

## FACTSHEET

# E-Fuels und ihre Grenzen – keine Alternative zum Verbrenner-Aus

**Auf einen Blick:** In der Debatte um den EU-Kompromiss für ein Ende des Verkaufs von fossilen Verbrenner-Autos ab 2035 wird oft „Technologieoffenheit“ gefordert. E-Fuels seien eine Alternative zum Umstieg auf E-Autos. Zwar sind E-Fuels (und Wasserstoff) für die Erreichung der Klimaziele tatsächlich von zentraler Bedeutung. In einigen Bereichen wie im Luft- oder Schiffsverkehr sind sie unverzichtbar, z. B. weil eine Elektrifizierung nicht vollständig möglich ist. Ihre Produktion muss also gefördert und vorangetrieben werden. Im Pkw-Verkehr sind E-Fuels allerdings keine Lösung: Sie kommen zu spät, in zu geringen Mengen und sind sehr teuer. Ihre geringe Effizienz und der hohe Ressourcenbedarf sind hinzu schlecht für die Umwelt. Selbst in optimistischen Szenarien reichen sie lediglich für einen kleinen Restbestand an Verbrenner-Pkw. Daher müssen die Elektrifizierung von Pkw und die Verlagerung des Verkehrs sogar noch beschleunigt werden, damit E-Fuels die vorgesehene Rolle für den Klimaschutz spielen können.

## 1 Was sind E-Fuels?

### ▪ Mit Strom erzeugte Kraftstoffe

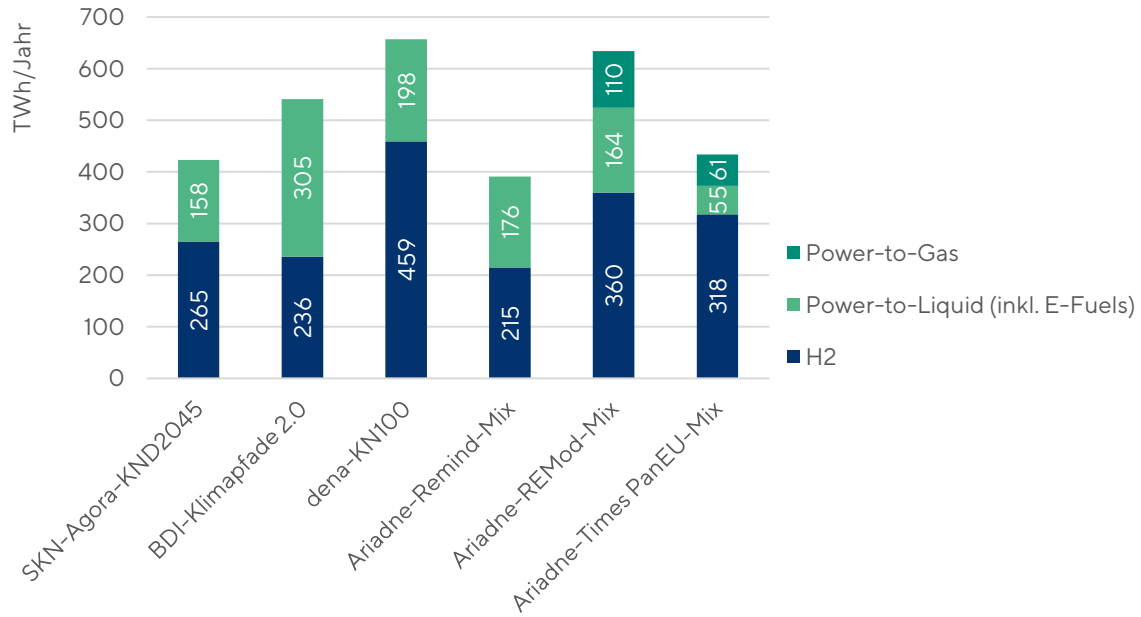
E-Fuels sind synthetische Kraftstoffe, die mithilfe von Strom hergestellt werden und chemisch fossilen Kraftstoffen entsprechen. Die Produktion umfasst zwei Schritte: Elektrolyse spaltet Wasser in Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und **Wasserstoff** (H<sub>2</sub>) auf, wofür große Mengen **Strom** benötigt werden. Der Wasserstoff reagiert unter Druck und Hitze mit **Kohlendioxid** (CO<sub>2</sub>) zu flüssigen Kraftstoffen wie E-Diesel, E-Benzin oder E-Kerosin. Das benötigte CO<sub>2</sub> stammt entweder aus der Luft (Direct-Air-Capture) oder aus industriellen Prozessen. E-Fuels sind **nur dann klimaneutral**, wenn der eingesetzte Strom emissionsfrei ist und das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre stammt, um einen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf zu gewährleisten. Der Prozess ist jedoch sehr energieintensiv. Es wird deutlich mehr Energie benötigt, als der Kraftstoff liefert (siehe auch Abbildung 5).

## 2 Welche Rolle spielen E-Fuels für den Klimaschutz?

### ▪ Zentral in Industrie, Luft- und Schifffahrt

E-Fuels (sowie deren Vorprodukt Wasserstoff) sind in allen großen Klimaschutzszenarien zentral für die Dekarbonisierung Deutschlands. Der **Bedarf an Wasserstoff** selbst wird für das Jahr 2045 je nach Szenario mit 215 bis 459 TWh beziffert (Abbildung 1) und stammt vor allem aus der Industrie und der Energiewirtschaft. Der **Bedarf an E-Fuels** und anderen synthetischen Kraft- und Heizstoffen (Power-to-Liquid und Power-to-Gas) für 2045 liegt bei 116 bis 305 TWh. Sie werden vor allem für Produktionsprozesse in der **Industrie**, als Kraftstoff im Verkehr (insbesondere **Luft- und Schifffahrt**) und teils auch als Heizstoff im **Gebäudesektor** verwendet. Im Szenario mit dem höchsten Bedarf (305 TWh) verteilt sich die Nachfrage im Jahr 2045 z. B. konkret auf die Industrie (173 TWh), internationale Luft- und Seeverkehre (96 TWh), Verkehr (27 TWh) und Gebäude (9 TWh) (BDI Klimapfade 2.0 (BCG 2021)).

Abbildung 1: Szenarienvergleich - Nachfrage nach H2, PtL und PtG im Jahr 2045

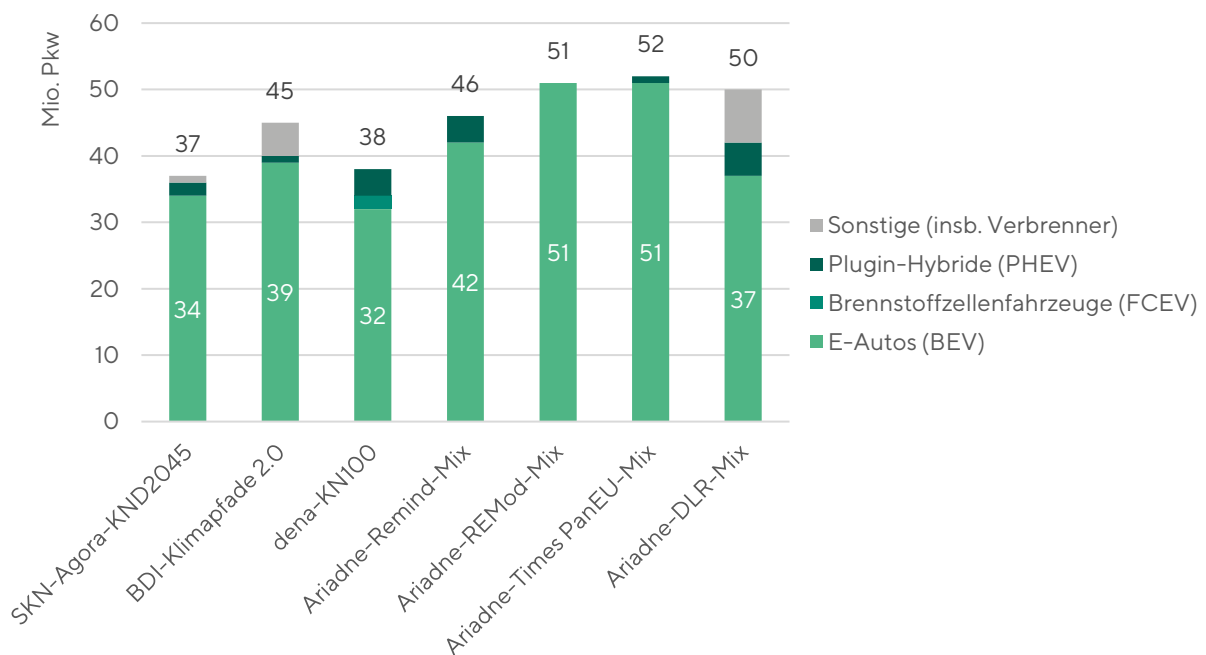


Quellen: eigene Darstellung auf Basis Prognos AG et al. (2022)

▪ ...unbedeutend für das Auto

Zur Erreichung der Klimaziele sind also **substanzielle Mengen an E-Fuels**, Wasserstoff etc. eingeplant. **Im Pkw gehen Studien davon aus, dass sie gar nicht oder kaum zum Einsatz kommen**, weil es hier andere und kostengünstigere Alternativen gibt. Der Pkw-Bestand ist in allen Szenarien im Jahr 2045 bereits zu 74 bis 100 % elektrifiziert und viele Verkehre wurden verlagert, so dass nur noch eine kleine Restflotte mit Verbrennungsmotor auf alternative Kraftstoffe angewiesen ist (Abbildung 2). In vielen Szenarien wird die Pkw-Flotte sogar insgesamt kleiner. Die schnelle Elektrifizierung der Flotte und die Verkehrsverlagerung sind Voraussetzung dafür, dass der Bedarf an Wasserstoff und E-Fuels in anderen Bereichen überhaupt gedeckt werden kann.

Abbildung 2: Szenarienvergleich - Pkw-Bestand im Jahr 2045



Quellen: eigene Darstellung auf Basis Prognos AG et al. (2022)

### 3 Können E-Fuels den Verbrenner retten?

#### ▪ E-Autos sind zentraler Baustein der Klimapolitik

Im Einklang mit den Klimaschutzszenarien beschlossen EU-Parlament und EU-Kommission im Jahr 2023, dass **in der EU ab 2035 nur noch Fahrzeuge ohne klimaschädliche Emissionen** neu zugelassen werden dürfen. De facto bedeutet dies das Aus für den Verbrennungsmotor und einen Fokus auf batterieelektrische Fahrzeuge. E-Fuels werden unter diesen Rahmenbedingungen den verbleibenden Kraftstoffbedarf des schrumpfenden Verbrenner-Restbestands lediglich übergangsweise decken (bzw. Benzin und Diesel durch Beimischung klimafreundlicher machen).

#### ▪ Behauptung: E-Fuels seien klimafreundliche und günstige Alternative

Der EU-Verbrenner-Kompromiss wird aber nun von einigen Parteien infrage gestellt. Im Fokus stehen dabei E-Fuels, die den Verbrennungsmotor vermeintlich klimaneutral machen können.<sup>1</sup> Zusätzlich befeuert wird die Diskussion von Aussagen, nach denen E-Fuels bereits zeitnah und zu günstigen Preisen zur Verfügung stünden.<sup>2</sup> Das Ende des Verbrenners scheint demnach für den Klimaschutz gar nicht notwendig zu sein. Dafür muss man jedoch sehr optimistische, teils abstruse **Annahmen zu Verfügbarkeit und Kosten** von E-Fuels treffen. Diesen Fragen gehen wir im Folgenden nach.

### 4 Wird es E-Fuels in ausreichenden Mengen geben?

#### ▪ Kurzfristig keine relevanten Mengen verfügbar

Aktuell sind E-Fuels nicht verfügbar. Die wenigen bestehenden Produktionsanlagen sind meist Demonstrationsprojekte (siehe „SAF-Monitor“ der NOW GmbH 2024). Derzeit befinden sich **weltweit** etwa 50 Projekte in Planung, weitere 20 haben den Status „Idee“. Diese insgesamt fast 100 Anlagen könnten 5,9 Mio. Tonnen bzw. **70 TWh/Jahr E-Fuels im Jahr 2030** produzieren (ebd.). **Die derzeit global geplante E-Fuels-Produktion reichen also bislang nicht einmal, um den Bedarf des Luft- und Seeverkehrs in Deutschland zu decken.** Im globalen Kontext reden wir also absehbar über verschwindend geringe Mengen E-Fuels.

#### ▪ Langfristiges Potenzial mit vielen Fragezeichen

Zwar existiert langfristig ein **sehr viel höheres Potenzial**, jedoch besteht das große Risiko, dass dieses nicht vollständig und für die Klimaziele zu spät gehoben wird. Bis zum **Jahr 2050** wird das theoretische globale Potenzial auf rund **75.600 TWh/Jahr Wasserstoff oder 54.800 TWh/Jahr für E-Fuels** geschätzt<sup>3</sup> (Pfennig et al. 2023). Das „Oder“ ist dabei wichtig: Für 54.800 TWh/Jahr müsste der gesamte verfügbare Wasserstoff für E-Fuels verwendet werden. Da Wasserstoff aber auch für andere Anwendungen (z. B. in der chemischen Industrie oder der Stahlproduktion) benötigt wird, kann nur ein Teil zur Herstellung von E-Fuels weiterverarbeitet werden. Im ambitionierten Szenario des World Energy Outlook der IEA (2024) „Net Zero Emissions by 2050“ werden nur rund 40 % des produzierten Wasserstoffs zu Kraftstoffen weiterverarbeitet. Ein realistischeres Potenzial würde somit eher bei 20.000 bis 25.000 TWh E-Fuels im Jahr 2050 liegen. Welchen Anteil Deutschland davon für sich beanspruchen kann, ist dabei ebenfalls unklar. Der Anteil an Weltbevölkerung und globalen Bruttoinlandsprodukt liegt zum Vergleich bei etwa 1% bzw. 3 %, was rund 200 bis 750 TWh bedeuten würde. Das würde den Bedarf in den Klimaschutzszenarien für Deutschland theoretisch decken (vgl. Abbildung 1). Wie beschrieben muss der Pkw-Bestand dafür aber bis 2045 bereits weitgehend elektrifiziert sein. Außerdem ist der Hochlauf der E-Fuels-Produktion noch sehr unklar.

---

<sup>1</sup> <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2024/kw24-de-technologieoffener-klimaschutz-1007690>

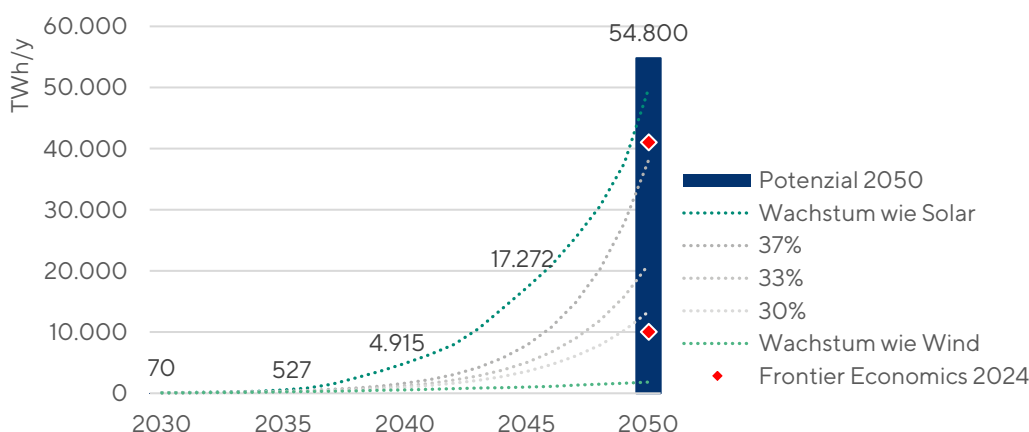
<sup>2</sup> [https://www.uniti.de/fileadmin/user\\_upload/UNITI\\_PM\\_Studie\\_E-Fuels\\_Hochlauf\\_20241112.pdf](https://www.uniti.de/fileadmin/user_upload/UNITI_PM_Studie_E-Fuels_Hochlauf_20241112.pdf)

<sup>3</sup> Die Schätzung erfolgt unter Berücksichtigung sozioökonomischer Aspekte (Wirtschaft, Politik, Gesellschaft, Technologie und natürliche Gegebenheiten).

### ▪ Unklarer Hochlauf ist Risiko für Klimaschutz

Um dieses Potenzial zu heben, müsste die Produktion im Zeitraum 2030-2050 jährlich um über 30 % wachsen (Abbildung 3). Zum Vergleich: Die globalen Kapazitäten von Wind- und Solarenergie wuchsen in den letzten 20 Jahren um etwa 20 % bzw. 40 %. Diese Technologien sind modular und daher im Vergleich einfacher zu skalieren. Die Herstellung von E-Fuels in industriellem Maßstab ist komplexer und erfordert Fortschritte in mehreren Bereichen. Es braucht unter anderem eine erhebliche Steigerung des weltweiten Ausbaus der erneuerbaren Energien und einen sehr schnellen Hochlauf der Produktionskapazitäten für Wasserstoff. Bislang verläuft der Fortschritt aber viel langsamer als erhofft: Beispielsweise wurden lediglich 2 % der für 2022 angekündigten Kapazitäten an grünem Wasserstoff tatsächlich realisiert (Odenweller/Ueckerdt 2024). Viele Projekte verzögern sich oder wurden wieder beendet. Die Entwicklung geht also mit hohen Ungewissheiten einher. Eine Wachstumskurve wie für Solar erscheint weniger realistisch. Ein Wachstum wie bei Wind wäre immer noch ambitioniert, aber **deutlich zu langsam**, um den zukünftigen Bedarf zu decken.

**Abbildung 3: Verschiedene Wachstumspfade für die E-Fuel-Produktion bis 2050**



Quellen: eigene Darstellung auf Basis Frontier Economics (2024); Pfennig u. a. (2023); Qery (2024)

Der **zukünftige Bedarf an E-Fuels weltweit wird mit 10.000 bis 41.000 TWh im Jahr 2050** beziffert (Frontier Economics 2024). Das obere Ende liegt damit sehr wahrscheinlich über einem realistischen Wert für das Produktionspotenzial. Und auch das untere Ende erfordert bereits ambitioniertes Wachstum. E-Fuels könnten in zu geringen Mengen und zu spät zur Verfügung stehen. Für den Klimaschutz stellt das ein **großes Risiko** dar. Politik muss auf eine **Knappheit** vorbereitet sein.

## 5 Welchen Beitrag könnten E-Fuels im Pkw-Bereich theoretisch leisten?

### ▪ Versorgung eines kleinen Restbestands an Verbrennern

E-Fuels werden im weltweiten Pkw-Verkehr nur einen **kleinen Restbestand an Verbrennern versorgen** können. Der Straßenverkehr (vor allem Pkw) verbraucht derzeit etwa 25.000 TWh pro Jahr an fossilen Kraftstoffen (IEA 2024). Durch die Elektrifizierung wird dieser Bedarf deutlich sinken. Im Jahr 2050 entfallen selbst im Szenario von Frontier Economics (2024) mit dem höchsten E-Fuels-Bedarf maximal 5.000 TWh E-Fuels auf den globalen Pkw-Bereich. Das reicht für schätzungsweise 190 Millionen Fahrzeuge, etwa 10-15 % des heutigen Pkw-Bestands. Selbst in solchen Maximal-Szenarien wird also lediglich von einer Versorgung eines Restbestands gesprochen und eine schnelle Verbreitung von batterieelektrischen Autos (im Folgenden E-Autos) vorausgesetzt.

### ▪ Prioritärer Einsatz in anderen Bereichen

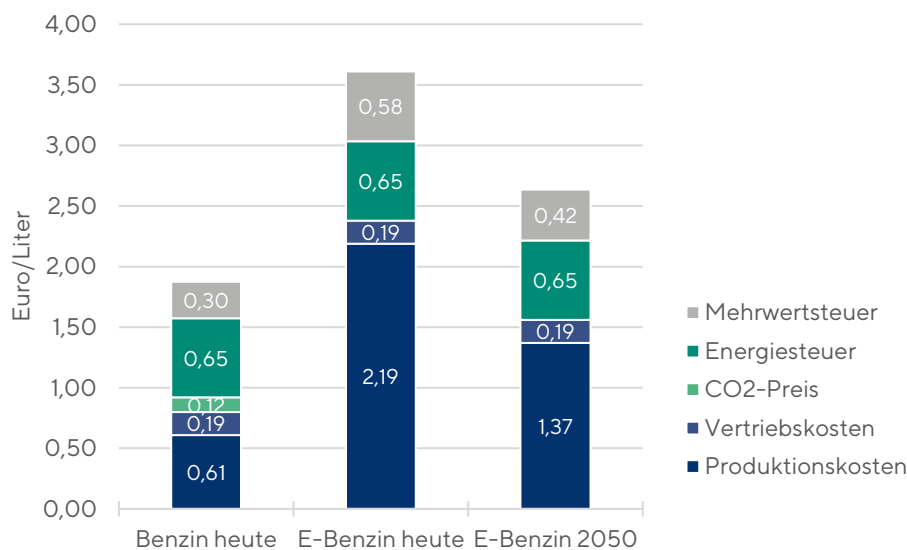
Da E-Fuels in **anderen Bereichen** wie Industrie oder Luft- und Schifffahrt mangels anderer Dekarbonisierungstechnologien dringend gebraucht werden, muss die Elektrifizierung von Pkw noch schneller vorangetrieben werden. Denn der E-Fuels-Bedarf im Szenario von Frontier Economics (41.000 TWh im Jahr 2045) ist realistisch kaum zu decken. Im Pkw-Bereich bleiben E-Fuels maximal eine teure **Notlösung** für den Pkw-Restbestand.

## 6 Was werden E-Fuels kosten?

### ▪ Verbrenner-Pkw immer teurer

Aufgrund der sehr hohen Produktionskosten bleiben E-Fuels absehbar **deutlich teurer als fossile Kraftstoffe**. Während beispielsweise Benzin heute unter 2 Euro/Liter kostet, liegt E-Benzin bei über 3,50 Euro/Liter (siehe Abbildung 4). Bis zum Jahr 2050 ist von deutlichen Kostenreduktionen auszugehen. In den meisten Szenarien werden für 2050 Produktionskosten zwischen 1 bis 2 Euro angenommen – im Mittel etwas unter 1,50 Euro (Agora Verkehrswende 2023; Frontier Economics 2024). Der Verbraucherpreis inklusive Steuern und Abgaben läge dann jedoch immer noch bei etwa 2,50 Euro/Liter – und auch nur sofern das Angebot an E-Fuels der Nachfrage hinterherkommt und es nicht zu Knappheitspreisen kommt. **Verbrenner-Pkw werden** bei ansteigender Beimischung von E-Fuels zukünftig in der Nutzung also tendenziell **immer teurer**.

**Abbildung 4: Vergleich der Kosten von Benzin und E-Benzin heute und langfristig**



Quelle: eigene Darstellung nach Frontier Economics (2024)

### ▪ E-Autos immer günstiger

**E-Autos** hingegen werden **tendenziell immer günstiger**. 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 (ICCT 2023). Bis 2030 könnte der Kostenvorteil sogar auf 10.000 Euro ansteigen (Fraunhofer ISI/ifeu 2022; Transport & Environment 2021a). Bei teureren Pkw und vor allem beim Diesel ist der Vorteil tendenziell sogar noch höher und steigt mit der Zeit weiter an (BCG 2021). Lediglich im Kleinwagensegment sind E-Autos vorerst noch teurer (ebd.).

### ▪ E-Fuels bedeuten hohe Kosten für Verbraucher\*innen, Wirtschaft und Gesellschaft

Die Kosten für E-Autos werden tendenziell weiter sinken, während die Kosten für Verbrenner (insbesondere mit E-Fuels) tendenziell weiter steigen. Ein **Festhalten am Verbrenner** wäre also vor allem **für die Kundinnen und Kunden kostspielig**. Und auch für Wirtschaft und Gesellschaft wäre der Weg aufgrund höherer Produktionskosten sowie externer Umwelt-, Klima- und Gesundheitskosten teurer.

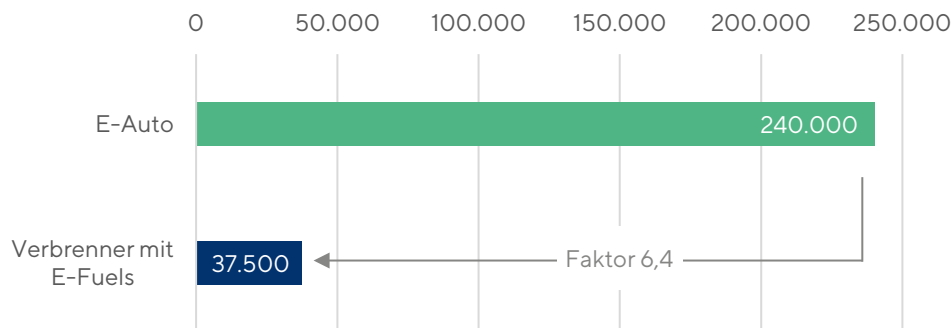
Ein Beispiel: Die Kosten für die Ausstattung der Pkw-Flotte Niedersachsens mit E-Fuels wären mit über 100 Mrd. Euro etwa **dreimal so hoch** wie für E-Autos (Borderstep Institut 2024). Auch die Produktion von E-Fuel-Verbrennern ist für Fahrzeughersteller rund dreimal teurer als die von E-Autos. Die gesamtgesellschaftlichen Kosten könnten aufgrund der Importabhängigkeit **rund zehnmal** so hoch liegen (Transport & Environment 2021a). Hinzu kommt der hohe Energiebedarf und Flächenverbrauch von E-Fuels, der den von E-Autos um ein Vielfaches übersteigt. Eine Studie des ICCT (2024) kommt zum Schluss, dass es deutlich günstiger wäre, alte Verbrenner mithilfe einer Abwrackprämie stillzulegen, statt sie zukünftig mit E-Fuels zu betanken.

## 7 Wie schneiden E-Fuels in puncto Energieeffizienz, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Schadstoffausstoß ab?

### ▪ E-Fuels sind ausgesprochen ineffizient

Mit E-Fuels betriebene Fahrzeuge sind deutlich ineffizienter als E-Autos und belasten die Umwelt dadurch mit einem sehr hohen Ressourcen- und Flächenbedarf. Der Wirkungsgrad von E-Autos liegt bei 70 bis 75 %, da elektrische Energie direkt im Fahrzeug gespeichert und genutzt wird. E-Fuels hingegen erfordern energieintensive Produktions- und Umwandlungsprozesse (siehe Abschnitt 1). Dies führt zu einem Wirkungsgrad von lediglich 13 bis 16 % (ADAC 2024; ICCT 2024; Wietschel et al. 2023). Das bedeutet, dass mit derselben Menge Strom ca. sechsmal so viele E-Autos wie E-Fuel-Verbrenner betrieben werden können (siehe Abbildung 5). In anderen Worten: 1 TWh bzw. rund 150 Windkraftanlagen onshore versorgen jährlich 240.000 E-Autos mit Strom oder 37.500 Verbrenner mit E-Fuels. Trotz zu erwartender Effizienzgewinne aufgrund technologischer Weiterentwicklung bleibt dieses Verhältnis auch in absehbarer Zukunft ähnlich (Agora Verkehrswende 2023; Ash et al. 2020). Da Strom aus erneuerbaren Energieträgern ein knappes Gut ist und bleibt, ist Effizienz im Verkehr von zentraler Bedeutung.

**Abbildung 5: Wie viele Fahrzeuge versorgt 1 TWh Strom (ca. 150 Windkraftanlagen onshore)?**



Quelle: eigene Darstellung auf Basis VDE (2021) und BMU (2021)

### ▪ E-Fuels sind klimaschädlicher

Im Vergleich über den gesamten Lebenszyklus (Produktion, Betrieb und Entsorgung) entstehen bei E-Autos rund 40 bis 50 % weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen als bei E-Fuels (Transport & Environment 2021a). Die Klimabilanz hängt dabei in erster Linie von der Stromerzeugung ab: Je höher der Anteil erneuerbaren Stroms, desto weniger klimaschädlich das Fahrzeug. Aufgrund des signifikant höheren Energiebedarfs bei E-Fuels fällt dies deutlich stärker ins Gewicht (vgl. Wietschel et al. 2023). E-Fuels belasten die Umwelt wegen des hohen Ressourcenverbrauchs also deutlich stärker. Der Vorteil der E-Autos wird mit zunehmender Umstellung auf Erneuerbare kleiner, bleibt dennoch auf absehbare Zeit relevant (Transport & Environment 2022).

### ▪ E-Fuels sind umwelt- und gesundheitsschädlich

Bei anderen Emissionen wie Luftschadstoffen schneiden E-Fuels ebenfalls schlechter ab und leisten im Gegensatz zum E-Auto keinen Beitrag zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit. Als chemisches Äquivalent zu fossilen Kraftstoffen verursachen E-Fuels in etwa dieselben Schadstoffemissionen wie fossil betriebene Verbrenner (ADAC 2024; Transport & Environment 2021b). Die ökologischen und gesundheitlichen Gefahren und Kosten der Luftverschmutzung<sup>4</sup> blieben mit E-Fuels bestehen. E-Autos hingegen fahren mit Ausnahme der Partikelemissionen durch Abrieb vollständig emissionsfrei.

<sup>4</sup> Schadstoffbedingte Luftverschmutzung gehört zu den größten Risikofaktoren für Krankheitslast, beispielsweise durch Atemwegserkrankungen, Asthma oder Lungenkrebs (vgl. FÖS 2024).

## 8 Wie hoch müssten E-Fuels subventioniert werden?

### ▪ Kostennachteil macht milliardenschwere Subventionierung erforderlich

Um den Kostennachteil von E-Fuels auszugleichen, schlagen einige Akteure vor, die **Energiesteuer auf E-Fuels** zu reduzieren. Für den deutschen Staat würde dies **Steuerausfälle in hohem zweistelligen Milliardenbereich** bis 2050 bedeuten und ein weiteres Loch in die zukünftige Verkehrsfinanzierung reißen.

Diesel und Benzin werden regulär mit 47,04 ct/l bzw. und 65,45 ct/l besteuert. In Frontier Economics (2024) wird eine Absenkung ab dem Jahr 2025 auf 0,54 ct/l für E-Diesel und 0,47 ct/l für E-Benzin berechnet – also nahezu eine vollständige Streichung der Steuer. Dadurch könnten E-Fuels irgendwann in den Jahren 2042 bis 2050 den Preis fossiler Kraftstoffe erreichen (ebd.). Bei der von Frontier Economics angenommenen Beimischungsquote von über 25 % würde der Steuerausfall allein im Jahr 2035 rund 3 Mrd. Euro betragen.<sup>5</sup> Hinzu kämen Steuerausfälle bei der Umsatzsteuer. Das heißt: Ohne staatliche Subventionen werden E-Fuels absehbar teurer bleiben als fossile Kraftstoffe (siehe Abbildung 4).

### ▪ Subventionen bei Herstellung statt Verbrauch ansetzen

Die steuerliche Besserstellung wäre **nicht technologieutral**; die Steuerhöhe läge sogar deutlich unter der Höhe der Stromsteuer. Auch wäre sie nicht anwendungsneutral, da sie fast ausschließlich dem Einsatz im Straßenverkehr zugutekommt. Luft- und Schifffahrt profitierten nicht, da sie ohnehin von der Energiesteuer befreit sind. Für die Anwendung in anderen Sektoren (z. B. als Heizstoff) gelten wiederum andere Regelungen.

Mehrere Milliarden Euro Steuergeld in den ineffizienten Einsatz von E-Fuels im Pkw in Deutschland zu stecken, erscheint also wenig sinnvoll. Zielgerichteter könnten **Subventionen bei der Forschung, Entwicklung, dem Aufbau der Infrastruktur und der Produktion** sein, so dass auch andere Bereiche vom gesteigerten Angebot und günstigeren Preisen profitieren.

---

<sup>5</sup> Zur Berechnung nehmen wir an, dass sich der Kraftstoffverbrauch bis dahin halbiert.

## Literatur

- ADAC (2024): Wie umweltfreundlich sind E-Fuels?. Abrufbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/e-fuels-test/>.
- Agora Verkehrswende (2023): E-Fuels zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Was strombasierte synthetische Kraftstoffe für die Energiewende im Verkehr leisten können – und was nicht. Abrufbar unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/e-fuels-zwischen-wunsch-und-wirklichkeit/>.
- Ash, N., Davies, A., Newton, C. (2020): Renewable electricity requirements to decarbonise transport in Europe with electric vehicles, hydrogen and electrofuels. Investigating supply-side constraints to decarbonising the transport sector in the European Union to 2050. Abrufbar unter: [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2020\\_Report\\_RES\\_to\\_decarbonise\\_transport\\_in\\_EU.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2020_Report_RES_to_decarbonise_transport_in_EU.pdf).
- BCG (2021): KLIMAPFADE 2.0: Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Abrufbar unter: <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf>.
- BMU (2021): Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz. 5. aktualisierte Auflage.
- Borderstep Institut (2024): Diskussionspapier. Niedersachsen und die E-Fuels. Abrufbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2024/05/Niedersachsens-Efuels-2024.pdf>.
- FÖS (2024): Einsparung gesellschaftlicher Kosten durch den öffentlichen Personennahverkehr. Abrufbar unter: [https://foes.de/publikationen/2024/2024-04\\_FOES\\_OEPNV.pdf](https://foes.de/publikationen/2024/2024-04_FOES_OEPNV.pdf).
- Fraunhofer ISI, ifeu (2022): Langfristige Umweltbilanz und Zukunftspotenzial alternativer Antriebs-technologien. Berlin.
- Frontier Economics (2024): Szenarien für den Markthochlauf von E-Fuels im Straßenverkehr. Abrufbar unter: [https://www.uniti.de/fileadmin/user\\_upload/FINAL\\_-\\_Szenarien\\_f%C3%BCr\\_den\\_Markthochlauf\\_von\\_E-Fuels\\_im\\_Stra%C3%9Fenverkehr\\_-\\_Druck\\_18102024.pdf](https://www.uniti.de/fileadmin/user_upload/FINAL_-_Szenarien_f%C3%BCr_den_Markthochlauf_von_E-Fuels_im_Stra%C3%9Fenverkehr_-_Druck_18102024.pdf).
- ICCT (2023): Are battery electric vehicles cost competitive? An income-based analysis of the costs of new vehicle purchase and leasing for the German market. Abrufbar unter: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/10/ICCT-Study-Cost-Ownership-BEV-Germany.pdf>.
- ICCT (2024): Cleaning up Germany's vehicle stock. Strategies to decarbonize the passenger car fleet. Abrufbar unter: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/10/ID-42-%E2%80%93-Vehicle-stock-Report-A4-70146-v6.pdf>.
- IEA (2024): World Energy Outlook 2024. Abrufbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a5ba91c9-a41c-420c-b42e-1d3e9b96a215/WorldEnergyOutlook2024.pdf>.
- NOW GmbH (2024): SAF-Monitor. Abrufbar unter: <https://erneuerbarekraftstoffe.de/saf-monitor/#bi>.
- Pfennig, M., Böttger, D., Häckner, B., Geiger, D., Zink, C., Bisevic, A., Jansen, L. (2023): Global GIS-based potential analysis and cost assessment of Power-to-X fuels in 2050. In: Applied Energy. Jg. 347, S. 121289.
- Prognos AG, Lübbers, S., Wünsch, M., Lovis, M., Wagner, J., Sensfuß, F., Luderer, G., Bartels, F. (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. Abrufbar unter: [https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5\\_Szenarienvergleich\\_final.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5_Szenarienvergleich_final.pdf).
- Odenweller, A., Ueckerdt, F. (2024): The green hydrogen ambition and implementation gap. Abrufbar unter: <https://arxiv.org/abs/2406.07210>.



- Qery (2024): Renewable Energy Capacity Tracker. Abrufbar unter: <https://qery.no/renewable-energy-capacity-tracker/>.
- Transport & Environment (2021a): E-fuels: why e-fuels in cars make no economic or environmental sense. Abrufbar unter: [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/Efuels-in-cars-briefing-correction\\_2024-04-29-111143\\_ddpy.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/Efuels-in-cars-briefing-correction_2024-04-29-111143_ddpy.pdf).
- Transport & Environment (2021b): Magic green fuels: Why synthetic fuels in cars will not solve Europe's pollution problems. Abrufbar unter: [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2021\\_12\\_TE\\_e-fuels\\_cars\\_pollution.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2021_12_TE_e-fuels_cars_pollution.pdf).
- Transport & Environment (2022): UPDATE - T&E's analysis of electric car lifecycle CO<sub>2</sub> emissions. Abrufbar unter: [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/TE\\_LCA\\_Update-June\\_corrected.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/TE_LCA_Update-June_corrected.pdf).
- VDE (2021): Antriebsportfolio der Zukunft. Ein Meinungsführer/-innen-Report aus Politik und Wirtschaft. Abrufbar unter: <https://www.vde.com/resource/blob/2068096/ba8b3274bcf9480b85f9bfd1d69bee80/studie-antriebsportfolio-der-zukunft-data.pdf>.
- Wietschel, M., Plötz, P., Dütschke, E., Neuner, F., Tröger, J., Gnann, T. (2023): Diskussionsbeitrag. Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.3.2023. Abrufbar unter: <https://doi.org/10.24406/publica-1241>.

## IMPRESSUM

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS)  
Geschäftsführende Vorständin: Carolin Schenuit  
Autoren: Matthias Runkel, Florin Collmer

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages