

Stellungnahme zum

DISKUSSIONSPAPIER zur sog. Metastudie „Factsheet: E-Fuels und ihre Grenzen – keine Alternative zum Verbrenner-Aus“ vom Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) vom 07.02.2025

Kommentar von Dr. Ulrich Kramer, Studienleiter FVV Kraftstoffstudien III, IV und IVb¹

Das Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) hat im Auftrag der Klima-Allianz Deutschland am 7. Februar das Papier „E-Fuels und ihre Grenzen – keine Alternative zum Verbrenner-Aus“ vorgelegt.

Diese neunseitige sogenannte „Metastudie“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, kommt zu dem Ergebnis, dass E-Fuels nur für den Luft- oder Schiffsverkehr relevant sind, nicht jedoch für den PKW-Verkehr. Dabei wird in der sog. „Studie“ Technologieoffenheit bewusst ignoriert und ausschließlich die beschleunigte Elektrifizierung von PKWs und die Verlagerung von Verkehr als einzig verfügbare Lösung zu Bekämpfung des Klimawandels favorisiert. Aufgrund der fahrlässig unwissenschaftlichen Methodik der Studie sind deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen, die nachfolgend aufgeführt sind, als grundlegend falsch und irreführend zu bewerten. Angeblich sind sind E-Fuels für den Pkw-Verkehr keine Lösung, da

1. sie nur in geringen Mengen verfügbar wären.
2. sie zu spät kämen (selbst in optimistischen Szenarien sollten sie lediglich für einen kleinen Restbestand an Verbrenner-Pkw reichen).
3. sie sehr teuer wären und daher im Pkw gar nicht oder kaum zum Einsatz kämen, weil es hier andere und kostengünstigere Alternativen gäbe, wobei die Kosten für E-Autos tendenziell weiter sinken würden, während die Kosten für Verbrenner (insbesondere mit E-Fuels) tendenziell weiter stiegen. Ein Festhalten am Verbrenner wäre daher vor allem für Kunden kostspielig sowie für Wirtschaft und Gesellschaft teurer.
4. deren Einführung Steuerausfälle in hohem zweistelligen Milliardenbereich bis 2050 bedeuten und ein weiteres Loch in die zukünftige Verkehrsfinanzierung reißen würde.
5. ihr hoher Energiebedarf (geringe Effizienz) und ihr hoher Ressourcenbedarf (insbesondere Flächenverbrauch) schlecht für die Umwelt wären.
6. sie umwelt- und gesundheitsschädlich seien, da sie bei anderen Emissionen [als dem Treibhausgas CO₂] wie Luftschadstoffen im Gegensatz zum E-Auto keinen Beitrag zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit leisten würden, da sie als chemisches Äquivalent zu fossilen Kraftstoffen weiterhin Abgasemissionen verursachten.

Die fehlerhaften Annahmen, die zu diesen grundlegend falschen und irreführenden Schlussfolgerungen führen sind im Wesentlichen:

1. **Unrealistische Annahme des E-Fuel Produktionspotenzials.**

FÖS nimmt ein globales E-Fuel-Produktionspotential von 54.800 TWh/Jahr an. Laut PtX-Atlas des Fraunhofer-Instituts IEE² beträgt das Potential ausschließlich in den von Fraunhofer ausgewiesenen, ökonomisch besonders attraktiven Vorzugsregionen bereits bis zu 87.000 TWh/Jahr. Etwa die Hälfte des Produktionspotenzials liegt dabei in Staaten mit großer

¹ FVV-Kraftstoffstudien (FVV KS) III, IV und IVb: Download unter <https://www.fvv-net.de/science/wie-wir-die-gruene-transformation-beschleunigen> (Literaturquellen bzw. Berechnungswege für sämtliche Daten können den Studien entnommen werden, wenn nicht andere genannt werden)

² <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>

Flächenverfügbarkeit wie den USA, Australien und Argentinien. Zusätzlich besteht weiteres signifikantes Produktionspotenzial weit über die von Fraunhofer angeführten Vorzugsregionen hinaus, welches in den 87.000 TWh noch gar nicht enthalten ist, und zwar in insbesondere auch in attraktiven Regionen innerhalb Europas (wie z.B. Spanien, Italien, Griechenland, Dänemark, Schweden, etc.). Angesichts des weltweiten Energiepotenzials an Sonneneinstrahlung, nämlich etwa 1,1 Milliarden TWh/Jahr (das entspricht etwa 5000-mal der Weltenergiebedarf)³ ist das zusätzlich gewinnbare Potenzial als gigantisch einzuschätzen.

Zum Vergleich: Der weltweite Primärenergiebedarf beträgt etwa 165.000 TWh/Jahr⁴, davon werden ca. 32 % (53.000 TWh/Jahr) im weltweiten Verkehr verbraucht und davon wiederum 74 % (39.000 TWh/Jahr) im weltweiten Straßenverkehr⁵. Sowohl das fälschlich von FÖS behauptete globale Produktionspotential von E-Fuels (54.800 TWh/Jahr) als auch der konservativ auf Basis des Fraunhofer PtX-Atlas ermittelte Wert ausschließlich für ökonomisch besonders attraktive Vorzugsregionen (87.000 TWh/Jahr) liegen weit über dem aktuellen globalen Jahresbedarf für Kraftstoffe im gesamten Verkehrssektor (53.000 TWh/Jahr) bzw. Straßenverkehr (87.000 TWh/Jahr). Weiterhin ist langfristig aufgrund stärkerer Elektrifizierung (z.B. Wärmepumpen, batterieelektrische Fahrzeuge – wenn auch bei weitem nicht in der Durchdringung wie von FÖS angenommen) tendenziell ein niedrigerer Bedarf an Flüssigkraftstoffen zu erwarten. Beispielsweise schätzt Frontier Economics⁶ in einer Studie für den Weltenergieerät Deutschland, dass der weltweite Bedarf nach E-Fuels langfristig überschlägig 10.000-41.000 TWh/Jahr betragen könnte.

Fazit: E-Fuels sind keinesfalls nur in geringen Mengen verfügbar. Ihr Potenzial übertrifft den weltweiten Energiebedarf bei weitem.

2. **Annahme eines unrealistisch langsamen Hochlaufs von E-Fuel-Erzeugungskapazitäten** bei Schaffung angemessener gesetzlicher Rahmenbedingungen, die E-Fuels nicht verhindern, sondern gleichwertig zur E-Mobilität fördern (z.B. Anrechnung von E-Fuels auf den Tank-to-Wheel-CO₂-Ausstoß von Kraftfahrzeugen).

Hier unterstellt FÖS eine Manifestierung der derzeit unausgeglichene und E-Fuel-feindlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen. Indes könnten E-Fuels unter idealen gesetzlichen Rahmenbedingungen fossile Kraftstoffe bis etwa 2040⁷ (2037 ... 2043)⁸ europaweit vollständig ersetzen und können damit deutlich schneller zur Defossilisierung des Verkehrssektors beitragen, als es die reine Elektrifizierung des Verkehrs auch nur im Entferntesten ermöglichen kann.

Neben der signifikanten Unterschätzung der möglichen Einführungsgeschwindigkeit von E-Fuels, überschätzt FÖS nämlich die Marktdurchdringungsgeschwindigkeit von E-Fahrzeugen

³ Volker Quaschnig: Regenerative Energiesysteme, Hanser, 9. aktualisierte und erweiterte Auflage, 2015, ISBN 978-3-446-44267-2, S. 34, 36

⁴ BP Statistical Review of World Energy 2022; [Statistical Review of World Energy 2022](#)

⁵ Renewable Energy in Perspective – 2022; [GSR2022 Key Messages.pdf](#)

⁶ International Aspects of a Power-to-X Roadmap, Frontier Economics (2018); [20181018 frontier_wec_germany_ptxroadmap_executive-summary-english.pdf](#)

⁷ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

⁸ Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr, Frontier Economics (2024); [FINAL - Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr - Druck_18102024.pdf](#)

maßlos⁹ und macht sich darüber hinaus keinerlei Gedanken über den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur zur Bereitstellung von „grünem Strom“ für -E-Fahrzeuge (ein E-Fahrzeug mit Kohlestrom betrieben trägt nämlich keinesfalls zur Reduktion der Klimaerwärmung bei).

Selbst unter idealen regulativen Rahmenbedingungen würden wir bei theoretisch schnellstmöglicher, alleiniger Umstellung auf Elektromobilität, selbst im Jahr 2050 maximal 75 % der Fahrzeuge mit nachhaltiger, grüner Energie versorgen können.¹⁰ Einer der Hauptgründe ist der erforderliche und nur sehr langsam mögliche zusätzliche Stromnetzausbau. Für den Ausbau „grüner“ E-Mobilität ist nämlich ein signifikanter Ausbau des Strom-Übertragungsnetzes erforderlich. Zwar gibt es ein bestehendes Übertragungsnetz, doch ist der Anstieg der Stromnachfrage allein durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors so groß, dass dessen Kapazität überschritten wird. Basierend auf ENTSOE-Daten¹¹ kann man davon ausgehen, dass 20 % des erforderlichen Übertragungsnetzbedarfs durch freie Kapazitäten des bestehenden Übertragungsnetzes gedeckt werden können, während 80 % der erforderlichen Transportkapazitäten neu gebaut werden müssen¹². Der Ausbau des Stromnetzes funktioniert dabei wesentlich langsamer als allgemein angenommen. Zur realistischen Einschätzung der machbaren Ausbaurate hilft ein Blick in den ENTSO-E Netzausbauplan¹³. Dort wird der Ausbau von Netzkapazitäten für 10 Jahre geplant und nach 10 Jahren wird nachgesehen, was wirklich erreicht wurde. Auf Seite 30 heißt es für den Planungshorizont 2020-2030: „Insgesamt umfasst das TYNDP 2020-Portfolio mehr als 46.000 km an potenziellen zusätzlichen Kabeln und Leitungen“. Auf Seite 34 heißt es zum historischen Zubau 2010 bis 2020: „Die im Rahmen des Pilot-TYNDP 2010 bewerteten Investitionen betrafen mehr als 42.000 km Leitungen, von denen inzwischen fast 10.000 km in Betrieb genommen wurden.“ Zwischen 2010 und 2020 wurde also nur jeder vierte geplante Kilometer tatsächlich auch fertiggestellt, grob gerechnet also ca. 1.000 km/Jahr und diese beziehen sich nur auf den Stromnetzausbau in der Ebene. Für eine europäische Energiewende muss man Stromnetze durch oder über die Alpen legen, was den Aufwand und den Zeitbedarf für den Ausbau signifikant erhöht. Daher darf der durch die Elektrifizierung der Pkw-Flotte erforderliche zusätzliche Stromnetzausbau keinesfalls vernachlässigt werden. Dieser Ausbau kostet signifikant viel Zeit und Geld. Ein Umstand der von FÖS und den von FÖS herangezogenen Studien völlig ignoriert wird.

Dritte irriige Annahme von FÖS ist die Vernachlässigung von Stromspeichern zur Bereitstellung elektrischen Ladestroms während der Dunkelflauten, die in Deutschland bis zu 6 Wochen dauern können. Selbst bei einem voll ausgebauten europäischen Stromnetz, welches es auch 2050 bei weitem noch nicht geben wird, bräuchte man allein für den Straßenverkehr einen

⁹ Deutschland wird E-Auto-Ziel verfehlen, Automobilwoche (Ref. CAM) (2023); [CAM-Studie: Deutschland wird E-Auto-Ziel verfehlen | Automobilwoche.de](#)

¹⁰ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Stories/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

¹¹ ENTSO-E <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data/>

¹² FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

¹³ ENTSO-E Ten-Year Network Development Plan (TYNDP 2020, Final Version 08/2021) https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/TYNDP2020/FINAL/entso-e_TYNDP2020_Main_Report_2108.pdf

europäischen Puffer für mindestens 8 % der elektrischen Energie¹⁴. Auch dieser durch die Elektrifizierung der Pkw-Flotte erforderliche Aufbau von Stromspeichern kostet Zeit und Geld und wurde von FÖS nicht berücksichtigt.

Fazit: Bei Schaffung angemessener, technologieneutraler gesetzlicher Rahmenbedingungen, kommen E-Fuels keinesfalls zu spät. Ihre Produktionskapazitäten können deutlich schneller aufgebaut werden, als die Pkw-Flotte elektrifiziert und insbesondere mit Grünstrom versorgt werden kann.

3. **Annahme teurer E-Fuel-Kosten sowie sträfliche Vernachlässigung und Unterschätzung der Fahrzeugkosten.**

FÖS behauptet richtigerweise, dass aufgrund der sehr hohen Produktionskosten E-Fuels absehbar deutlich teurer als fossile Kraftstoffe sein werden, schlägt aber dann auf heutige E-Fuel-Kosten für fossile Kraftstoffe geltende Mineralölsteuer auf, kommt so auf über 3,50 Euro/Liter und vergleicht diese dann mit dem heutigen Benzinpreis von unter 2 Euro/Liter. Aus diesem völlig abstrusen Vergleich, wagt FÖS es, die falsche Schlussfolgerung abzuleiten, dass E-Fuels ökonomisch nicht konkurrenzfähig seien.

Zum einen ist der Energiekostenvergleich mit fossilem Benzin irreführend (da es dieses bis 2045 nicht mehr geben darf, wenn man die Klimaziele erreichen möchte). Richtig wäre der Energiekostenvergleich mit Grünstrom (und zwar von Grünstrom, der auch während Dunkelflauten zur Verfügung steht und der bereits über das Netz bis zum Endkunden verteilt ist). In Anlehnung an FVV Fuels Study IV¹⁵ ist Europäischer Grünstrom ist pro Energieeinheit mit 0,17 – 0,19 €/kWh (2030 ... 2050) um etwa 40 % teurer als in Vorzugsregionen (MENA) hergestellter Fischer-Tropsch-E-Kraftstoff (0,12 – 0,14 €/kWh, das sind 1,20 – 1,40 €/l Diesel Äquivalent) (2030 ... 2050). Die Größenordnung dieser E-Fuel-Kosten findet sich auch in der Meta-Studie von Frontier Economics (2024)¹⁶ wieder, die auch als Referenz im Literaturverzeichnis von FÖS angegeben ist. Demnach sind folgende E-Diesel-Kosten-Korridore erwartbar:

- a. 2020: 1,60 – 2,50 €/l
- b. 2030: 1,50 – 2,50 €/l
- c. 2040: 1,30 – 2,10 €/l
- d. 2050: 0,90 – 1,80 €/l

¹⁴ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

¹⁵ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

¹⁶ Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr, Frontier Economics (2024); [FINAL - Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr - Druck_18102024.pdf](#)

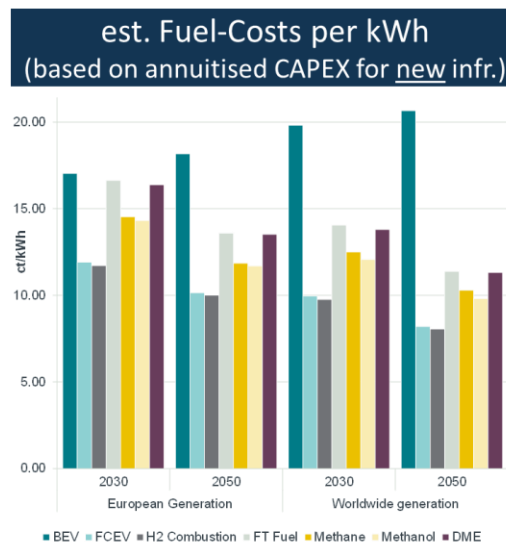


Abbildung 1: Kosten E-Fuels vs. Grünstrom (gepuffert für Dunkelflauten) für BEV pro kWh¹⁷

Zum anderen ist der reine Energiepreis natürlich nicht die richtige Vergleichsgröße für einen kundenrelevanten Kostenvergleich, sondern die Gesamtkosten, die der Kunde (bei ausgewogener steuerlicher Belastung der Technologien untereinander) zu tragen hat. Dabei ist einerseits zu berücksichtigen, dass ein Elektrofahrzeug natürlich einen besseren Wirkungsgrad hat als ein Verbrenner (wenn auch nicht in dem Maße, wie FÖS dies behauptet) und daher weniger Energie pro 100 km benötigt; zum anderen muss berücksichtigt werden, dass, die Energiekosten nur einen kleinen Teil der für den Kunden relevanten Mobilitätskosten ausmachen. Mobilitätskosten werden von den Fahrzeugkosten (Wertverlust) dominiert und nicht von den Energiekosten.

Entgegen den falschen Behauptungen von FÖS, sind die Fahrzeugkosten für ein batterieelektrisches Fahrzeug deutlich höher als für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor und werden es auch langfristig bleiben. FÖS behauptet zwar, dass bereits heute ist ein E-Auto der Kompaktklasse über eine Haltedauer von vier Jahren über 5.000 Euro günstiger als ein vergleichbarer Verbrenner mit fossilem Kraftstoff (nach ICCT 2023) sei und dieser Kostenvorteil sogar bis auf 10.000 Euro ansteigen wird (nach Fraunhofer ISI/ifeu 2022; Transport & Environment 2021a). Bei diesen Abgaben handelt es sich aber nicht um reine Fahrzeugkosten, sondern um einen Mix aus Fahrzeugkosten und Betriebskosten, welche wiederum unter unrealistisch günstigsten Annahmen und völlig unausgeglichene steuerlichen Belastungen abgeschätzt wurden. Die von FÖS angeführten Kostenvergleiche sind daher unglaubwürdig.

In Anlehnung an FVV Fuels Study IV¹⁸ fallen für E-Fahrzeuge gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, ohne die Berücksichtigung von Förderungen und Strafsteuern, signifikante Fahrzeugmehrkosten an, nämlich 19.100 € pro Fahrzeug in 2020 und 12.676 € pro Fahrzeug in 2030

¹⁷FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

¹⁸FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

(bereits unter der Annahme signifikanter Batteriekostensenkungen). Eine prognostizierte weitere deutliche Senkung der Fahrzeugkosten ist stark zu bezweifeln, da bei einem batterieelektrischen Fahrzeug etwa 40 % der Kosten Batteriekosten sind, welche wiederum von den Batterie-Zellkosten dominiert werden, die wiederum zu 80 % von Materialkosten bestimmt werden¹⁹. Materialkosten dürften langfristig bei Bedarfssteigerung eher steigen als fallen, da in hohem Maße neue Förderquellen erschlossen werden müssen.

Betrachtet man die gesamten Mobilitätskosten (s. Abbildung 2), so sind die Kosten für ein mit europäischem Grünstrom betriebenes Elektrofahrzeug (2030 ... 2050) mit 1,30 – 1,50 €/km höher als die von e-Fuel (in MENA hergestellt) betriebenen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (E-Methanol: 1,20 – 1,30 €/km; E-FT-Diesel/Benzin: 1,30 – 1,40 €/km).

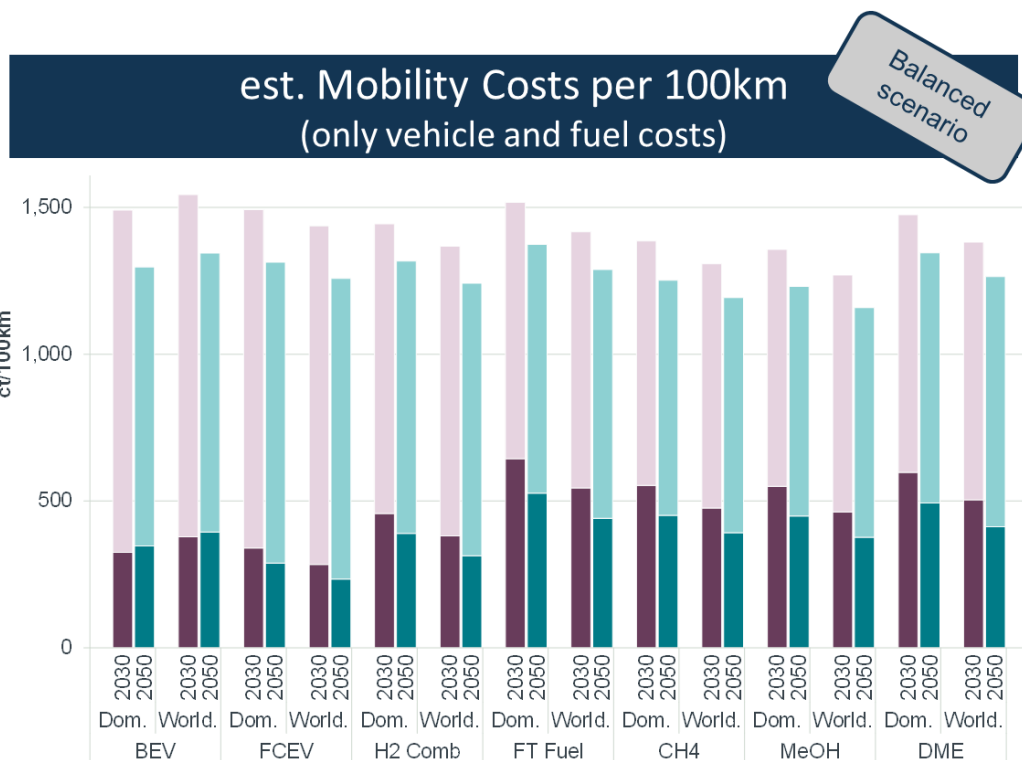


Abbildung 2: Mobilitätskosten BEV (Grünstrom) vs. E-Fuels²⁰

Ein Festhalten am Verbrenner ist also für Kunden keinesfalls kostspielig, solange der Gesetzgeber alle Technologien ausgewogen besteuert und darauf verzichtet, wahnwitzige Strafsteuern auf Verbrenner zu erheben und gleichzeitig Elektromobilität mit Milliardensummen aus Steuergeld zu fördern.

Für Wirtschaft und Gesellschaft sind E-Fuels, bzw. eine technologieoffene Regelung, die auch E-Fuels zulässt, definitiv der ökonomischste Weg zur Eindämmung der Klimaerwärmung, da bei dieser Betrachtung Steuern und Förderungen keine Rolle spielen. Wie aus Abbildung 3

¹⁹ Keynote „Das Powerhouse: Ein Ecosystem von Volkswagen“ - Dipl.-Kfm. Thomas Schmall, CEO Volkswagen Group Components, Volkswagen AG - 44th International Vienna Motor Symposium 26 - 28 April 2023

²⁰ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

hervorgeht, kann Europa durch die sofortige Einführung von E-Fuels bis 2050 etwa 1,5 Billionen € einsparen.

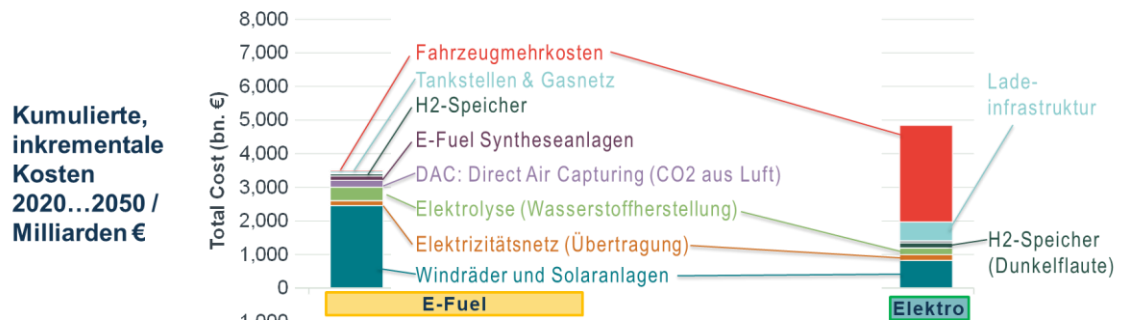


Abbildung 3: Kumulierte, inkrementale gesellschaftliche Kosten 2020 ... 2050: BEV (Grünstrom) vs. E-Fuel²¹

Fazit: E-Fuels sind zwar teurer als fossiler Kraftstoff, E-Fuel-Mobilität ist allerdings - auch beim Einsatz von E-Fuels im Pkw - sowohl aus Gesellschaftsicht als auch aus Kundensicht (bei ausgewogener, technologieneutraler Besteuerung und Förderung) deutlich günstiger als mit Grünstrom betriebene E-Fahrzeuge. Dies liegt insbesondere an den hohen E-Fahrzeugkosten, die (steuer- und förderungsbereinigt) weit oberhalb der Kosten eines Verbrenners liegen.

4. **Annahme, dass die Einführung von E-Fuels, ohne Mineralölsteuer auf diese zu erheben (gemäß dem Vorschlag von Frontier Economics) zu Steuerausfällen im hohen zweistelligen Milliardenbereich bis 2050 führe und ein weiteres Loch in die zukünftige Verkehrsfinanzierung reißen würde.**

Diese Aussage ist qualitativ richtig. Es wird aber von FÖS in keinem Wort erwähnt, dass das Gleiche für die Transformation zu elektrischer Mobilität gilt.

Die einfache Wahrheit ist: Wenn man bis 2045 THG-neutral werden möchte, darf man ab 2045 keinen fossilen Kraftstoff mehr verkaufen, so dass dann keine Mineralölsteuer mit dem Verkauf fossilen Kraftstoffes mehr eingenommen werden kann, unabhängig von der nachhaltigen Antriebsform, die die Nutzung fossiler Kraftstoffe ersetzt.

Auch auf grünen Strom zum Betrieb von Elektrofahrzeugen wird keine Mineralölsteuer erhoben. Das Steuer-Einnahme-Problem ist also unabhängig von der Fahrzeug- und Energieträgertechnologie zu lösen. Zum Anfang der Transformation zu THG-neutraler Mobilität könnten die fehlenden Steuereinnahmen aus der Mineralölsteuer durch Einnahmen aus einer ausreichend hohen CO2-Steuer, die (ausschließlich) auf die Exploration fossiler Energieträger (Öl, Erdgas, Kohle) erhoben wird, gegenfinanziert werden. Eine solche Steuer ist als alleiniges Instrument zur Transformationssteuerung völlig ausreichend. Weitere gesetzliche Vorgaben (z. B. Sektorenziele), insbesondere Technologieeinschränkungen, sind hochgradig kontraproduktiv und stören bzw. verhindern eine nachhaltige Transformation.

Fazit: Die Umstellung auf nachhaltige E-Fuels führt nicht zu höheren Mineralölsteuerausfällen als die Transformation zur Elektromobilität. In beiden Fällen ist eine Einnahmenkompensation

²¹ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

erforderlich, die z.B. durch Einnahmen aus einer ausreichend hohen CO₂-Steuer auf die Exploration fossiler Energieträger gegenfinanziert werden könnte.

5. Annahme, dass der hohe Energiebedarf (d.h. die geringe Effizienz) bei der E-Fuel-Herstellung und ihr hoher Ressourcenbedarf (von FÖS hervorgehoben der Flächenverbrauch) schlecht für die Umwelt wären.

Selbstverständlich ist nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik der Energiebedarf für den Betrieb von Fahrzeugen mit E-Fuels (in Verbrennungsmotoren) höher als der Energiebedarf von Elektrofahrzeugen. Die von FÖS genannten Verhältnisse sind jedoch falsch.

Es ist richtig, dass der Well-to-Wheel (WTW) Wirkungsgrad von heute weitgehend in der Flotte befindlichen, einfachen (nicht hybridisierten) Pkw, die mit E-Fuel betriebenen werden, im Bereich von 13 % - 16 % liegt, wie FÖS auf Basis der Veröffentlichungen von ADAC 2024, ICCT 2024 und Wietschel et al. 2023 behauptet. Hybridisiert man diese Pkw (wie dies derzeit schon bei einem nennenswerten Anteil neuer Pkw erfolgt) erhöht sich der Wirkungsgrad auf etwa 17 % - 20 %.

Weiterhin wird von FÖS der WTW-Wirkungsgrad von Elektrofahrzeugen mit 70 % – 75% zu hoch eingeschätzt. Diese Wirkungsgrade sind nur erreichbar, wenn der Innenraumheizbedarf im Winter vernachlässigt wird, wenn langsam geladen wird und die – in einem völlig nachhaltigen Energiesystem (ohne fossile Kohle-, Erdgas- und Kernkraftwerke zur Bereitstellung von Grundlast) unverzichtbare - Pufferung von Grünstrom für Dunkelflauten komplett vernachlässigt wird. Berücksichtigt man diese unverzichtbare Pufferung von Grünstrom für Dunkelflauten in einem Energiesystem für Deutschland, ergibt sich für batterieelektrische Pkw ein WTW-Wirkungsgrad von 50 % – 63%, je nach Anteil des Schnelladens.²²

In einem gesamteuropäischen Energiesystem (für welches das Stromnetz selbst unter größten Anstrengungen in 2050 noch lange nicht verfügbar sein wird, siehe Punkt 1), wären die Pufferverluste geringer und WTW-Wirkungsgrade im Bereich von 60 % - 70 % realistisch.

²² FVV Fuels Study III (2018); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/FVV_Kraftstoffe_Studie_Energiepfade_final_v.3_2018-10-01_DE.pdf

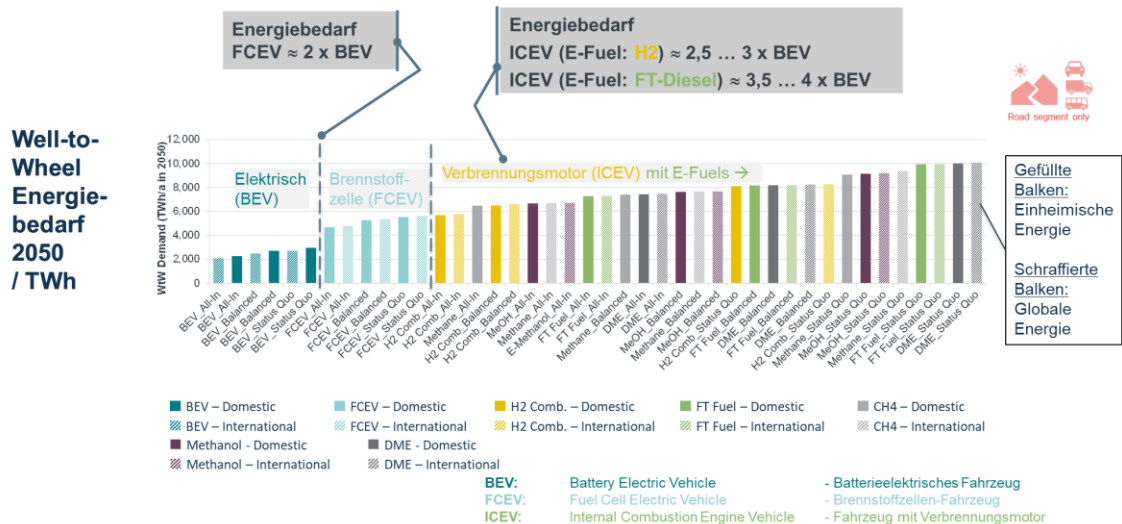


Abbildung 4: Vergleich Well-to-Wheel Energiebedarf 2050 von 42 verschiedenen Antriebsarten²³

Vergleicht man die mit realistischen Wirkungsgraden berechneten Energiebedarfe verschiedener Antriebszenarien (siehe Abbildung 4), ergibt sich für **e-FT-Diesell ein 3,5 bis 4 mal so hoher Energiebedarf wie für Elektromobilität und kein Faktor von 6**, wie von FÖS behauptet.

Allerdings ist der Energiebedarf (ausgedrückt in Watt-Stunden [Wh]) gar nicht die entscheidende Größe, wenn es um die Bewertung vom Umweltwirkungen und Kosten der benötigten Stromerzeugungsinfrastruktur (d. h. Anzahl der Windräder und Fläche der Solarkollektoren) geht, wie von FÖS implizit behauptet. In den Bedarf an Windrädern und Solarfeldern (ausgedrückt in Watt [W]) geht nämlich neben dem Energiebedarf auch der Standort der Anlagen ein. Während batterieelektrische Mobilität auf eine Netzanbindung und damit auf Wind- und Sonnenstandorte in Europa angewiesen ist, könne E-Fuels in den Vorzugsregionen dieser Welt (z. B. Chile, Australien, Marokko, Tunesien, ...) hergestellt werden, in denen die Wind- und Sonnenernte etwa 3-mal höher ausfällt als in Europa. Vergleicht man die erforderliche Stromerzeugungsinfrastruktur (d. h. Leistung der Windräder und Solarkollektoren) so erfordert die Bereitstellung von **e-FT-Diesell eine 2,1 mal so hohe installierte Leistung an Windrädern und Solarkollektoren wie die Strombereitstellung für Elektromobilität** (siehe Abbildung 5).

²³ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

Umwelteinflüsse und Kosten werden nicht nur durch den Energiebedarf bestimmt, sondern durch den Standort der Windräder & Solaranlagen

BEV: braucht netzgebundene einheimische Energie

E-Fuels: kann man in sonnigen/windigen Vorzugsregionen produzieren

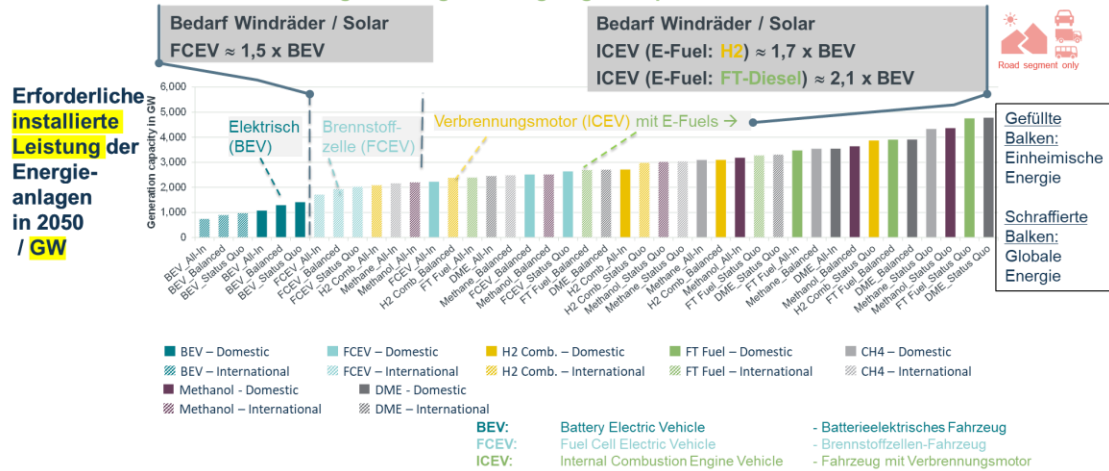


Abbildung 5: Vergleich erforderliche Windrad / Solar-Kapazität in 2050 von 42 verschiedenen Antriebsarten²⁴

Entscheidend für die Klimaerwärmung ist aber weder der Energiebedarf der Mobilität (in [Wh]), noch die installierte Leistung der Windräder und Solaranlagen (in [W]), sondern die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgas (THG), die sich bis zur nahezu vollständigen Defossilisierung der Energie im Transportsektor ergibt.

Würde man die jetzige Fahrzeugflotte bis 2050 komplett mit batterieelektrischen Fahrzeugen austauschen (d.h. ab 2033 nur noch batterieelektrische Pkw verkaufen) und die komplette Energie-Versorgungsinfrastruktur (Windräder, Solarkollektoren, Stromnetz, Ladesäulen) in gleicher Geschwindigkeit aufbauen (was – wie unter Punkt 2 bereits beschrieben – insbesondere hinsichtlich des Stromnetzes völlig unrealistisch ist) ergäben sich jährliche THG-Emissionen wie in Abbildung 6 rechts dargestellt. In 2050 verbleiben nur noch unvermeidbare THG-Emissionen, die auch bei ausschließlicher Verwendung von nachhaltiger Sonnen-/Windenergie nicht verschwinden. Bis 2040 dominiert der Betrieb der auslaufenden Bestandsflotte mit fossilem Diesel/Benzin die verkehrsbedingten THG-Emissionen (inklusive Fahrzeugbau und Fahrzeugverschrottung).

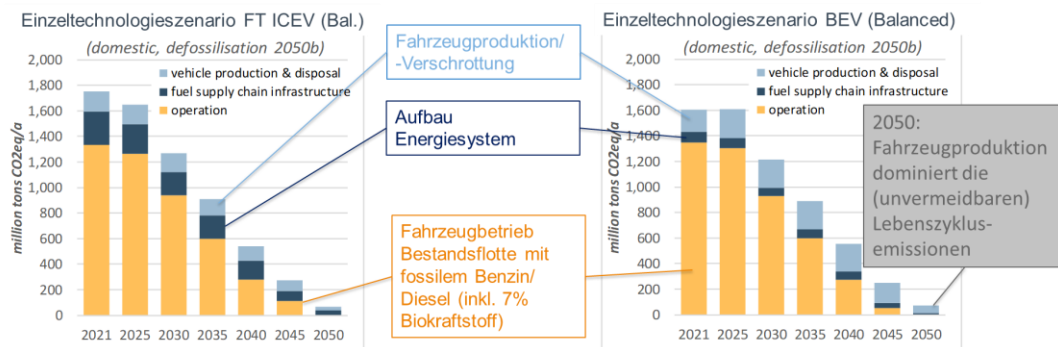
In Abbildung 6 links sind im Vergleich dazu die THG-Emissionen dargestellt, die sich bei einem gleich schnellen Hochlauf einer E-Benzin/Diesel-Produktion entstünden. In 2050 verbleiben nur noch unvermeidbare THG-Emissionen, welche tendenziell geringer sind als bei der Elektromobilität, da bei der Produktion der Batterien für E-Fahrzeuge tendentiell etwas mehr unvermeidbares THG entsteht als bei der Erhaltung der etwa doppelt so großen Energieerzeugungsinfrastruktur für die E-Fuel-Produktion.

Über die Jahre sind die kumulierten THG-Emissionen für die beiden in Abbildung 6 dargestellten, theoretischen Szenarien etwa gleich groß. Entscheidend für den Klimawandel ist daher nicht die Auswahl der Antriebstechnologie, sondern die Geschwindigkeit, mit der

²⁴ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

die komplette nachhaltige Versorgungskette (Energieerzeugung, Energietransport, Energieverteilung und Marktdurchdringung Fahrzeugtechnologie) aufgebaut werden kann. Wie bereits unter Punkt 2 beschrieben, ist die erzielbare Aufbaugeschwindigkeit einer E-Fuel-Produktion (von Kraftstoffen, die in vorhandenen Fahrzeugen genutzt werden können) deutlich größer als die Flottenaustauschrate (Austausch Verbrenner gegen batterieelektrische Fahrzeuge) und insbesondere größer als die mögliche Ausbaugeschwindigkeit des erforderlichen Grünstromnetzes.

FVV Kraftstoffstudie IV (identischer Referenzhochlauf) Einzeltechnologieszenerarien Jährliche THG-Emissionen: "e-Fischer-Tropsch-Diesel" vs. Batteriefahrzeug "BEV"



- Jährliche THG-Emissionen in 2050: 95-97% geringer als in 2020 für alle Technologiepfade (tendenziell niedriger für E-Fuels in 2050)
- **Betrieb Bestandsflotte mit fossilem Diesel/Benzin dominiert THG-Emissionen bis ca. 2040**

Abbildung 6: THG-Emissionen EU-Verkehr bei gleicher „theoretischer“ Hochlaufgeschwindigkeit (die dem historischen Austausch der Fahrzeugflotte entspricht) von E-FT-Fuel (E-Diesel und E-Benzin) verglichen mit Elektromobilität mit Sonnen / Windstrom²⁵

Daher lässt sich Mit E-Fuels – auch im Pkw - der Klimawandel deutlich besser bekämpfen als mit batterieelektrischen Fahrzeugen. Noch besser lässt sich die verkehrsbedingte Klimaerwärmung durch einen cleveren Technologiemix minimieren, der sowohl batterieelektrische Fahrzeuge als auch E-Fuels umfasst und das Ergebnis einer effizienten, technologieoffenen Gesetzgebung wäre (z. B. CO2-Steuer auf die Exploration fossiler Energieträger bei gleichzeitigem Wegfall aller Sektorenziele).

Wie in der FVV Fuels Study IVb detailliert dargestellt, können mit einem optimalem Technologiemix die europäischen, verkehrsbedingten THG-Emissionen so weit minimiert werden, dass bereits vor 2040 Quasi-THG-Neutralität erreicht werden kann und die kumulierten THG-Emissionen (und damit die Klimaerwärmung) gegenüber einem rein batterieelektrischen Szenario um 40 % abgesenkt werden kann (siehe Abbildung 7). Ein solches Szenario erfordert zwingend den Einsatz großer Mengen von E-Fuels, insbesondere solcher, die kompatibel mit dem heutigen Fahrzeugbestand sind (sog. Drop-In Fuels)²⁶. Unter technologieoffenen gesetzlichen Rahmenbedingungen wäre die Bereitstellung dieser E-Fuel-Mengen ohne weiteres möglich.

²⁵ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

²⁶ FVV Fuels Study IVb (2022); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/000.00_Wie_schnell_geht_nachhaltig/FVV_H1313_1452_Future_Fuels_FVV_Fuel_Study_IVb_2022-12.pdf

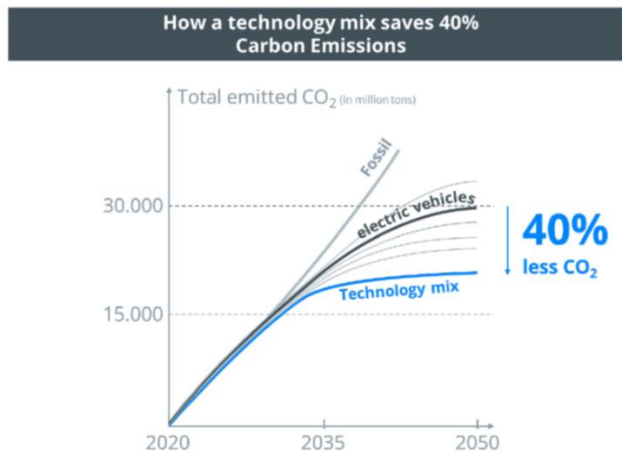


Abbildung 7: Reduktionspotenzial kumulierte CO₂-Emissionen (Klimaerwärmung) durch Technologieoffenheit gegenüber Konzentration auf Elektromobilität

Zwischen-Fazit 1: Hinsichtlich der **Klimaerwärmung** sind E-Fuels keinesfalls umweltschädlich. Das Gegenteil ist der Fall. Mit E-Fuels lässt sich klimafeindliches Treibhausgas bis 2050 gegenüber reiner Elektromobilität um 40 % reduzieren.

Richtig ist natürlich, dass die Herstellung von E-Fuels aus Sonnen- und Windstrom mehr Landfläche benötigt als die Bereitstellung von Ladestrom. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, braucht man für den Betrieb einer europäischen Flotte von ausschließlich batterieelektrischen Fahrzeugen etwa 12 ... 15 tkm² heimisches (vergleichsweise eng besiedeltes) Land, was etwa der Fläche Schleswig-Holsteins entspricht. Zur Produktion von E-Fuels (E-FT-Diesel/Benzin) sind hingegen etwa 20 ... 30 tkm² Wüstenland erforderlich, was etwa dem 370ten Teil der Wüste Sahara entspricht.

Zwischen-Fazit 2: Hinsichtlich des **Flächenverbrauchs** ist die Verwendung von E-Fuels weniger kritisch als die Bereitstellung von Grünstrom für Elektrofahrzeuge, da Bruchteile von Wüstenflächen für die Versorgung mit E-Fuels ausreichend sind, während für den Betrieb von Elektrofahrzeugen kostbare, relativ dicht besiedelte einheimische Flächen zur Verfügung gestellt werden müssen.

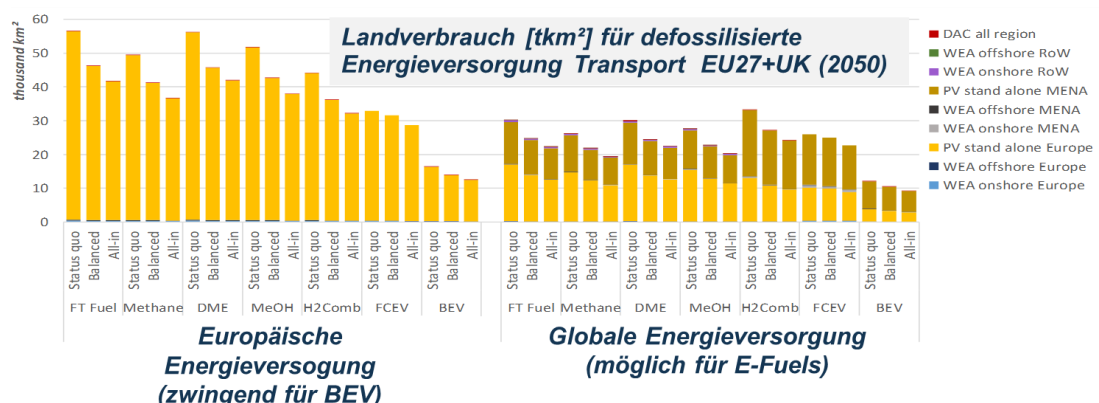
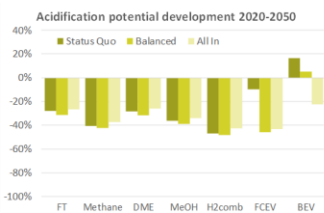


Abbildung 8: Landverbrauch [tkm²] für defossilisierte Energieversorgung Transport EU27+UK (2050)²⁷

²⁷ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

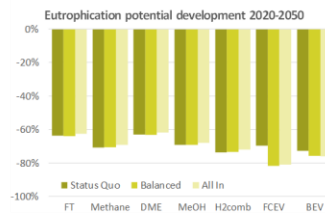
Versäuerung:

- 25 ... - 45% E-Fuel
- 10 ... - 45% Brennstoffzelle
- + 15 ... - 20% Elektrofahrzeug



Eutrophierung:

- 60 ... - 75% E-Fuel
- 70 ... - 80% Brennstoffzelle
- 70 ... - 75% Elektrofahrzeug



Partikelemissionen:

- 40 ... - 55% E-Fuel
- 40 ... - 60% Brennstoffzelle
- 25 ... - 45% Elektrofahrzeug

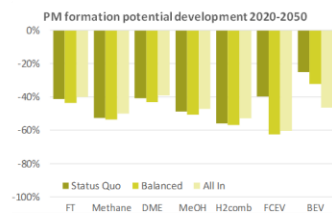


Abbildung 9: Entwicklung Umwelteinflüsse bei ganzheitlicher Umstellung fossiler Mobilität auf nachhaltige, ausschließliche E-Fuel-Mobilität, Brennstoffzellenmobilität, bzw. Elektromobilität ²⁸

In Abbildung 9 ist die Entwicklung der Umwelteinflüsse Versäuerung, Eutrophierung und Partikelemissionen (globale Lebenszyklusemissionen, inklusive Fahrzeugproduktion und Verschrottung sowie Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems) bei ganzheitlicher Umstellung fossiler Mobilität auf nachhaltige, ausschließliche E-Fuel-Mobilität, bzw. Brennstoffzellenmobilität und Elektromobilität dargestellt. Für alle Antriebsarten ergibt sich gegenüber heute eine deutliche Reduzierung der Umweltfaktoren Eutrophierung und Partikelemissionen in ähnlicher Größenordnung. Hinsichtlich Versäuerung ist die Verwendung batterieelektrischer Fahrzeuge kritischer als die Bereitstellung von E-Fuels.

Zwischen-Fazit 3: Hinsichtlich **Eutrophierung** und **Partikelemissionen** sind E-Fuels deutlich positiver als heutige fossile Mobilität und keinesfalls schlechter als batterieelektrische Mobilität zu bewerten. Hinsichtlich **Versäuerung** ist die Verwendung batterieelektrischer Fahrzeuge kritischer als die Bereitstellung von E-Fuels.

Fazit : Trotz des höheren Energieverbrauchs zur Herstellung und Nutzung von E-Fuels, sind deren Umweltbelastungen deutlich geringer als dies bei reiner Nutzung batterieelektrischer Mobilität der Fall ist.

6. **Annahme, dass E-Fuels umwelt- und gesundheitsschädlich seien, da sie bei anderen Emissionen [als dem Treibhausgas CO₂] wie Luftschadstoffen im Gegensatz zum E-Auto keinen Beitrag zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit leisten würden, da sie als chemisches Äquivalent zu fossilen Kraftstoffen weiterhin Abgasemissionen verursachten.**

Richtig ist, dass ein E-Fuel, wenn es im Verbrennungsmotor verbrannt wird, nach wie vor zur Bildung sog. Schadstoffe (wie z.B. Partikel) führen wird, die aus dem Abgassystem des Fahrzeugs emittiert werden. Leider unterlässt es FÖS, die Größenordnung dieser motorischen Emissionen einzuordnen und mit anderen relevanten Fahrzeugemissionen sowie Emissionen aus anderen Quellen zu vergleichen.

Heutzutage (im Fahrzeugbestand) liegen beispielsweise die Partikel-Emissionen (Partikelzahl) zwischen dem 10- und 500-fachen der Euro-6d-Grenzwerte. Mit der natürlichen Erneuerung des Fahrzeugbestandes (Austausch alter Fahrzeuge mit Fahrzeugen, die die Euro-6d/e-

²⁸ FVV Fuels Study IV (2021); https://www.fvv-net.de/fileadmin/Transfer/Downloads/Publikationen/FVV_Future_Fuels_StudyIV_The_Transformation_of_Mobility_H1269_2021-10_EN.pdf

Grenzwerte bzw. Euro-7-Grenzwerte erfüllen), ist mittelfristig ganz automatisch eine drastische Absenkung dieser Emissionen zu erwarten. Aber bereits heute liegen diese motorischen Partikelemissionen weit unter den nicht abgasbedingten Emissionen, z. B. durch Reifen- und Bremsenabrieb²⁹.

Reifenabrieb wirkt sich nicht nur auf die Luft (Partikelemissionen), sondern auch auf das Grundwasser aus (Mikroplastik). Da Reifenabrieb mit dem Gewicht von Fahrzeugen zunimmt und batterieelektrische Fahrzeuge - bedingt durch das Zusatzgewicht der Batterie – (ausstattungsbereinigt) einige hundert Kilogramm schwerer sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, sind die Reifenabrieb-Emissionen von batterieelektrischen Fahrzeugen grundsätzlich als höher zu bewerten als die Emissionen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. In der Literatur findet man über die Größenordnung dieser Mehremissionen batterieelektrischer Fahrzeuge unterschiedliche Angaben.

Das Datenanalyse-Unternehmen Emissions Analytics schätzt, dass Reifenabrieb bei Elektroautos 1.850-mal höhere Feinstaubwerte verursache, als sie durch motorische Abgase aus dem Auspuff entstünden³⁰. Der Versuchsaufbau sah folgendermaßen aus: Emissions Analytics rüstete einen 2011er VW Golf mit den billigsten Reifen aus, die der Markt hergab, belud das Auto bis ans Limit und fuhr einen 320 Kilometer langen Testzyklus mit hohen Geschwindigkeiten über eine kurvenreiche Strecke mit durchschnittlicher Oberflächenqualität. Das führte zu einem – einfach messbaren - Massenverlust an den vier Reifen von insgesamt 1.844 g, was 0,58 g/km entspricht.³¹

Zum Vergleich: Der aktuelle Abgas-Grenzwert für Feinstaub-Partikel liegt bei 4,5 Milligramm (0,0045 g) pro Kilometer (EU6d und EU6e)^{32 33}, ist also um einen Faktor 409 geringer. In der Praxis liegen die Partikelemissionen moderner EU6d-Fahrzeuge deutlich unterhalb von 20 % des Grenzwertes³⁴, wodurch sich der Faktor „Reifenabrieb / motorische Partikelemissionen“ auf über 1.600 erhöht.

Auch ADAC ermittelte in aufwendigen Reifentests, welche Reifen besonders viel ihrer Substanz verlieren. Dafür hat der ADAC nach eigenen Angaben die Reifenverschleißmessungen der vergangenen Jahre bei knapp 100 Reifenmodellen (Sommer-, Winter- und Ganzjahresreifen) ausgewertet³⁵. Die Werte beziehen sich dabei immer auf den Abrieb eines Fahrzeugs. Der beste Reifen für Kleinwagen in der Reifengröße 185/65 R15 kam auf einen Abrieb von 0,058 g/km, was um einen Faktor 10 niedriger liegt, als der von Emissions

²⁹ “Non-exhaust emissions: evaporation & break wear control”, CLOVE, online AGVES meeting, 8th April 2021; https://circabc.europa.eu/sd/a/1c0efc15-8507-4797-9647-97c12d82fa28/AGVES-2021-04-08-EVAP_Non-Exh.pdf

³⁰ Gaining traction, losing tread Pollution from tire wear now 1,850 times worse than exhaust emissions [Gaining traction, losing tread Pollution from tire wear now 1,850 times worse than exhaust emissions — Emissions Analytics](#)

³¹Reifenabrieb schadet Gesundheit mehr als Abgase, Auto, Motor & Sport (06.03.2020) [Reifenabrieb schadet Gesundheit mehr als Abgase | AUTO MOTOR UND SPORT](#)

³² Euro 6d und Euro 6e: Alle Infos zu den Abgasnormen (ADAC 07/2024) [Euro 6d und Euro 6e: Alle Infos zu den Abgasnormen](#)

³³ Abgasnorm Euro 6: Grenzwerte für NOx, Kohlenwasserstoffe und Co. [Euro-6-Grenzwerte für Diesel, Benzin und Lkw 2025](#)

³⁴ Kraftstoffe der Zukunft im Test: Sind E-Fuels wirklich umweltfreundlich? (ADAC 2024); [Test: Wie umweltfreundlich sind E-Fuels?](#)

³⁵ Dem Mikroplastik auf der Spur: Weniger Reifenabrieb ist möglich (ADAC 2024) [Umweltproblem Mikroplastik: Fakten zum Reifenabrieb](#)

Analytics gemessene Wert von 0,58 g/km. Im Schnitt vielen bei ADAC 0,117 g/km an (doppelt so hoch wie der von Emissions Analytics gemessene Wert). Der schlechteste Reifen lag bei 0,171 g/km (also drei Mal so hoch wie der von Emissions Analytics gemessene Wert).

Natürlich belastet nicht der komplette Reifenabrieb als Feinstaub die Atemluft, sondern nur ein Teil. Der andere Teil des Abriebs belastet Böden und Gewässer als Mikroplastik. Wieviel des Reifenabriebs letztendlich als Feinstaub in der Luft endet ist noch nicht abschließend geklärt. Genaue Methoden zur Bewertung der Emissionen von Reifen und Straßenabriebspartikeln sind noch nicht validiert. Manche Studien, wie etwa des französischen Reifenherstellers Michelin, gingen bisher von 10 bis 25 % höheren Partikelemissionen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Verbrennern aus.³⁶ Eine Studie der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)³⁷ aus dem Jahr 2020 ergab, dass leichte Elektroautos – mit sehr kleinen Reichweiten um die 150 km – etwas weniger Feinstaub (11 – 13 % PM2.5 und 18 – 19 % PM10) emittieren würden als Verbrennungsfahrzeuge. Im Fall schwererer E-Fahrzeuge (Reichweiten ca. 500 km) erhöhen sich die PM2.5-Emissionen um 3 – 8 % Prozent, während PM10-Emissionen lediglich um 4 – 7 % sinken. Die Studie geht weiter davon aus, dass die Verbreitung von Elektrofahrzeugen in den kommenden Jahren nur zu einem sehr geringen Rückgang der gesamten PM-Emissionen des Straßenverkehrs führen wird.

Gemäß einer weiteren, kürzlich veröffentlichten Studie emittieren batterieelektrische Fahrzeuge mehr Reifenpartikelemissionen (schwerer als ICEVs) und weniger Bremspartikelemissionen (regeneratives Bremsen, welches allerdings auch bei Hybridfahrzeugen funktioniert). Nach dieser Studie verursachen batterieelektrische Fahrzeuge nur dann weniger Partikel-Emissionen als Verbrenner, wenn mindestens 15 % der Fahrten im Stadtverkehr stattfinden. Bei Fahrten mit weniger Stadtverkehr (und insbesondere mit hohem Autobahnanteil) überwiegen die Partikelemissionen von batterieelektrischen Fahrzeugen.³⁸

Wie dem auch sei, zur Einordnung der Feinstaubemissionen gehört auch die Wahrheit, dass der Straßenverkehr nur 10 % zu den gesamten PM 2.5-Emissionen in Europa beiträgt³⁹. Die Verringerung der PM-Emissionen erfordert Maßnahmen, die auf die größten Verursacher abzielen, z. B. auf die Hausheizung. Der Energieverbrauch von Privathaushalten, Unternehmen und Institutionen ist die Hauptquelle für Grobstaub (PM10) und Feinstaub (PM2.5), nicht der Verkehr.

Fazit: Bedingt durch ihr höheres Gewicht emittieren batterieelektrische Fahrzeuge tendenziell mehr Feinstaub als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Wieviel genau, ist derzeit nicht abschließend geklärt. Fest steht aber, dass die Böden- und Gewässerbelastung durch

³⁶ Michelin approach to measure directly the emission factors of a tire, Michelin Research Center, Ladoux, France October 2021, [clkt2rca08gs2fhh09aw9vs4-20211119-michelin-trwp-directdeterminationemissionfactors.pdf](https://www.michelin.com/press/2021/11/19/michelin-trwp-directdeterminationemissionfactors.pdf)

³⁷ Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport - An Ignored Environmental Policy Challenge (OECD 2020), [Full Report | OECD](https://www.oecd.org/transport/2020/11/19/non-exhaust-particulate-emissions-from-road-transport-an-ignored-environmental-policy-challenge/)

³⁸ Electric versus gasoline vehicle particulate matter and greenhouse gas emissions: Large-scale analysis, [Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 140](https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104622), March 2025, 104622; <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104622>

³⁹ Air quality in Europe 2021 - Sources and emissions of air pollutants in Europe [Sources and emissions of air pollutants in Europe — European Environment Agency](https://www.eea.europa.eu/en/air-quality-in-europe-2021)

Reifenabrieb (Mikroplastik) bei batterieelektrischen Fahrzeugen tendenziell größer ist als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Jedes mit E-Fuels betankte Auto, welches ein batterieelektrisches Fahrzeug ersetzt, leistet insofern einen Beitrag zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit, dass weniger Reifenabrieb emittiert wird.