

E-Fuels

VCD Faktencheck

**E-Fuels im Straßenverkehr:
Heilsbringer oder Mogelpackung?**

Ausgangslage: Verkehr und Klima

Der Verkehr kommt beim Klimaschutz nicht voran. Noch immer emittiert der Sektor zu viele Treibhausgase und reißt die Klimaziele. Rund 95 Prozent der Treibhausgase im Verkehr stammen aus Pkw, Lkw und Bussen, die nach wie vor zu über 90 Prozent mit Diesel oder Benzin angetrieben werden. Um das zu ändern, braucht es eine Mobilitäts- und eine Antriebswende.

Die Bundesregierung hat als Ziel ausgegeben, dass bis 2030 bereits 15 Millionen Elektroautos auf unseren Straßen fahren sollen, und fördert mit Milliardensummen den Fahrzeugkauf und den Ausbau der Ladeinfrastruktur. Auch auf EU-Ebene wurden die Weichen gestellt: Ab 2035 dürfen in der EU nur noch neue Pkw zugelassen werden, die kein CO₂ ausstoßen, bzw. die klimaneutral sind. Das bedeutet: Ab diesem Zeitpunkt sind neue Benziner und Diesel passé. Davon unberührt sind ältere Autos mit Verbrennungsmotor, die weiterhin fahren dürfen.

Allerdings: Bei den Verhandlungen zu den neuen CO₂-Vorgaben hat Deutschland kurz vor Schluss durchgesetzt, dass es noch ein Schlupfloch für Verbrenner geben soll. Mit dem Argument der Technologieneutralität soll der Einsatz von E-Fuels als zusätzliche Option möglich sein. Demnach sollen Verbrenner weiterhin als Neuwagen erlaubt sein, wenn sie ausschließlich mit klimaneutralen E-Fuels betankt werden.

Wie dies genau aussehen soll ist noch unklar. Klar ist hingegen: Deutschland hat mit dieser kurzfristigen Intervention in Brüssel viel Porzellan zerschlagen. Seitdem wird über das Für und Wider gestritten.

Auf den ersten Blick klingt es bestechend. E-Fuels, die auf Basis erneuerbaren Stroms produziert wurden, könnten herkömmliche Autos mit Verbrennungsmotor antreiben und einen Beitrag zum klimaneutralen Straßenverkehr leisten. Der Kraftstoff könnte wie bisher an der Tankstelle gekauft werden, es bräuhete keine zusätzliche Infrastruktur. Somit müsste sich fast nichts ändern.

Was gut klingt, bedarf allerdings eines Realitätschecks. Oft ist zu gut weder gut noch wahr. Zu klären ist, wann und in welchen Mengen E-Fuels für den Straßenverkehr zur Verfügung stehen, welche Nutzungskonkurrenzen es gibt, was E-Fuels kosten werden und ob ihre Umweltbilanz wirklich so gut aussieht, wie oft dargestellt. Die alles entscheidende Frage lautet: Sind E-Fuels tatsächlich eine Option, um die Emissionen im Straßenverkehr zu senken oder sind sie eine Mogelpackung? Der VCD-Faktencheck gibt Antworten und trägt dazu bei, die Diskussion zu versachlichen.



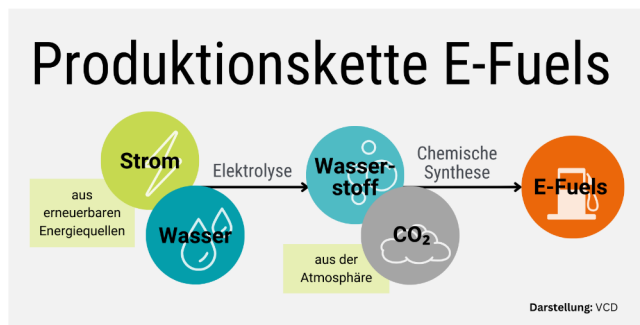
Dank E-Fuels weiter Diesel tanken?

Foto: Wassim Chouak / unsplash

Die alles entscheidende Frage lautet: Sind E-Fuels tatsächlich eine Option, um die Emissionen im Straßenverkehr zu senken oder sind sie eine Mogelpackung? Der VCD-Faktencheck gibt Antworten und trägt dazu bei, die Diskussion zu versachlichen.

Was sind E-Fuels und wie werden sie hergestellt?

E-Fuels oder strombasierte Kraftstoffe sind der Sammelbegriff für flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, bei denen die vorhandene Energie nicht aus fossilem Rohöl, sondern aus Strom stammt. Chemisch gleichen sie Benzin, Diesel oder Kerosin und können ohne große Anpassungen in herkömmlichen Verbrennungsmotoren genutzt werden. Sie werden auch als Power-to-Liquid, kurz PtL bezeichnet.



Um E-Fuels herzustellen, sind mehrere Schritte notwendig. Zunächst muss Wasser mithilfe von Strom in seine chemischen Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) aufgespalten werden. Diesen Schritt nennt man Elektrolyse. Damit kein zusätzliches Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre gelangt, muss der benötigte Strom aus erneuerbaren Energien kommen, beispielsweise aus Windkraft oder Sonnenenergie. Dann spricht man auch von grünem Wasserstoff. Dieser kann nun direkt als Energieträger verwendet werden, z.B. kann er als Ersatz von Koks in der Stahlproduktion dienen oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge antreiben.

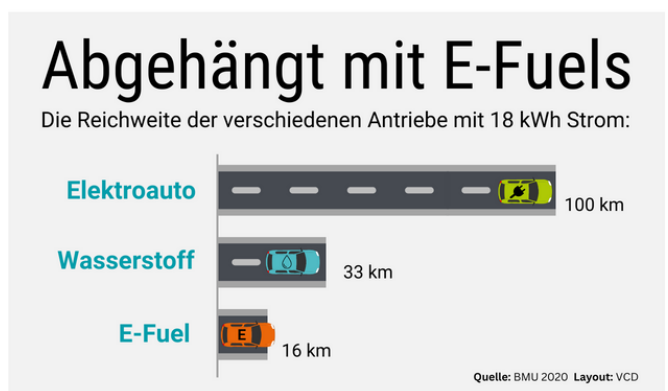
Um daraus einen Flüssigkraftstoff herzustellen, braucht es im nächsten Schritt Kohlendioxid (CO₂). Dieses stammt idealerweise aus der Luft, kann aber auch weniger umweltschonend aus Biomasse oder aus Industrie-Abgasen herausgefiltert werden. Aus Wasserstoff und Kohlendioxid entsteht dann in mehreren chemischen Syntheseprozessen ein synthetisches Rohöl. Dieses kann in der Produktionsanlage oder in einer Raffinerie zu jedem beliebigen Kraftstoff aufbereitet werden: Benzin, Diesel oder Kerosin.

Wie viel Energie benötigt die E-Fuels-Produktion?

Der Produktionsprozess macht deutlich: Neben Wasser, CO₂, Elektrolyseuren und Produktionsanlagen brauchen E-Fuels vor allem viel Energie! Diese wird quasi in jedem Produktionsschritt benötigt und erhöht den Bedarf an Ökostrom. Allein bei der Elektrolyse gehen bereits rund 30 Prozent der Energie verloren – am Ende des Prozesses sind in den E-Fuels von der zuvor eingesetzten Energie weniger als die Hälfte gebunden.

Das folgende Beispiel macht deutlich, wie groß der Energiebedarf ist: Nimmt man den Benzin- und Dieserverbrauch in Deutschland zum Maßstab, läge der Bedarf an erneuerbarem Strom für E-Fuels etwa doppelt so hoch wie der gesamte aktuelle deutsche Stromverbrauch. Um nur ein Prozent des deutschen Kraftstoffbedarfs mit E-Fuels zu decken, müssten bei einer Produktion in Deutschland bereits 485 bis 610 Windräder im Meer oder 2.300 bis 2.900 an Land zusätzlich den Betrieb aufnehmen.

Der notwendige Ökostrom muss zusätzlich zum laufenden Ausbau der erneuerbaren Energien erzeugt werden, damit er nicht für die effizientere direkte Nutzung fehlt. Da die Potenziale zur E-Fuel-Produktion in Deutschland wie in vielen weiteren europäischen Ländern sehr begrenzt sind, wird die Herstellung großer Mengen vor allem in sonnen- und windreichen Regionen in der Welt angesiedelt werden – vor allem in Nordafrika, Südamerika und Australien. Aber auch dort gilt: Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung müssen erst einmal auf- und ausgebaut werden, die Eigenversorgung hat Vorrang. Strom aus erneuerbaren Energien wird – auch global betrachtet – auf absehbare Zeit ein knappes Gut bleiben.

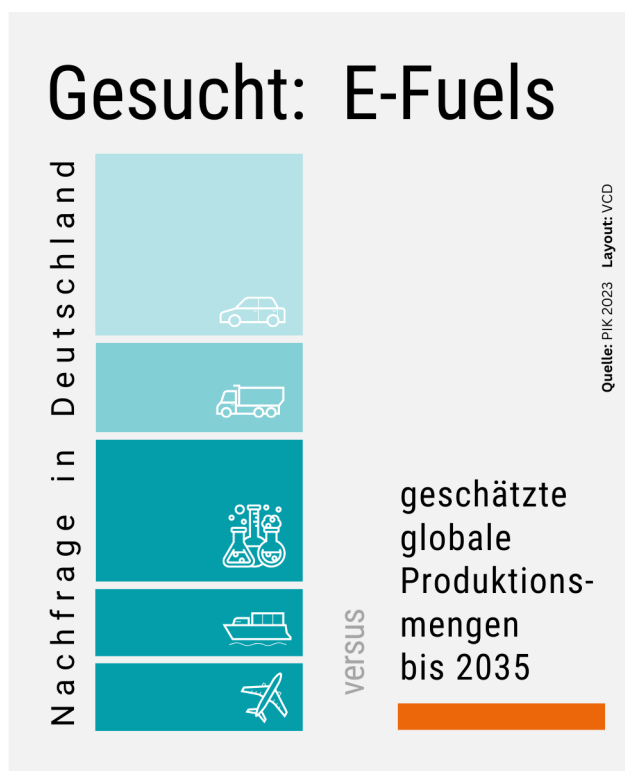


Nach der energieaufwändigen Produktion von E-Fuels kommt es beim Einsatz im Auto zu weiteren Verlusten. So ist der Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors im Vergleich zum Elektromotor gering, nur rund 20 Prozent der eingesetzten Energie werden auch auf die Straße gebracht. Der Rest verpufft als Wärme. Entsprechend liegt die Energieeffizienz von E-Fuels beim Einsatz im Pkw derzeit bei gerade einmal 15 Prozent. Einige Wissenschaftler*innen sprechen von noch niedrigeren Wirkungsgraden, andere von etwas höheren. Aber im direkten Vergleich mit einem Elektroauto gilt die Faustformel: Ein Elektroauto kommt mit der gleichen Energiemenge rund fünf bis sechs Mal weiter als ein mit E-Fuels betanktes (s. Grafik). Dies unterstreicht die wesentlich höhere Effizienz der direkten Stromnutzung.

E-Fuels benötigen viel erneuerbaren Strom. Zusätzlich verpufft viel Energie beim Einsatz im Auto. Die direkte Stromnutzung ist wesentlich effizienter und hat oberste Priorität.

Wieviel E-Fuels gibt es schon?

E-Fuels verlangen nicht nur enorme Strommengen und entsprechende Flächen für Photovoltaik und Windkraftanlagen, sie brauchen auch Fabriken und Infrastruktur für Produktion und Transport. Weltweit gibt es bisher nur wenige Anlagen, in der Regel befinden sie sich noch im Demonstrations- und Forschungsstadium. Von einer industriellen Großproduktion sind sie noch weit entfernt. Laut einer Analyse der Internationalen Energieagentur (IEA) sind zwar bis 2035 etwa 60 neue E-Fuel-Projekte angekündigt. Durch Investitionen abgesichert sind davon aber lediglich etwa ein Prozent. Somit ist es kein Wunder, dass die Menge an strombasierten Kraftstoffen noch lange äußerst knapp sein wird.



Stellt man die möglichen Einsatzbereiche für E-Fuels dem erwarteten Angebot gegenüber, wird deutlich, welche enormen Mengen produziert werden müssten. Die obige Grafik verdeutlicht: Selbst unter optimistischen Annahmen zur Produktionssteigerung würden die verfügbaren globalen Produktionsmengen nicht ausreichen. Sie würden gerade einmal zehn Prozent des deutschen Bedarfs in Chemieindustrie, Flugverkehr und Schifffahrt decken. Der Einsatz im Straßenverkehr würde den Bedarf nochmals verdoppeln. Und wir sprechen hier nur vom deutschen Bedarf.

Das Tempo beim Aufbau erneuerbarer Energiekapazitäten und Produktionsanlagen begrenzt die Menge an verfügbaren, nachhaltigen E-Fuels und damit das Wachstum der Produktion. Eine Massenproduktion ist vorerst nicht in Sicht.

Wo werden E-Fuels gebraucht?

Nicht nur Deutschland setzt auf E-Fuels und grünen Wasserstoff. Weltweit wollen immer mehr Länder den kostbaren Stoff nutzen. Treiber ist neben dem Verkehr auch die Industrie. So sind beispielsweise in der chemischen Industrie oder für die Stahlerzeugung grüner Wasserstoff und dessen Folgeprodukte die einzige Option für den Ersatz fossiler Energieträger und Ausgangsstoffe. Schließlich muss auch die Industrie ihre CO₂-Emissionen auf null senken.

Aber auch im Verkehr gibt es Bereiche, die sich absehbar nicht direkt elektrifizieren lassen, weshalb E-Fuels dort ein wichtiges Instrument für die CO₂-Reduktion darstellen. Dies sind der Flugverkehr und die Schifffahrt. Um die Produktion von E-Fuels für Flugzeuge und Schiffe zu steigern, hat die EU in beiden Bereichen eine verbindliche Mindestquote für E-Fuels beschlossen:

- Im Flugverkehr müssen E-Fuels ab 2030 zunächst 1,2 Prozent der gesamten Kraftstoffmenge in der EU ausmachen, 2032 zwei Prozent und bis 2050 soll ihr Anteil auf mindestens 35 Prozent steigen.
- Für die Seeschifffahrt gilt EU-weit ab 2034 eine Quote von mindestens zwei Prozent.
- Deutschland hat darüber hinaus eine nationale E-Fuels-Quote für den Luftverkehr eingeführt. Bereits ab 2026 müssen mindestens 0,5 Prozent der hier getankten Flugtreibstoffe aus E-Fuels bestehen, bis 2030 steigt die Vorgabe auf zwei Prozent.

E-Fuels sind eine unverzichtbare Alternative für den Luftverkehr und die Schifffahrt sowie für Teile der Industrie. Hier ist der Einsatz zielgerichtet zu sichern. Die verfügbaren Kraftstoffmengen reichen hierfür kaum aus. Somit würde der Straßenverkehr um die knappen Mengen konkurrieren.



E-Fuels sind wichtig – in der Schifffahrt und im Flugverkehr.

Foto: William William / unsplash

Sind E-Fuels tatsächlich emissionsfrei?

Die Motivation für die Nutzung von E-Fuels im Verkehr ist der Klimaschutz. E-Fuels werden gerne als klimaneutrale Kraftstoffe bezeichnet, da bei der Verbrennung nur die Menge an CO₂ freigesetzt wird, die zuvor bei der Produktion aufgewendet wurde. Nahezu klima- oder CO₂-neutral sind E-Fuels aber nur, wenn für alle Prozesse ausschließlich erneuerbarer Strom eingesetzt wird und das verwendete CO₂ aus der Atmosphäre stammt. Mit der falschen Energie- oder CO₂-Quelle kippt der Klimavorteil schnell ins Negative. Daher ist die aktuelle Diskussion, E-Fuels bereits ab einem Klimavorteil von 70 Prozent gegenüber herkömmlichem Sprit als klimaneutral zu bezeichnen, absurd. Mit E-Fuels betankte Fahrzeuge stoßen dann immer noch bis zu fünf Mal mehr CO₂ aus als Elektroautos, die mit Ökostrom fahren.



Egal ob E-Fuels oder Benzin, die Abgase bleiben.

Foto: Matt Boitor / unsplash

Beachtet werden muss auch: In vielen Ländern, die als E-Fuel-Produzenten in Frage kommen, ist die Stromproduktion noch sehr fossil-lastig, d.h. die Kapazitäten an Erneuerbaren müssen erst aufgebaut werden. Dabei muss die eigene Stromversorgung der Länder zunächst Priorität haben, bevor große Mengen für die E-Fuels-Produktion eingesetzt werden können.

Weitere Umweltwirkungen im Zusammenhang mit der Produktion sind der enorme Flächen-, und Rohstoffbedarf für die Stromerzeugung, die Elektrolyseure und die Produktionsanlagen. Dieser wirkt sich ebenfalls auf die Ökobilanz von E-Fuels aus. Diese Faktoren sind auch bei der Bilanz von Elektroautos zu berücksichtigen. Allerdings ist der Strombedarf bei Elektroautos um den Faktor fünf bis sechs geringer (s. oben), entsprechend werden weniger Flächen für die Stromerzeugung benötigt.

Hinzu kommt der Wasserbedarf für die Elektrolyse. Je Kilogramm produzierten Wasserstoffs werden etwa 10 Kilogramm reinstes Wasser benötigt. Die Wasserverfügbarkeit

ist aber in vielen Ländern, die zur E-Fuels-Produktion vorgesehen sind, ein Problem. Eine Lösung ist entsalztes Meerwasser. Meerwasser-Entsalzungsanlagen wiederum sind energieintensiv zu betreiben und die Ableitung des abgeschiedenen Salzes kann zu weiteren Umweltproblemen führen.

Das zeigt: Die Herstellung von E-Fuels birgt gerade in Ländern des globalen Südens zahlreiche Umweltrisiken. Denn die Massenproduktion von E-Fuels ist ohne die Energie-Ressourcen aus anderen Ländern nicht machbar. Während die so gewonnene Energie exportiert wird, bleiben die Umweltschäden vor Ort. Bestes Beispiel sind die Folgen der Erdölgewinnung und des Transports. Dies gilt es zu verhindern. Darum braucht es klare Nachhaltigkeitsregeln und Governance-Strukturen für die Produktion von E-Fuels und Wasserstoff allgemein, damit unsere Verkehrs- und Energiewende nicht zu Lasten von Mensch und Natur im globalen Süden vorangetrieben wird. Das gleiche gilt im Übrigen auch für den Abbau der Rohstoffe für Batterien.

Die Klima- und Umweltbilanz von E-Fuels steht und fällt mit dem Anteil des zur Herstellung genutzten erneuerbaren Stroms, der Art der Wasserstoff- und CO₂-Quelle sowie den Produktionsbedingungen vor Ort. Steht nicht ausreichend erneuerbarer Strom zur Verfügung oder stammt das CO₂ nicht aus der Luft, sondern aus industriellen Prozessen, verursachen E-Fuels mehr Treibhausgase als die fossilen Kraftstoffe, die sie ersetzen sollen. Der Betrieb von Elektroautos benötigt zwar auch viele Ressourcen, ist aber im direkten Vergleich zum E-Fuels-Auto wesentlich effizienter und verbraucht weniger Ressourcen und Fläche.

Verbrennen E-Fuels im Motor sauberer?

Selbst wenn die Produktion von E-Fuels klimaneutral erfolgt, werden bei der Verbrennung im Motor nicht nur Klimagase, sondern auch Schadstoffe freigesetzt. Da sie der chemischen Zusammensetzung konventioneller Kraftstoffe gleichen, entstehen genauso viel CO₂ und unverbrannte Nebenprodukte wie bei Benzin oder Diesel. Aktuelle Tests zeigen, dass der Ausstoß von Stickoxiden und Partikeln in etwa dem Niveau heutiger moderner Benziner und Diesel entspricht, aber deutlich höhere Werte möglich sind, wenn es etwa um das hochschädliche Kohlenmonoxid (CO) oder um Ammoniak geht. Letzteres bildet in der Luft Sekundärpartikel und trägt damit indirekt zur Feinstaubbelastung bei. Also bleibt auch mit E-Fuels eine wirkungsvolle Abgasreinigung durch Filter und Katalysatoren notwendig.

E-Fuels verursachen mindestens so viele Luftschadstoffe wie Benziner und Diesel. Demgegenüber sind E-Autos im Betrieb CO₂- und schadstofffrei.

Was werden E-Fuels an der Tankstelle kosten?

Tanken können Sie E-Fuels bisher noch nicht. Da bisher keine kommerziellen Anlagen zur Produktion von E-Fuels in Betrieb sind, gibt es auch keine verlässlichen Aussagen zu Marktpreisen oder künftigen Kosten. Die zu erwartenden Kosten für unterschiedliche E-Fuels werden daher in wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Studien nur geschätzt. Danach liegt die Spanne der Produktionskosten heute bei 2,20 Euro bis 4,80 Euro pro Liter. Zum Vergleich: Der Marktpreis heutiger fossiler Kraftstoffe beträgt ca. 0,60 bis 0,70 Euro pro Liter. E-Fuels wären somit um ein Mehrfaches teurer als herkömmlicher Sprit. Schätzungen gehen davon aus, dass die Kosten bis 2050 etwa auf 1,20 bis 3,60 Euro pro Liter sinken könnten. Dabei handelt es sich allerdings nur um die reinen Netto- bzw. Produktionskosten. Neben der Gewinnmarge kommen an der Tankstelle noch einmal Steuern und Abgaben hinzu. Da, wie bereits ausgeführt, E-Fuels auch in den kommenden Jahren knapp bleiben werden, dürften die Marktpreise zunächst weiterhin hoch bleiben. Für längerfristig hohe Kosten spricht auch eine aktuelle Analyse der Boston Consulting Group (BCG). Diese kommt zum Ergebnis, dass grüner Wasserstoff, der Grundstoff für E-Fuels, statt drei Euro pro Kilogramm ab 2030 voraussichtlich zwischen fünf bis acht Euro kosten könnte. Grund seien neben Inflation, steigenden Zinsen und hohen Strompreisen auch unterschätzte Gesamtkosten bei Projekten für grünen Wasserstoff.

Damit wird das Argument widerlegt, E-Fuels seien eine Alternative gerade für diejenigen, die sich kein E-Auto leisten können. Für einen Kostenvergleich müssen zudem die

gesamten Autokosten als Basis herangezogen werden. Danach fahren E-Autos in vielen Fällen bereits heute günstiger als ein Verbrenner – und dieser Kostenvorteil wird in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Ausgeblendet wird auch, dass über die Hälfte aller Haushalte mit geringem Einkommen überhaupt kein Auto besitzen.

Noch können E-Fuels nicht an der Tankstelle getankt werden, entsprechend gibt es auch noch keine Marktpreise. Aufgrund der hohen Kosten für alle Prozesse bleiben E-Fuels absehbar deutlich teurer als herkömmliche Kraftstoffe. Das E-Auto ist im direkten Vergleich schon heute günstiger, wenn man die Gesamtkosten und nicht nur den Kaufpreis betrachtet.



„Einmal vollmachen bitte.“ – Mit E-Fuels kaum bezahlbar.

Foto: Dawn Mcdonald / unsplash

Fazit

E-Fuels zum Einsatz in Pkw und Lkw sind eine Verbrauchertäuschung. Der Faktencheck zeigt: Produktionskapazitäten bleiben absehbar begrenzt und die Kosten hoch, die Klimavorteile hängen von zahlreichen Rahmenbedingungen ab, die Produktion ist flächen- und ressourcenintensiv. Entsprechende Nachhaltigkeitskriterien für die Produktion sind überfällig. E-Fuels sollten daher nur dort eingesetzt werden, wo es keine anderen Alternativen zum direkten Stromeinsatz gibt. Das sind neben Teilen der chemischen Industrie die Luft- und Schifffahrt. Alleine diesen Bedarf zu decken, ist Herausforderung genug.

Im Straßenverkehr hingegen besteht mit dem Batterieantrieb eine ausgereifte, effiziente und nachhaltige Alternative – mit hohem Entwicklungspotenzial, was Ressourcenverbrauch der Batterie, Reichweite und Kosten angeht. Es gibt keinen Grund, zusätzlich weiterhin auf den Verbrennungsmotor mit E-Fuels zu setzen, abgesehen von Nischenanwendungen für Sonderfahrzeuge.



Besser als E-Fuels für den Pkw: der Elektroantrieb

Foto: Chuttersnap / unsplash

Weltweit setzen Autohersteller auf den Elektroantrieb und investieren Milliardensummen in diese Technik. Auch die deutschen Hersteller setzen darauf. Zum Teil wollen sie bereits deutlich vor 2035 ausschließlich reine E-Pkw anbieten und bis dahin ihre Verbrennermodelle nach und nach auslaufen lassen. In diese Strategie passen keine E-Fuels. Denn Verbraucher*innen könnten sich fragen: Warum sollte ich mir ein Elektroauto kaufen, wenn ich doch bald mit E-Fuels meinen Verbrenner weiterfahren kann?

Eine Folge der E-Fuels-Debatte könnte sein, dass die Nachfrage nach reinen Stromern langsamer steigt und Verbrenner noch länger fahren. Dies würde der Klimabilanz des Verkehrs schaden, aber auch der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Autohersteller. Schon jetzt drohen sie gegenüber Tesla und zunehmend auch gegenüber der chinesischen Konkurrenz zurückzufallen.

Autofahrerinnen und -fahrer sollten sich daher nicht von den E-Fuels-Befürwortern blenden lassen – sie sollten auf Basis von Fakten und Argumenten für sich entscheiden, wie lange sie noch einen Verbrenner fahren wollen. Kosten- und Klimabilanz sprechen eindeutig für den Elektroantrieb.

Grundsätzlich können aber Kosten gespart und das Klima entlastet werden, wenn Sie öfter das Auto stehen lassen und stattdessen das Rad oder die Füße, Bus oder Bahn nutzen. Und wer ab und zu mal doch ein Auto braucht: Carsharing oder ein Mietwagen sind eine gute und preisgünstige Alternative zum Autobesitz und zunehmend bereits elektrisch.

Quellenverzeichnis

Agora Verkehrswende (2023): E-Fuels zwischen Wunsch und Wirklichkeit. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2023/E-Fuels_zwischen_Wunsch_und_Wirklichkeit/103-E-Fuels.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2023): FAQ CO₂-Flottengrenzwerte. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/co2_flottengrenzwerte_faq_230308_bf.pdf

Fraunhofer Institut (2023): Diskussionspapier: Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung. <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-05-efuels-nicht-sinnvoll-fuer-pkw-und-lkw.html>

FutureFuels (2023): Grüne Energie aus der MENA-Region. <https://futurefuels.blog/in-der-theorie/gruene-energie-aus-der-mena-region/>

Handelsblatt (2023): Grüner Wasserstoff ist deutlich teurer als gedacht. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/bcg-studie-gruener-wasserstoff-ist-deutlich-teurer-als-gedacht/29443386.html>

International Council on Clean Transportation, ICCT (2023): Elektroautos in Deutschland bei Gesamtkosten günstiger als vergleichbare Benziner. <https://theicct.org/pr-elektroautos-deutschland-gesamtkosten-gueltiger-als-vergleichbare-benziner/>

Institut für Energie- und Umweltforschung, ifeu (2022): Entwicklung von PtX-Nachhaltigkeitsstandards und -indikatoren. <https://www.ifeu.de/projekt/entwicklung-von-ptx-nachhaltigkeitsstandards-und-indikatoren/>

Nature Climate Change (2021): Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01032-7>

Ökoinstitut (2019): Die Bedeutung strombasierter Stoffe für den Klimaschutz in Deutschland. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PtX-Hintergrundpapier.pdf>

Ökoinstitut (2020): Kurzstudie: E-Fuels im Verkehrssektor. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/E-Fuels-im-Verkehrssektor-Hintergrundbericht.pdf>

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PIK (2023): E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen. https://www.pik-potsdam.de/members/ueckerdt/E-Fuels_Stand-und-Projektionen_PIK-Potsdam.pdf

Welt (2023): Dramatische Hürden beim Ausbau der Wasserstoffproduktion. <https://www.welt.de/wissenschaft/article245714822/Energiewende-Dramatische-Huerden-beim-Ausbau-der-Wasserstoffproduktion.html>

Impressum



Verkehrsclub Deutschland e.V.
Wallstraße 58 | 10179 Berlin
www.vcd.org

Bei Rückfragen:

Michael Müller-Görnert
030 / 280351-19
michael.mueller-goernert@vcd.org

Autor: Michael Müller-Görnert
Layout: Sofie Kreusch

Titelfoto: Jonathan Kemper / unsplash

© VCD e.V. | 11/2023



In Kooperation mit dem Umweltdachverband Deutscher Naturschutzring:



DNR
DEUTSCHER
NATURSCHUTZRING

Der Deutsche Naturschutzring wird gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz sowie vom Bundesamt für Naturschutz auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz



Bundesamt für
Naturschutz