für den Strommix und dessen zukünftige Entwicklung gelten für die USA.

Eine Sichtung der Datenbasis der Yale-Studie erweist sich als etwas schwierig und ist ohne die Anlagen dieser Studie unmöglich. Bild 2 verdeutlicht im ersten Schritt Auszüge aus der Yale-Studie für die Bilanzjahre 2020, 2025, 2030 und 2035. Die dargestellten CO₂-Emissionen in g/km wurden direkt den Anlagen der Studie entnommen und nicht umgerechnet.

Die Summe der CO₂-Emissionen resultiert aus den 4(!) Teilbeiträgen der Fahrzeugproduktion inkl. Recycling-Annahmen, der Bereitstellung des Fahrstroms, der Bereitstellung von Benzin

sowie der Verbrennung von Benzin. **Insofern unterscheidet sich die Yale-Studie von der Methodik nicht von bislang publizierten Vergleichsstudien.**

Jahr	alle Werte in g/km							
	2020		2025		2030		2035	
	ICE	BEV-200	ICE	BEV-200	ICE	BEV-200	ICE	BEV-200
Fzg. Produktion	11	19	9	14	7	12	7	11
Erzeugung Fahrstrom		66		37		28		17
Herstellung Benzin	43		36		36		36	
Benziner Tailpipe	156		130		131		132	
Summe	210	85	175	51	174	39	175	27

Bild 2: Ausgewählte Ergebnisse für „direkte“ und „indirekte“ Teil-Emissionen aus der Studie der Yale University, ICE = Internal Combustion Engine, BEV = Battery Electrical Vehicle, „-200“ = Reichweite in mls, (eigene Darstellung)

Für das Bilanzjahr 2020 bspw. werden folgende Randbedingungen angenommen:

- Strommix USA: 392 g/kWh CO2
- Verbrauch BEV: 16,8 kWh/100km
- Verbrauch ICE Benzin: 61,4 kWh/100km (Anm. d. Verf.: 7,2 l/100km)
- Verbrennung Benzin je Liter: 254 g/kWh CO2 (Anm. d. Verf.: 2,159 kg/l CO2)
- Herstellung Benzin je Liter: 70 g/kWh CO2 (Anm. d. Verf.: 595 g/l CO2)

Den kleinsten Beitrag liefern die bei der Produktion der jeweiligen Fahrzeuge entstandenen CO2-Emissionen, Bild 2, oben. Die größeren Anteile entfallen auch im Verlauf der Jahre auf das Elektroauto aufgrund der CO2-intensiven Herstellung der Traktionsbatterie sowie des Basisfahrzeugs. Dies ist jetzt keine Neuigkeit und auch bei früheren Vergleichsstudien der Fall, siehe exemplarisch Bild 3.

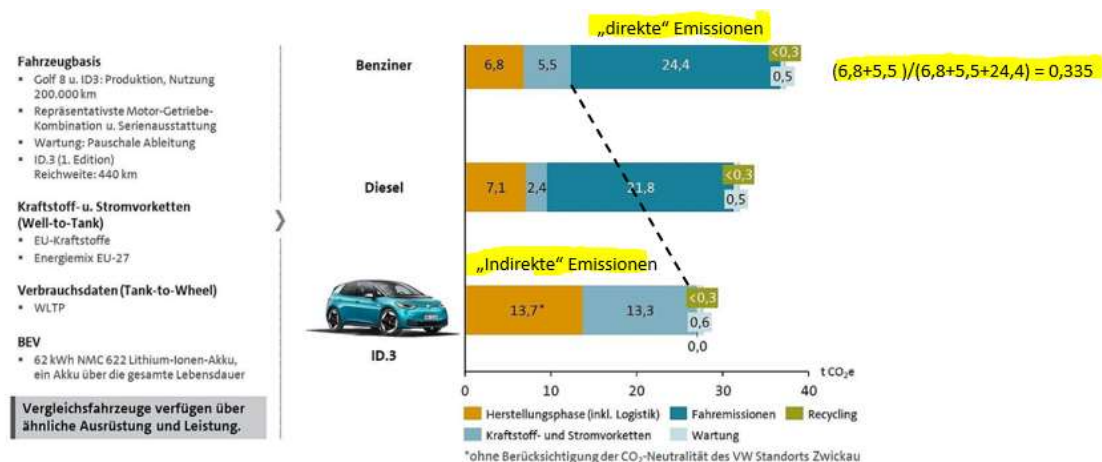


Bild 3: Life Cycle Assessment von VW Volkswagen für Golf 8 Diesel, Golf 8 Benzin und ID.3, (Gernuks, 2020)

Die CO₂-Emissionen aus der Erzeugung des Fahrstroms für das Elektroauto werden berechnet als Produkt des Verbrauchs in kWh/100km und des CO₂-Emissionsfaktors aus dem Strommix für das jeweilige Jahr. Details zu den länderspezifischen CO₂-Emissionen der Stromproduktion findet man in einem eigenen Kapitel weiter unten.

Analog werden die km-bezogenen CO₂-Emissionen aus der Benzinverbrennung als Produkt aus dem Kraftstoffverbrauch und einer Konstanten ausgewiesen, die sich aus dem Kohlenstoffgehalt des Benzins ergibt.

Für die Herstellung und Bereitstellung des Benzins schließlich kalkulieren die Studienautoren mit einem konstant bleibenden Wert von 70 g/kWh CO₂. Auch diesem Thema ist weiter unten ein eigenes Kapitel gewidmet.

Die Studie aus Yale teilt die genannten 4 Teilbeträge in „direkte“ und „indirekte“ CO₂-Emissionen ein. Nur die Tailpipe-Emissionen des Benziners werden dabei als „direkte“ Emissionen definiert, siehe Bild 3. Diese Annahme weicht ab von der Methodik bekannter Studien ab, die die „Vorkette“ fossiler Kraftstoffe sowie auch die Stromerzeugung für das BEV der sogenannten „Nutzungsphase“ zuordnen, siehe exemplarisch Bild 4.

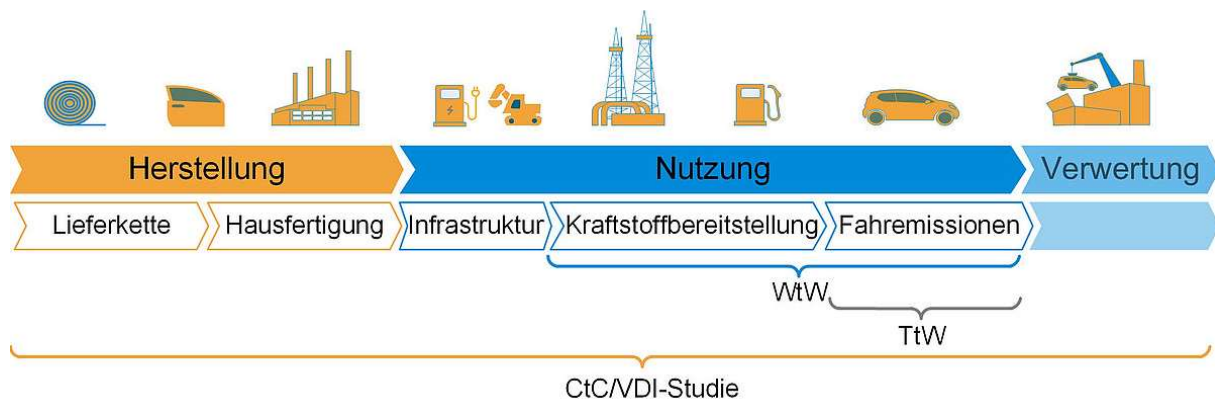


Bild 4: Umfang und Phasen eines Life-Cycle-Assessment LCA, (Maus, 2020).

Das online Portal „Forschung und Wissen“ fasst diese Vorgehensweise so zusammen: „[...] sind auch die indirekten Emissionen der Verbrenner signifikant höher als bei Elektroautos.“ In einem ähnlichem Stil äußern sich die Portale „ecomento und „mobilit.talk“, siehe oben. Addiert man indessen die betroffenen Positionen in Bild 2, ergibt sich ein anderes Bild. Erst ab 2030 übersteigen die „indirekten“ Emissionen des ICE diejenigen des BEV, und dies auch nicht signifikant. Für das Jahr 2030 bspw. ergibt die Rechnung 43 g/km für den Benziners und 40 g/km für das BEV. Voraussetzung für diese 40 g/km wäre allerdings, dass sich der CO₂-Emissionsfaktor des US-Strommix von 2020 nach 2030 mehr als halbiert.

„Forschung und Wissen“ folgert weiter: „An den Gesamtemissionen haben sie (Anm. d. Verf.: die „indirekten Emissionen“) bei Autos mit Benzin- und Dieselantrieb einen Anteil von mehr als einem Viertel, weil bei der Produktion der Kraftstoffe viel CO₂ emittiert wird“, (Klatt, 2022). Auch diese Information ist aus früheren Untersuchungen bekannt. Bild 3 verdeutlicht, dass bspw. beim Golf 8 Benzin die „indirekten Emissionen“ gar mit 33% an den gesamten CO₂-Emissionen dieses Modells beteiligt sind. Wie schon oben erwähnt, werden die CO₂-Emissionen der Kraftstoff-Herstellung weiter unten im Detail diskutiert.

Die Annahmen zur Entwicklung des Strommix

Der sogenannte „Strommix“ zur Berechnung des BEV Fahrstroms stellt hinsichtlich seiner Aktualität und zukünftigen Entwicklung eine sehr wichtige Annahme dar, die bei der Interpretation und Vergleich von Studien unbedingt zu berücksichtigen ist. Einen Überblick der Annahmen verschiedener Studien zum Strommix gibt Bild 5.

Innerhalb der Europäischen Union gibt es erhebliche Differenzen im Strommix der Mitgliedländer. So zeigt der Weltenenergierrat bspw. für Frankreich einen Emissionsfaktor von 55 g/kWh CO₂ auf (2020), während in Griechenland im gleichen Zeitraum 522 g/kWh, also fast der 10-fache Wert (!), anzusetzen ist.

Einige Vergleichsstudien weisen die daraus resultierenden CO₂-Emissionen aus. So zeigt bspw. eine LCA der Volkswagen AG für den e-Golf während der Nutzungsphase (Stand 2017) eine streckenbezogene CO₂ Emission von 62 g/km für die EU, 85 g/km für Deutschland und USA sowie 126 g/km für China, (Volkswagen, 2019, Seite18). Im hier betrachteten Fall nehmen die Studienautoren an, dass sich der CO₂-Emissionsfaktor in den USA von 2020 mit 392 g/km bis zum Jahr 2030 mehr als halbiert, Bild 5 unten. Dadurch sinken die streckenbezogene CO₂-Emission des BEV der Yale-Studie von 66 g/km (2020) auf 28 g/km im Jahre 2030, Bild 2.




Land	Forschungsinstitut/Hochschule/....	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh CO ₂ e]					Quelle	Anmerkung	
		2018	2019	Bezugsjahr					
				2020	2030	2040	2050		
	"IFO-Studie", "Sinn-Studie"	550						(Buchal, Karl & Sinn, 2019)	inkl. Vorketten + Netzverluste
	Fraunhofer ISI Karlsruhe			500	347			(Wietschel et al., 2019a)	inkl. Vorketten + Netzverluste
	ADAC		590		435		285	(Kroher, 2019)	inkl. Netzverluste
	Joanneum Research Graz		415		435		285	(Jungmeier, 2019)	inkl. Netzverluste
	Umweltbundesamt UBA	471	408*	366**				(Icha, 2020)	ohne Vorkette + Netzverluste
	Transport&Environment T&E			428				(Mathieu, 2020)	Vorkette?, Netzverluste?
	Fraunhofer ISI Karlsruhe	490			190	77		(Wietschel et al., 2019b)	ohne Vorkette + Netzverluste
	Fraunhofer ISI Karlsruhe				222	112		(Wietschel et al., 2019b)	inkl. Netzverlust + Vorkette
	TU Eindhoven			250	250	250		(Hoekstra & Steinbuch, 2020)	inkl. Vorketten + Netzverluste
	Transport&Environment T&E			319	168	84		(Mathieu, 2020)	Vorkette?, Netzverluste?
	TU Eindhoven		260			117		(Hoekstra & Steinbuch, 2020)	ohne Netzverlust/Vorkette
	European Environmental Agency		275		97			(EEA, 2020)	ohne Netzverlust/Vorkette
	Weltenergierrat			226				(Weltenergierrat, 2022)	Vorkette?, Netzverluste?
	Yale University	427	415	392	181	82	45	(Wolfram et al., 2021)	Vorkette?, Netzverluste?
				* vorläufiger Wert					
				** Schätzung					

Bild 5: Szenarien für den Strommix in Deutschland, Europäische Union (EU-27) und USA

Zur „Vorkette“ von Benzin

Mehrere Presseberichte betonen weiterhin die Berücksichtigung der „[...] CO₂-Erzeugung beim Fördern von Rohöl und dessen Umwandlung in Benzin und Diesel für Verbrennerfahrzeuge“, siehe bspw. (autobild, 2022). Aber auch dieser Anspruch stellt jetzt kein Novum dar und wird in allen aktuellen Vergleichsuntersuchungen der letzten Jahre berücksichtigt.

Die Studienautoren der Yale University nehmen einen CO₂-Beitrag zur Herstellung von Benzin von 70 g/kWh oder umgerechnet ca. 595 g/l an. Die Einordnung dieser Annahme geht aus Bild 6 hervor. Daraus resultiert eine totale CO₂-Emission (=Vorkette+Tailpipe) für den ICE

Benziner von 2,754 kg/l. Die gerade erschienene Vergleichsstudie der Bundeswehr Universität München arbeitet bspw. mit 2,83 kg/l, (Buberger et al., 2022).

Gesamte Vorkette für Benzin	
Quelle	[g CO₂/Liter]
JEC EU	401
A. Hoekstra, TU Eindhoven	658
DIN EN 16258 für E10	540
DIN EN 16258	460
GEMIS 4.4	495
GEMIS 4.95	514
Yale University	595
Bundeswehr Universität München	500

Bild 6: Vorketten-Emissionen für Benzin nach verschiedenen Quellen (eigene Darstellung)

Fazit

Zumindest aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht stellt die Yale-Studie kein Novum dar. Die darin aufgeführten CO₂-Bildungspfade sind bekannt und die resultierenden Werte vergleichbar mit anderen Vergleichsstudien.

Literaturverzeichnis

Autobild (2022). *Wie umweltfreundlich sind E-Autos wirklich im Vergleich zu Verbrennern?*. Abgerufen am 07. Februar 2022, von <https://www.autobild.de/artikel/e-auto-umwelt-co2-bilanz-ausstoss-rucksack-batterieherstellung-3729677.html>

Buberger, J., Kersten, A., Kuderle, M., Eckerle, R., Weyh, T., Thiringer, T. (2022). *Total CO₂-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars*. Universität der Bundeswehr München. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112158>

Ecomento (2021). *US-Studie: Elektroautos sind umweltfreundlicher als Verbrenner*. Abgerufen am 07. Februar 2022, von <https://ecomento.de/2021/12/30/elektroautos-sind-umweltfreundlicher-als-verbrenner-us-studie/>

Elektroauto-news (2022). *US-Studie sieht Klimavorsprung von E-Autos auch in der Vorkette*. Abgerufen am 07. Februar 2022, von <https://www.elektroauto-news.net/2022/us-studie-sieht-klimavorsprung-von-e-autos-auch-in-der-vorkette>

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>

Klatt, R. (2022). *Klimafreundlichkeit von Elektroautos belegt*. Forschung und Wissen, 1. Januar 2022. Abgerufen am 11.02.22, von <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/umwelt/klimafreundlichkeit-von-elektroautos-belegt-13375687>

Maus, W. (2020). *Life-Cycle-Assessment und Mobilität*. VDI vom 22.10.2020, Abgerufen von <https://www.vdi.de/news/detail/life-cycle-assessment-und-mobilitaet>

Mobility.Talk (2022). *Yale-Studie bescheinigt Stromern bessere CO₂-Bilanz*. Abgerufen am 07. Februar 2022, von <https://mobility-talk.com/bessere-co2-bilanz-fuer-stromer/>

Pluta, W. (2021). *US-Studie: Elektroautos sind ökologischer als Verbrenner*. Edison Media vom 30.12.2021. Abgerufen am 7. Februar 2022, von <https://edison.media/umwelt/us-studie-elektroautos-sind-umweltfreundlich/25223467/>

Stahl, T. (2022). *E-Autos wegen der Produktion dreckiger als Verbrenner? Forscher fällen Urteil*. EFAHRER.com am 3.2.2022. Abgerufen am 7. Februar 2022, von https://efahrer.chip.de/news/e-autos-wegen-der-produktion-dreckiger-als-verbrenner-forscher-faellen-urteil_106792

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

Wolfram, P., Weber, S., Gillingham, K., Hertwich, E.G. (2021). *Pricing indirect emissions accelerates low-carbon transition of US light vehicle sector*. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27247-y>

Yale (2021). *YSE Study Finds Electric Vehicles Provide Lower Carbon Emissions Through Additional Channels*. Yale School of the Environment, New Haven, USA, 9.12.2021. Abgerufen am 7. Februar 2022, von <https://environment.yale.edu/news/article/yse-study-finds-electric-vehicles-provide-lower-carbon-emissions-through-additional>