

Der Traum vom sauberen Verbrennungsmotor

► Text: Reinhard Huschke ► Fotos: Hersteller



Im Pkw-Sektor stehen alle Zeichen auf elektrisch:

In der EU dürfen nach 2035 keine Pkw mit Verbrennungsmotor mehr neu zugelassen werden. Doch in der Industrie gibt es nach wie vor Stimmen, die den Verbrennungsmotor mit Hilfe klimaneutraler E-Fuels über die Zeit retten wollen. Bis auf Weiteres dürfte das grüne Benzin allerdings ein knappes Gut bleiben.

Porsche will Vorreiter sein: Gemeinsam mit Siemens Energy, Exxon Mobil und weiteren Partnern will der Sportwagenbauer in einer Pilotanlage im windreichen Süden Chiles CO₂-neutrales Benzin herstellen – anfangs für den Einsatz im Rennsport, ab 2026 auch für die Fahrzeuge seiner Kunden. Über 100 Millionen Euro hat sich Porsche dieses Engagement bisher kosten lassen. CEO Oliver Blume hält E-Fuels für eine „effektive, ergänzende Lösung“ zur Elektromobilität, um CO₂-Emissionen zu reduzieren: „Wir müssen auch den Besitzern von Bestandsfahrzeugen eine Perspektive bieten.“

Mit seiner Ansicht steht Blume nicht allein – auch BMW sowie viele Zulieferer, darunter Bosch, plädieren für „Technologieoffenheit“ im Straßenverkehr (vgl. auch *Elektroautomobil* 06/2022, S. 94 ff.). Die Mineralölindustrie, die auch in Zukunft gern flüssige Kraftstoffe verkaufen

würde, stimmt ebenfalls in den Chor der Technologieoffenen mit ein. Auch hundertprozentige Befürworter der Elektromobilität bestreiten die Bedeutung regenerativ erzeugter Kraftstoffe für den Klimaschutz nicht, sehen deren Anwendung aber prioritär in Bereichen, für die es bisher keine andere Perspektive zur Dekarbonisierung gibt: für den Antrieb von Schiffen und Flugzeugen im Langstreckenverkehr. Der mittels Wind- und Sonnenenergie hergestellte „grüne“ Wasserstoff, das Vorprodukt von E-Fuels, ist außerdem heiß begehrt in der Stahl- und Chemieindustrie.

Effizienz von E-Fuels: eine Frage der Perspektive

Dass der Einsatz von E-Fuels im Straßenverkehr umstritten ist, liegt an zwei Faktoren: ihrem geringen Wirkungsgrad sowie ihrer auf absehbare Zeit mangelnden Verfügbarkeit. „Well to



GRATWANDERUNG

E-Fuels - Die Rettung der Verbrennungsmotoren?

wheel“, also von der Erzeugung bis zum Rad, bleiben aufgrund des verlustreichen Produktionsprozesses und der ineffizienten Verbrennung weniger als 15 Prozent der anfangs eingesetzten Energie übrig, während es bei der direkten Stromnutzung in einem BEV etwa 75 Prozent sind. Man müsste hierzulande also rund fünfmal so viel Kapazität an erneuerbaren Energien aufbauen, um gleich viele Autos klimaneutral zu bewegen – ein offensichtlich widersinniges Unterfangen. Manche sehen in den Plädoyers pro Technologieoffenheit und E-Fuels daher keinen diskussionsfähigen Vorschlag, sondern eher einen letzten Versuch von Lobbygruppen, den Technologiewandel zur Elektromobilität zu sabotieren.

Dass man das Thema der Effizienz auch ganz anders bewerten kann, zeigte eine im Auftrag der deutschen Mineralölindustrie erstellte Studie der Wirtschaftsberatung Frontier Economics vom Oktober 2020. Die Argumentationslinie ist wie folgt: Erzeugt man den Grünstrom für E-Fuels nicht in Deutschland, sondern mit PV-Anlagen in Marokko oder Windkraftanlagen in Chile, lässt sich bis zu zweieinhalbmal so viel Energie ernten; hiesige Anlagen gleicher Leistung liefern im Vergleich also nur etwa 40 Prozent.








Berücksichtigt man diesen „Effizienzverlust“ von 60 Prozent, bleiben bei einem BEV statt 75 auch nur 15 Prozent der Energie am Rad übrig. Fazit der Studienautoren: „Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, die mit klimaneutralen Kraftstoffen (PtL) angetrieben werden, weisen bei einem gesamtheitlichen Effizienzvergleich für Produktion und Nutzung eine ähnlich gute Energie-Gesamtbilanz auf wie batteriegetriebene Fahrzeuge.“

Sieht man einmal davon ab, dass in den Frontier-Berechnungen eher günstige Annahmen für E-Fuels und weniger günstige für den Elektroantrieb getroffen wurden, ist der Denkansatz an sich nicht falsch. Denn es ist heute schon absehbar, dass ein Großteil der E-Fuels aus sonnen- oder windreichen Ländern importiert werden wird, während BEV hierzulande auf eine ortsnahe, weniger ertragreiche erneuerbare Stromversorgung angewiesen sind. Für in unseren Breiten produzierte E-Fuels funktioniert der Rechen-trick allerdings nicht.

Verfügbarkeit und Kosten: eine Wette auf die Zukunft

Haben die Befürworter von E-Fuels damit einen Punkt? Durchaus, gäbe es da nicht den zweiten Aspekt der (mangelnden) Verfügbarkeit und, damit verbunden,

Vergleich der Versorgungskapazität einer Windkraftanlage für verschiedene Antriebstechnologien: Während eine (inländische) Windkraftanlage um die 1.600 Elektroautos mit Energie versorgen kann, reicht die gleiche Strommenge für die daraus gewonnenen E-Fuels gerade einmal für 250 Fahrzeuge. (Quelle: VDE)

Energiequelle	Energieträger	Antrieb	Lokal emissionsfrei	Eine 3-MW-Windkraftanlage versorgt ...
Strom  Windkraftanlage z. B. 3 MW 2000 Vollaststunden pro Jahr	Strom		✓	 1.600 Fahrzeuge
	H ₂		✓	 600 Fahrzeuge
	E-Fuel		✗	 250 Fahrzeuge



Prof. Dr. Martin Wietschel
ist Leiter des Competence Centers
Energietechnologien und Energiesysteme
am Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe.

Den Straßenverkehr können wir auf absehbare Zeit nicht bedienen

Elektroautomobil: Herr Professor Wietschel, brauchen wir E-Fuels im Straßenverkehr?

Martin Wietschel: Wir brauchen sie perspektivisch als Drop-in-Kraftstoffe, also zur Beimischung. Ein Pkw lebt in Deutschland derzeit 15 Jahre – wenn wir bis 2045 klimaneutral werden wollen, dürften wir sonst ab 2030 keine konventionellen Fahrzeuge mehr verkaufen. Andererseits: Für die Herstellung von E-Fuels benötigen wir große Mengen an grünem Wasserstoff, wofür derzeit weltweit nur minimale Produktionskapazitäten existieren. Auf der anderen Seite haben wir Sektoren, für die wir unbedingt Wasserstoff brauchen: Stahl, Grundstoffchemie, internationaler Flug- und Schiffsverkehr.

Würde eine Anwendung im Straßenverkehr den Markthochlauf nicht beschleunigen, wie E-Fuel-Befürworter argumentieren?

Allein in Deutschland und nur für die genannten Sektoren brauchen wir im Jahr 2045 schon rund 450 Terawattstunden aus grünem Wasserstoff. Und andere Länder haben ebenfalls einen großen Bedarf. Der Straßenverkehr wäre schon ein großer Markt, den können wir auf absehbare Zeit aber nicht bedienen. Zudem haben wir hierfür mit der Elektromobilität eine bessere und schon heute verfügbare Alternative.



E-Fuel-Pilotanlage in Chile: Vor Ort werden aus Windenergie, daraus erzeugtem Wasserstoff und CO₂ aus der Umgebungsluft die E-Fuels hergestellt, die anschließend per Schiff nach Europa transportiert werden. Quelle: Siemens Energy

einer schwer kalkulierbaren Preisentwicklung. Zwar sind die technischen Hürden überschaubar, denn die zur Herstellung benötigten Verfahren sind im Wesentlichen bekannt und erprobt. Bisher existieren allerdings nur kleine Versuchsanlagen, der großtechnische Roll-out steht noch aus. Experten, auch E-Fuel-Befürworter, erwarten deshalb nicht, dass grüner Wasserstoff und klimaneutrale Kraftstoffe vor 2030 in nennenswerten Mengen zur Verfügung stehen werden – nicht einmal für die priorisierten Anwendungen, geschweige denn für Pkw mit Verbrennungsmotor.

Zwar gibt es riesige Potenziale in den sonnen- und windreichen Ländern dieser Welt – z. B. in West- und Südafrika, Chile, Australien, Kanada –, aber der Aufbau der benötigten Infrastruktur für Produktion und Transport braucht Zeit – und Milliardeninvestitionen. Gegenwärtig tut sich schon einiges: Neben dem vergleichsweise kleinen Porsche-Projekt, bei dem der Fokus eher auf der Versorgung der eigenen Bestandsflotte liegt, soll in den kommenden Jahren im südafrikanischen Namibia eine wahre „Gigafactory“ für grünen Wasserstoff entstehen. Das vom Brandenburger Energieunternehmen Enertrag initiierte Projekt soll 2030 bis zu 350.000 Tonnen grünen Wasserstoff pro Jahr produzieren, entsprechend einem Energieinhalt

Wie viel werden E-Fuels kosten? Porsche geht bei seinem Projekt „Haru Oni“ von 2 Dollar pro Liter aus.

Ein Marktpreis von 2 Dollar ist sicher nicht realistisch. Viele machen den Fehler und schauen lediglich auf die Produktionskosten vor Ort, z. B. in Chile. Oftmals werden auch Risikoaufschläge, etwa für die Finanzierung, zu niedrig angesetzt. So kommen dann teilweise Traumzahlen zustande. Ich halte aufgrund unserer Analysen eher 3 bis 3,50 Euro nach Steuern für realistisch – für die Zeit nach 2030, vorher wird der Preis noch deutlich höher liegen. Das schockt vielleicht einen Porsche-Fahrer nicht, der weiter seine Vibrationen und Motorengeräusche haben will, aber für den Massenmarkt sehe ich das nicht.

Die Kosten für erneuerbaren Strom liegen in sonnen- und windreichen Ländern allerdings viel niedriger als bei uns.

Chile und Marokko haben tatsächlich sehr günstige Potenziale, aber wir werden auch teurere Standorte

erschließen müssen, um die weltweite Nachfrage zu bedienen. Es wird also Grenzkosten und Grenzpreise geben, sodass dann nach dem Merit-Order-Prinzip auch für die günstigeren Standorte höhere Preise verlangt werden. Und die genannten Sektoren werden mangels Alternativen die höheren Preise auch zahlen müssen, um Treibhausgasneutralität zu erreichen.

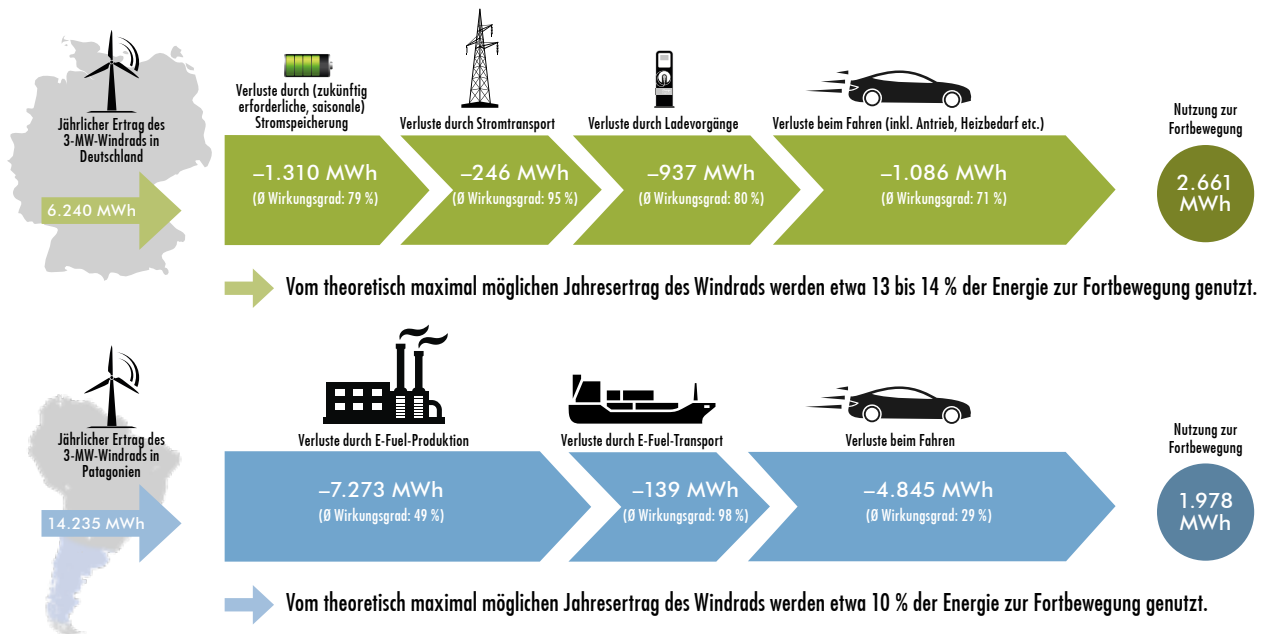
Wird es in absehbarer Zukunft wirklich erneuerbare Energien im Überfluss geben, sodass der niedrige Wirkungsgrad des PtL-Pfads keine Rolle mehr spielt?

Schauen wir uns doch einmal Länder wie Marokko oder Australien an: Dort basiert die Stromerzeugung noch überwiegend auf Kohle, Öl und Gas. Warum sollten wir dort mit schlechtem Wirkungsgrad E-Fuels für den Export erzeugen? Viel hilfreicher für den Klimaschutz und wirtschaftlich günstiger wäre es, erst einmal die

Energieversorgung vor Ort zu dekarbonisieren. Langfristig kann es dann genug an Erneuerbaren geben, aber der Aufbau der Produktionskapazitäten ist zeit- und kapitalintensiv.

Warum verstummt die Diskussion um E-Fuels für Pkw trotzdem nicht?

E-Fuels sind vielleicht noch für Porsche wichtig – wegen des 911ers –, ansonsten hat sich das Thema nach meinem Eindruck, zumindest in Europa, weitgehend erledigt. Die Automobilhersteller wissen, dass die Verbrennertechnologie ein auslaufender Pfad ist – die Forschung an Verbrennungsmotoren wurde vielfach schon eingestellt. Allenfalls die Zulieferindustrie hat mit der Umstellung auf Elektromobilität derzeit noch ein Problem.



von ca. 12 Terawattstunden. (Zur Einordnung: Die deutsche Bundesregierung geht für 2030 von einem jährlichen Bedarf von 90 bis 110 TWh aus.) Weitere Wasserstoff- und E-Fuel-Großprojekte sind unter anderem in Norwegen, Australien, Marokko und Saudi-Arabien in Planung.

Ob und wann all diese Quellen wirklich sprudeln, ist noch unsicher. Dasselbe gilt für den künftigen Preis des klimaneutralen Benzins: Während Porsche bei

seiner Pilotanlage von zwei US-Dollar pro Liter (vor Steuern) ausgeht, rechnen einschlägige Studien mit Preisen von bis zu fünf Dollar – allein für die Produktion, also noch ohne Transport und Aufbereitung am Zielort. Auch Finanzierungs- und Länderrisiken würden oftmals zu wenig berücksichtigt, warnt Martin Wietschel, Professor am Fraunhofer ISI (siehe nebenstehendes Interview): Risikobedingt höhere Zinsen seien bei kapitalintensiven Anlagen ein entscheidender

Alternative Effizienzrechnung: Ein in Deutschland aufgestelltes Windrad kommt im Schnitt auf nur 2.071 Volllaststunden im Jahr (das entspricht ca. 32 % Auslastung). Stünde das gleiche Windrad in Chile, könnte das Windrad pro Jahr deutlich mehr Energie erzeugen (4.730 Volllaststunden). Trotz des aufwendigen Herstellungsprozesses und dem zusätzlichen Transportaufwand für E-Fuels käme nach Berechnungen von Frontier Economics dann fast gleich viel Energie am Fahrzeug an, bezogen auf das Potential der installierten Windkapazität.

Eigene Darstellung mit eigenen Berechnungen. Wirkungsgrade und Annahme Volllaststunden gemäß der Studie von Frontier Economics.



E-Fuel-Produktionsanlage „Haru Oni“: Die Ende 2022 in Betrieb gegangene, von Siemens Energy, Porsche und weiteren Partnern aufgebaute PtL-Produktionsanlage befindet sich in der Nähe von Punta Arenas im Süden Chiles. Mit Windstrom wird grüner Wasserstoff erzeugt, der vor Ort durch Zuführung von CO₂ aus der Luft (DAC: Direct air capture) in Methanol und in einem weiteren Prozessschritt in PtL-Kraftstoffe umgewandelt wird. Im Pilotbetrieb soll die Anlage anfangs ca. 130.000 Liter E-Fuels pro Jahr erzeugen; in den kommenden Jahren soll die Kapazität schrittweise auf 55 Millionen Liter (ausreichend für einen Jahrgang Porsche 911) und im Endausbau auf 550 Millionen Liter pro Jahr erweitert werden. Quelle: Siemens Energy

Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Für höhere Kosten könnte auch das – spätestens seit der aktuellen Entwicklung der Gas- und Strompreise vielen bekannte – Merit-Order-Prinzip sorgen: Wenn die Erzeugungskapazitäten knapp sind, bestimmt der teuerste Anbieter den Preis für alle Marktteilnehmer. Auch bei Porsche räumt man ein, dass der Endkundenpreis derzeit noch „schwer zu schätzen“ sei.

Wichtig ist (auch), was hinten rauskommt

Trotz des aktuellen Hypes um grünen Wasserstoff werden die einheimisch erzeugten und importierbaren Mengen nach Ansicht vieler Experten auch 2035 nicht ausreichen, um neben Großverbrauchern wie der Stahl- und Chemieindustrie zig Millionen von Pkw mit grünem Wasserstoff bzw. E-Fuels zu versorgen, und dies auch noch zu einem marktfähigen Preis. Allenfalls könnte es für geringe prozentuale Beimischungen reichen, ähnlich wie heute schon bei Biokraftstoffen. Und es gibt noch einen weiteren Haken: Auch wenn E-Fuels, zumindest theoretisch, klimaneutral verbrennen, kommen weiterhin Schadstoffe aus dem Auspuff, und auch die Geräuschkulisse bleibt wie gehabt. Porsche-Liebhaber mögen auf das Röhren ihres 911ers nicht verzichten wollen, aber für die Luft- und Lebensqualität auf hiesigen Straßen wäre mit E-Fuels wenig gewonnen. Denn wirklich „sauber“ werden Verbrennungsmotoren prinzipbedingt niemals werden. ◀

Was sind E-Fuels und wie werden sie hergestellt?

Synthetische/strombasierte Kraftstoffe, Synfuels, E-Fuels, Powerfuels, Power-to-X (PtX), Power-to-Gas (PtG), Power-to-Liquid (PtL) – mit all diesen Begriffen werden gasförmige bzw. flüssige Kraftstoffe bezeichnet, die nicht aus Erdöl, sondern mittels regenerativ erzeugtem Strom hergestellt werden. Sie sind (im Idealfall) nahezu klimaneutral, da bei ihrer Herstellung der Atmosphäre genauso viel CO₂ entzogen wurde, wie bei ihrer Nutzung/Verbrennung später emittiert wird.

Mittels Wind- oder Sonnenstrom wird zuerst Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten (Elektrolyse). Aus dem Wasserstoff entstehen durch Zugabe von CO₂ und weitere chemische Umwandlungsprozesse (*Fischer-Tropsch-Synthese*) synthetische Kohlenwasserstoffe mit vergleichbaren Eigenschaften wie die der flüssigen Erdöl-Raffinerieprodukte Benzin, Diesel und Kerosin. Diese werden üblicherweise als E-Fuels oder PtL bezeichnet. Bezieht man den Wasserstoff selbst sowie gasförmige Kraftstoffe mit ein, spricht man auch allgemeiner von strombasierten Kraftstoffen, Synfuels, Powerfuels oder PtX.

Nicht zu verwechseln sind E-Fuels mit aus landwirtschaftlicher Biomasse oder Abfällen erzeugten Biokraftstoffen (auch BtL genannt).