

car

Center Automotive Research

SZENARIENANALYSE ZUR ROLLE VON E-FUELS IM PKW-BEREICH IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2045

Eine volkswirtschaftliche Berechnung

CAR – Center Automotive Research (Burak Kaya)
Prof. Dr. Helena Wisbert (Ostfalia Hochschule)

@freepik

EXECUTIVE SUMMARY

Deutschland steht vor einer doppelten Aufgabe: Die Importrechnung für fossile Energieträger ist hoch und der Pkw-Sektor muss bis 2045 treibhausgasneutral werden. Im Mittel fließen für fossile Energieträger 81 Mrd. Euro pro Jahr ins Ausland, davon 51 Mrd. € für Rohöl; der Pkw-Anteil am Rohölwert liegt bei rund 22 Mrd. €. Diese Ausgangslage macht jede Antriebswahl zu einer fiskalischen und energiepolitischen Entscheidung.

Gleichzeitig verlangt die Transformation des Individualverkehrs klare Prioritäten. Entscheidend ist, mit welchem Pfad sich Klimaziele, Versorgungssicherheit und Kosten in Einklang bringen lassen. Die Studie adressiert genau diese Frage und setzt an der politischen Realität an: Der Hochlauf batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) bleibt hinter den Erwartungen, die Diskussion um „Technologieoffenheit“ hält Verbrenneroptionen präsent und verschiebt Dynamiken im Markt.

In diesem Kontext gewinnen E-Fuels Aufmerksamkeit, weil sie bilanziell CO₂-neutral sein können, wenn erneuerbarer Strom und klimaneutrales CO₂ eingesetzt werden, und weil sie die gewohnte Verbrennertechnik und bestehende Tankinfrastruktur nutzen. Daraus entsteht die zentrale Prüffrage: Welche Kostenfolgen entstehen für Deutschland durch den Einsatz von E-Fuels im Pkw-Sektor bis 2045 im Vergleich zur direkten Elektrifizierung?

Die Studie beantwortet dies mit drei Zukunftsszenarien für 2045 und liefert belastbare Schwellenwerte für Bedarf, Importkosten und Stromverbrauch als Entscheidungsgrundlage.



In Szenario A („E-Fuels für die gesamte Pkw-Flotte“) wird ein Bestand von rund 47 Mio. Pkw, 12 000 km/Jahr und 7 Liter/100 km unterstellt; daraus folgt ein Jahresbedarf von etwa 40 Mrd. Liter. Bereits bei Preisen über 2,00 Euro/Liter lägen die reinen Pkw-E-Fuel-Importe über den heutigen gesamten fossilen Energieimporten von 81 Mrd. €/Jahr; selbst bei 1,20 €/l nähert sich die Summe dem Rohölimportwert von 51 Mrd. € an. Für die Herstellung wären 640 – 1.080 TWh Strom nötig und damit mehr als die Bruttostromerzeugung 2024 (~501 TWh). Ergebnis: sehr hoher Energieeinsatz verursacht hohe volkswirtschaftliche Kosten.

In Szenario B („E-Fuels für die verbleibende Verbrennerflotte“) verbleiben 2045 rund 15 Mio. Verbrenner. Der Bedarf sinkt damit auf ca. 12,6 Mrd. Liter/Jahr. Trotz dieses um mehr als zwei Drittel geringeren Volumens gegenüber heute werden bereits bei ~1,75 Euro/Liter Importkosten von etwa 22 Mrd. Euro erreicht, also das heutige Kostenniveau für Pkw-Öl. E-Fuels bleiben damit teuer, obwohl die Menge deutlich kleiner ist.

In Szenario C („E-Fuels als Nische/Oldtimer“) werden rund 1,3 Mio. Pkw mit 0,62 – 1,17 Mrd. Liter/Jahr unterstellt. Bei 2,00 Euro/Liter entstehen 1,24 – 2,34 Mrd. Euro Kosten pro Jahr. Makroökonomisch ist das beherrschbar; eine gezielte Nischenverwendung ist denkbar.

Der Grundmechanismus hinter diesen Kostenschwellen ist technisch: In der Power-to-Liquid-Kette gehen große Teile der Energie verloren. Beim E-Fuel-Pkw kommen nur etwa 13 – 15 % der elektrischen Energie am Rad an, bei BEV etwa 70 – 75 %. Für die gleiche Mobilität 2045 bräuchte der E-Fuel-Pfad 640 – 1.080 TWh, direkte Elektromobilität rund 101 TWh (bei 18 kWh/100 km). Das treibt die Literkosten und die Importrechnung strukturell nach oben. Hinzu kommt, dass die Infrastrukturlast vorgelagert ist: erneuerbare Erzeugung, Elektrolyse, Synthese und CO₂-Logistik sind großskalig aufzubauen; inländische Produktion bleibt begrenzt, Importabhängigkeit steigt. Steuerlich würden E-Fuels nach aktueller Rechtslage wie Benzin/Diesel mit Energiesteuer (0,65 Euro/Liter bzw. 0,47 Euro/Liter) plus 19 % MwSt. belastet, so dass die Verbraucherpreise klar über den reinen Importkosten liegen.

Zusammengefasst: Für den Pkw-Massenmarkt sind E-Fuels 2045 weder energie- noch kosteneffizient. Die Studie empfiehlt, E-Fuels im Straßenverkehr auf eng umrissene Nischen zu beschränken und die breite Elektrifizierung als Primärpfad zu sichern.

Damit liegt ein klares Fundament für Entscheidungen vor: Gleiche Mobilität kostet mit E-Fuels deutlich mehr Energie und Geld als mit BEV. Im Pkw-Sektor bleiben E-Fuels eine Randerscheinung.

Problemstellung und Forschungsfrage

Bis 2045 muss der Pkw-Sektor in Deutschland treibhausgasneutral sein. E-Fuels gelten als mögliche Ergänzung oder Alternative zur Elektromobilität. Aufgrund hoher Produktionskosten, geringer Energieeffizienz und erwarteter Importabhängigkeit ist jedoch unklar, ob ihr Einsatz im Pkw-Bereich volkswirtschaftlich tragfähig ist.

Welche Kostenfolgen entstehen für Deutschland durch den Einsatz von E-Fuels im Pkw-Sektor bis 2045 im Vergleich zur direkten Elektrifizierung?

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Zielsetzung und Vorgehensweise	1
Prämissen der Zukunftsszenarien – E-Fuels für Deutschland in 2045	3 – 4
Szenario A: E-Fuels im Individualverkehr als Alternative zu batterieelektrischen Fahrzeugen	5 – 6
Szenario B: Nutzung von E-Fuels für die bestehende Verbrennerflotte	7 – 8
Szenario C: E-Fuels nur für Nischenanwendungen im Pkw-Bereich	9 – 10
Fazit	11 – 15
Quellenverzeichnis	17 – 18

Einleitung

Deutschland ist derzeit stark von Energieimporten abhängig. Jedes Jahr werden fossile Energieträger im Wert von durchschnittlich 81 Milliarden Euro nach Deutschland importiert. 51 Milliarden Euro beträgt der Wert des importierten Rohöls.¹ Diese Importrechnung wird maßgeblich vom Verkehrssektor getrieben. Auf Basis der jüngsten Verbrauchsstruktur entfallen rund 44 Prozent des Rohölwerts auf den Pkw-Sektor; das entsprach im Jahr 2024 rund 22 Milliarden Euro.²

Vor dem Ziel der Klimaneutralität bis 2045 steht zudem ein grundlegender Wandel des Energiesystems insbesondere auch in der Individualmobilität an. In der Diskussion um die Verkehrswende werden neben batterieelektrischen Autos (BEV) auch E-Fuels (elektrisch erzeugte synthetische Kraftstoffe) als eine klimaneutrale Alternative zu fossilen Kraftstoffen im Pkw-Bereich diskutiert. E-Fuels, etwa synthetisches Benzin, Diesel oder Kerosin, werden aus Wasserstoff und CO₂ hergestellt und können in herkömmlichen Verbrennungsmotoren verwendet werden. Die Chance liegt in der potenziellen Klimaneutralität, sofern erneuerbarer Strom und CO₂ aus klimaneutralen Quellen verwendet werden. Durch diese Eigenschaft werden E-Fuels als potenzieller Ersatz für fossile Brennstoffe erprobt, um die Emissionen im Verkehrssektor zu mindern.

Die Frage, ob E-Fuels eine ökonomisch tragfähige Lösung für die Verkehrswende im Pkw-Bereich darstellen, ist daher hochrelevant. Die Zeit drängt, da bis 2045 der Verkehrssektor treibhausgasneutral sein muss, um die deutschen Klimaziele zu erreichen. Vor diesem Hintergrund untersucht diese Studie verschiedene Nutzungsszenarien für E-Fuels im Pkw-Verkehr und deren Einfluss auf den zukünftigen Importbedarf Deutschlands an Kraftstoffen.

Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der Studie ist es, belastbare, wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie sich der Importbedarf Deutschlands an Kraftstoffen entwickeln würde, wenn E-Fuels bis 2045 in verschiedenen Rollen im Pkw-Sektor zum Einsatz kämen. Insbesondere werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Importkosten, Energieeffizienz und infrastrukturellen Anforderungen sowie geopolitische Abhängigkeiten betrachtet. Die Ergebnisse sollen als Grundlage dienen, um die Rolle von E-Fuels in der Verkehrswende realistisch einschätzen zu können.

¹ RODE (2025): IMPORT FOSSILER BRENNSTOFFE

² BMV (2024): VERKEHR IN ZAHLEN

Auf Basis aktueller wissenschaftlicher Quellen werden drei Szenarien entwickelt und analysiert. Für jedes Szenario werden Annahmen über den Einsatz von E-Fuels im Verkehrssektor getroffen und daraus der benötigte Kraftstoffbedarf bis 2045 abgeleitet. Anschließend erfolgt eine Einschätzung der Importmenge bzw. -kosten. Eine qualitative Bewertung der geopolitischen Abhängigkeiten von Energie-Exportländern und des Infrastrukturaufwands ergänzt die Analyse.

Die betrachteten Szenarien 2045 sind:

- **Szenario A:** In diesem Szenario werden E-Fuels weitgehend im Pkw-Individualverkehr als Alternative zu BEV verwendet. Neufahrzeuge nutzen auch 2045 weiterhin Verbrennungsmotoren und werden mit E-Fuels statt Benzin oder Diesel betrieben. BEV haben einen geringen bis keinen Anteil an der Pkw-Flotte. Dieses Szenario dient der Illustration eines Maximaleinsatzes von E-Fuels im Pkw-Sektor.
- **Szenario B:** E-Fuels werden in diesem Szenario im Jahr 2045 für die bereits bestehende Verbrennerflotte verwendet. Hier werden E-Fuels vornehmlich eingesetzt, um den Treibstoffbedarf der Bestandsfahrzeuge zu decken, während neue Pkw mit dem geplanten EU-weiten Verbrenner-Aus ab 2035 überwiegend elektrisch fahren. Es erfolgt also ein sukzessiver Technologiewechsel hin zu batterieelektrischen Autos, jedoch werden die verbleibenden Verbrenner mit klimaneutralen synthetischen Kraftstoffen aufgetankt.
- **Szenario C:** Die Nutzung von E-Fuels im Pkw-Verkehr steht in Konkurrenz zum Einsatz in weiteren Mobilitätssektoren wie der Schifffahrt oder dem Flugverkehr. In diesem Szenario werden E-Fuels im Straßenverkehr daher beispielhaft nur für Oldtimer eingesetzt. Es wird angenommen, dass bis 2045 nahezu die gesamte reguläre Pkw-Flotte elektrifiziert ist, sodass synthetische Kraftstoffe im Kfz-Bereich nur eine marginale Rolle spielen. Dieses Szenario ist als Ergänzung zum Szenario A und B einzuordnen. Es entspricht im Grunde dem Pfad einer nahezu vollständigen Elektrifizierung des Straßenverkehrs, bei dem E-Fuels vor allem für unvermeidbare Anwendungen (insbesondere Flugzeuge, Schiffe und eventuell einige Nutzfahrzeuge) reserviert sind.

PRÄMISSEN DER ZUKUNFTSSZENARIEN – E-FUELS FÜR DEUTSCHLAND IN 2045

Heutige Ausgangswerte (Stand 2024):

Pkw-Bestand (2024)

Pkw₂₀₂₄ = 49,1 Mio.³

Pkw pro Kopf (2024)

Pkw_{capita} 2024 = 0,58⁴

Jährlicher Kraftstoffverbrauch aller Pkw (heute)

Verbrauch_{Pkw2024} ≈ 46 Mrd. Liter⁵

Benzinheizwert = 8,5 kWh pro Liter

Dieselheizwert = 9,8 kWh pro Liter

Gesamtenergiebedarf Pkw-Verkehr (heute)

Energiebedarf_{Pkw2024} ≈ 400 TWh/Jahr oder 1440 PJ⁶

Prognosevariablen für 2045

(Referenzjahr für Szenarien A – C):

Bevölkerung (2045, Prognose)

Bevölkerung₂₀₄₅ ≈ 83,1 Mio.⁷

Pkw-Bestand (2045, Prognose)

Pkw₂₀₄₅ ≈ 47 Mio.

Durchschnittliche Fahrleistung pro Pkw und Jahr (heutiger Wert als Referenz)

kmPkw/Jahr = 12.000 km

Durchschnittsverbrauch pro Pkw (2045)

VerbrauchPkw/100km ≈ 7 Liter

Gesamtjahresverbrauch aller Pkw mit E-Fuels (2045)

Verbrauch_{Pkw2045} ≈ 40 Mrd. Liter/Jahr

Energiebedarf Pkw-Verkehr mit E-Fuels (2045)

EnergiebedarfPkw, 2045 ≈ 350 TWh/Jahr

Gesamtbedarf an Strom für Herstellung der E-Fuels (2045)

(Umwandlungswirkungsgrad ≈ 13 – 15 %)⁸

Strombedarf E-Fuels,

2045 ≈ 640 – 1.080 TWh/Jahr

Kostenvariablen E-Fuels (2045):

Produktionskosten E-Fuels pro Liter

(2045, Prognose Fraunhofer ISI)

Kosten_{E-Fuel/Liter2045} = 1,20 bis 3,60

(ohne Steuern und Abgaben)⁹

Energiesteuer:

Benzinäquivalent 0,65 €/Liter,

Dieseläquivalent 0,47 €/Liter

Mehrwertsteuer: 19%

³VDIK (2025): FAHRZEUGBESTAND

⁴STATISTISCHES BUNDESAMT (2024B): PKW-DICHTE

⁵STATISTISCHES BUNDESAMT (2024A): FAHRLEISTUNG UND KRAFTSTOFFVERBRAUCH

⁶MOBILITÄTSSCHULE (2025): LEISTUNG, ENERGIE, VERBRAUCH

⁷BBSR (2024): BEVÖLKERUNGSPROGNOSE 2045

⁸FRAUNHOFER (2023): E-FUEL-FÖRDERUNG

⁹FRAUNHOFER (2023): E-FUEL-FÖRDERUNG

Szenario A: E-Fuels im Individualverkehr als Alternative zu batterieelektrischen Fahrzeugen

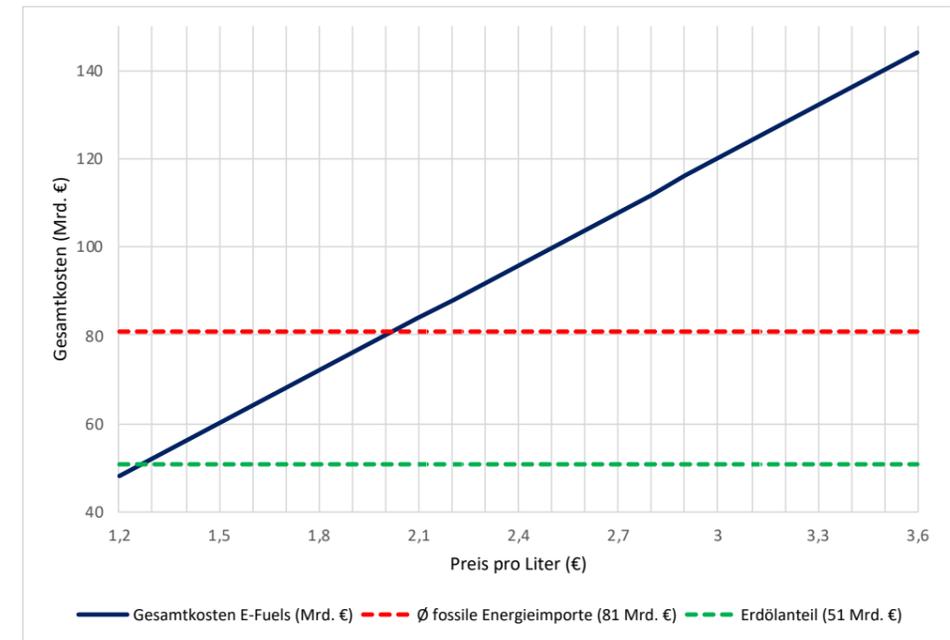
Dieses Szenario fußt auf der Annahme, dass E-Fuels eine komplette strategische Priorisierung erfahren. Die Rahmenbedingungen für E-Fuels-Only-Pkw, die nach 2035 entsprechend aktueller Rechtslage immer noch erlaubt sind, werden politisch vorangetrieben – z.B. über das Steuerrecht (erste steuerliche Begünstigungen waren in der letzten Wahlperiode bereits angedacht).¹⁰

Der Pkw-Bestand in Deutschland lag im Jahr 2024 bei etwa 49,1 Millionen Fahrzeugen, was einer Pkw-Dichte von 0,58 Fahrzeugen pro Kopf entspricht. Der jährliche Kraftstoffverbrauch aller Pkw wird auf rund 46 Milliarden Liter prognostiziert, was einem Energiebedarf von etwa 400 Terawattstunden (TWh) pro Jahr im Pkw-Verkehr gleichkommt.¹¹

Für das Jahr 2045 prognostiziert das Szenario A eine leicht rückläufige Pkw-Flotte von circa 47 Millionen Fahrzeugen, mit einer Bandbreite zwischen 45 und 50 Millionen Fahrzeugen. Die durchschnittliche Fahrleistung wird weiterhin bei etwa 12.000 Kilometern pro Pkw und Jahr angesetzt. Unter der Annahme eines konservativen Verbrauchs von 7 Litern Kraftstoff pro 100 Kilometer wird der Gesamtjahresverbrauch auf 40 Milliarden Liter prognostiziert. Dies entspricht einem Energiebedarf von rund 340 – 350 TWh pro Jahr. Es wird angenommen, dass batterieelektrische Fahrzeuge keine Rolle mehr spielen und der Pkw-Verkehr ausschließlich auf E-Fuels setzt.

Die Herstellung von E-Fuels erfordert je nach Prozesskette 16 – 27 kWh Strom pro Liter. Bei einem Jahresverbrauch von rund 40 Milliarden Litern im Jahr 2045 ergibt sich ein Strombedarf von etwa 640 – 1.080 TWh.¹² Das liegt über der Bruttostromerzeugung Deutschlands in 2024 mit 501 TWh.¹³

Die erwarteten Kosten für E-Fuels im Jahr 2045 hängen maßgeblich von den zugrunde gelegten Annahmen ab und können entsprechend stark variieren. Modelle des Fraunhofer ISI prognostizieren die Produktionskosten pro Liter E-Fuel auf einen Bereich zwischen 1,20 € und 3,60 Euro, jeweils ohne Berücksichtigung von Steuern und Abgaben. Auf Basis dieser Werte sowie der relevanten Annahmen für das Jahr 2045 ergibt sich folgendes Bild:



A: Gesamtkosten für die Herstellung von E-Fuels bei einem Verbrauch von 40 Milliarden Litern im Jahr 2045 in Szenario A.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei Produktionskosten von über 2,00 Euro pro Liter die Gesamtkosten für die benötigte Menge an E-Fuels allein im Pkw-Bereich die heutigen Ausgaben Deutschlands für alle fossilen Energieträger von 81 Milliarden Euro pro Jahr überschreiten würden. Bei einem sich günstig entwickelnden Literpreis am unteren Ende der Prognoseperiode von 1,20 Euro pro Liter würde der Einsatz von E-Fuels allein im Pkw-Bereich an die jährlichen Ausgaben Deutschlands für die Rohölimporte von 51 Milliarden Euro heranreichen, die heute für den gesamten Verkehrssektor, in der Industrie, in privaten Haushalten und im Gewerbebereich genutzt werden.

Zusammenfassend zeigt das Szenario, dass eine auf E-Fuels basierende Individualmobilität per Auto bis 2045 mit einem hohen zusätzlichen monetären Importbedarf und damit verbundenen steigenden Energiekosten aufgrund des geringen Wirkungsgrades von E-Fuels verbunden ist. Zusätzlich zum Bedarf der Individualmobilität käme, ausgehend vom Referenzjahr 2023, ein Bedarf von mindestens 11,7 Mrd. Litern im Luftverkehr, 0,28 Mrd. Litern in der Binnenschifffahrt sowie nachrichtlich 1,4 – 1,5 Mrd. Litern für Bunkerungen seegehender Schiffe hinzu.¹⁴

¹⁰ BUNDESFINANZMINISTERIUM (2024)

¹¹ STATISTISCHES BUNDESAMT (2024A): FAHRLEISTUNG UND KRAFTSTOFFVERBRAUCH

¹² INDUSTRIEMAGAZIN (2024): VERBRENNER-AUS

¹³ STATISTISCHES BUNDESAMT (2025): BRUTTOSTROMERZEUGUNG

¹⁴ BMV (2024): VERKEHR IN ZAHLEN

Szenario B: Nutzung von E-Fuels für die bestehende Verbrennerflotte

Im folgenden Szenario wird die Ausgangslage an die gegenwärtigen politischen Zielsetzungen und gegebenen europäischen regulatorischen Rahmenbedingungen angepasst. Das für 2035 festgelegte Verbot von Neuzulassungen mit Verbrennungsmotor bleibt bestehen, sowie auch die sich bis dahin verschärfenden CO₂-Flottenemissionsgrenzwerte und die damit verbundenen potenziellen Strafzahlungen für die Automobilhersteller. Gleichzeitig erfahren synthetische Kraftstoffe eine strategische Priorisierung, um den bestehenden Fahrzeugbestand mit Verbrennungsmotoren klimaneutral zu betreiben. Diese Schwerpunktsetzung beeinflusst sowohl die Bestandsentwicklung konventioneller Fahrzeuge als auch die Marktanteildynamik batterieelektrischer Fahrzeuge. Da der bisherige Hochlauf der Elektromobilität in Deutschland bereits hinter den ursprünglichen Erwartungen zurückbleibt, ist davon auszugehen, dass die zusätzliche technologische Option in Form von E-Fuels-betriebenen Verbrennern den Verbreitungsgrad von Elektroautos weiter verlangsamen wird. E-Fuels-Only-Fahrzeuge werden aber nicht stark begünstigt und nach 2035 machen neue Pkw mit Verbrennungsmotor keinen nennenswerten Marktanteil mehr aus.

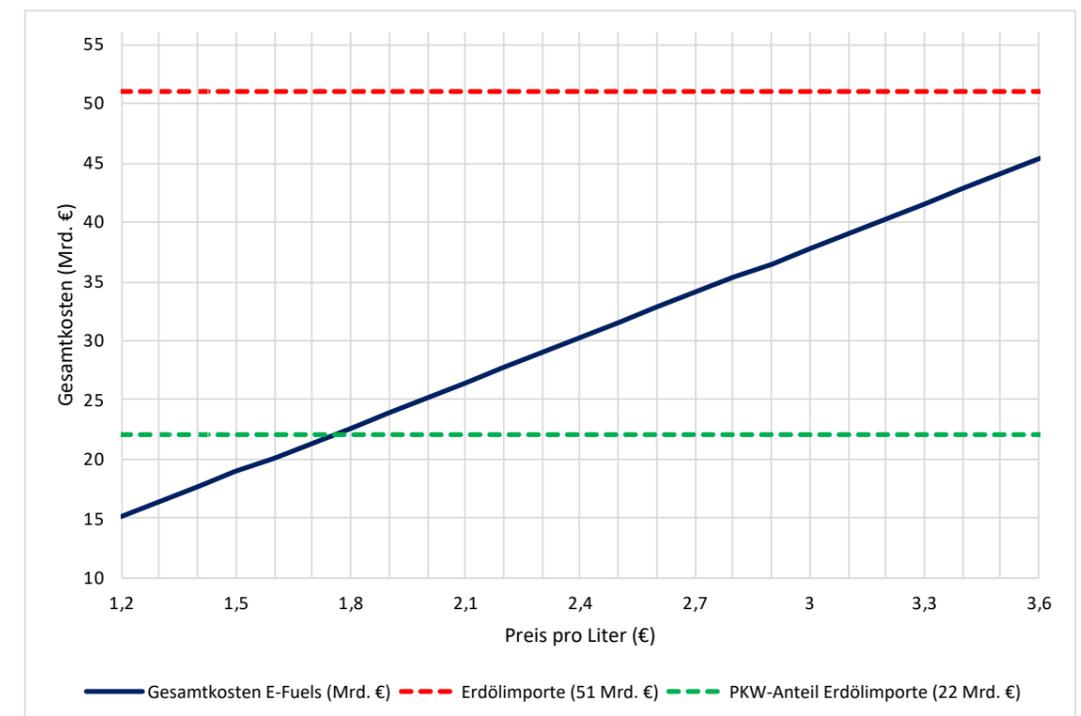
Ausgehend von Prognosen zu markt- und regulierungsbedingter Verschiebung des Anteils an BEV-Fahrzeugen im Fahrzeugbestand, bedingt etwa durch den deutlichen Anstieg der Zulassungen kurz vor Inkrafttreten neuer gesetzlicher Vorgaben, das nachlassende Engagement der Automobilhersteller zur Erhöhung des BEV-Anteils sowie der jährlichen Verschrottung von Altfahrzeugen, wird im Folgenden der Anteil an verbleibenden Verbrennern im Jahr 2045 prognostiziert. Um eine robuste Annahmehbasis zu schaffen, werden die folgenden Meilensteine zugrunde gelegt:

In 2030 ist der Bestand an Elektroautos auf 9 Mio. Fahrzeuge angestiegen, was hinter dem ehemaligen Ziel der Bundesregierung von 15 Mio. Elektroautos auf Deutschlands Straßen zurückbleibt. Weiter gehemmt wird der Hochlauf durch die veränderte politische Zielsetzung hin zur sogenannten Technologieoffenheit.

In 2035 mit Eintritt des Verbrenner-Aus wird von 15 Mio. BEV im Bestand ausgegangen. Bei einem Gesamt-Pkw-Bestand von 48 Mio. entspricht dies einem BEV-Anteil von 31 %, während 69 % Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sind, was 33 Mio. Verbrennern entspricht.

2045 verbleiben unter Berücksichtigung von Flottenerneuerung und Altersstruktur 46 % der Verbrenner aus 2035 im Jahr 2045 im Bestand. Dies entspricht rund 15 Mio. Verbrennern bei einem Gesamtmarkt von 47 Mio. Fahrzeugen. Der BEV-Bestand liegt bei 32 Mio. Fahrzeugen.

Diese Annahmen liegen im konservativen Bereich, sind jedoch konsistent mit den Prognosen anderer Studien und den Strategien der Automobilindustrie, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erhöht wird.¹⁵ Unter der Annahme eines Pkw-Bestands von 15 Mio. Fahrzeugen, die mit E-Fuels betankt werden, einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 12.000 km pro Fahrzeug sowie eines spezifischen Kraftstoffverbrauchs von 7 Litern je 100 km, analog zu Szenario A, ergibt sich ein jährlicher Gesamtverbrauch von rund 12,6 Mrd. Litern.



A: Gesamtkosten für die Herstellung von E-Fuels bei einem Verbrauch von 12,6 Milliarden Litern im Jahr 2045 in Szenario B.

Das Ergebnis verdeutlicht, dass bereits bei Produktionskosten von rund 1,75 Euro die Gesamtkosten für den deutlich reduzierten Jahresbedarf von 12,6 Mrd. Litern E-Fuels im Pkw-Bereich das heutige Ausgabenniveau von 22 Milliarden Euro erreichen, das bislang durch den Verbrauch von 47 Mrd. Litern fossilen Kraftstoffen bei einem Bestand von 49,1 Mio. Pkw verursacht wird. Trotz eines um mehr als zwei Drittel geringeren Volumens wird das gleiche Kostenniveau erreicht.

¹⁵ PROGNO AG (2021): „KLIMANEUTRALES DEUTSCHLAND 2045“

Szenario C: E-Fuels nur für Nischenanwendungen im Pkw-Bereich

Im letzten Szenario wird von einem Einsatz von E-Fuels nur in dem einen Pkw-Bereich ausgegangen, für den es keine Alternative gibt: Oldtimer. Zum 1. Januar 2025 verzeichnete das Kraftfahrt-Bundesamt insgesamt 888.355 Oldtimer über alle Fahrzeugklassen hinweg (mit und ohne H-Kennzeichen), was einem Zuwachs von +4,9 % gegenüber dem Vorjahr entspricht.¹⁶ Während die Hauptflotte an Pkw zunehmend elektrifiziert wird, bleiben Oldtimer in erster Linie als kulturelles Gut mit geringer Fahrleistung erhalten. Die Wachstumsraten der vergangenen Jahre von +6,7 % im Jahr 2024 und +4,9 % im Jahr 2025 deuten jedoch auf eine allmähliche Verlangsamung im Zuwachs hin, was im Sinne einer Marktsättigung plausibel erscheint. Für die langfristige Projektion bis 2045 wird daher ein zweistufiger Ansatz gewählt:

1. Für den Zeitraum 2025 – 2030 wird ein durchschnittliches jährliches Wachstum von +5 % unterstellt.
2. Von 2030 bis 2045 wird aufgrund der erwarteten Sättigung nur noch von +1 % pro Jahr ausgegangen.

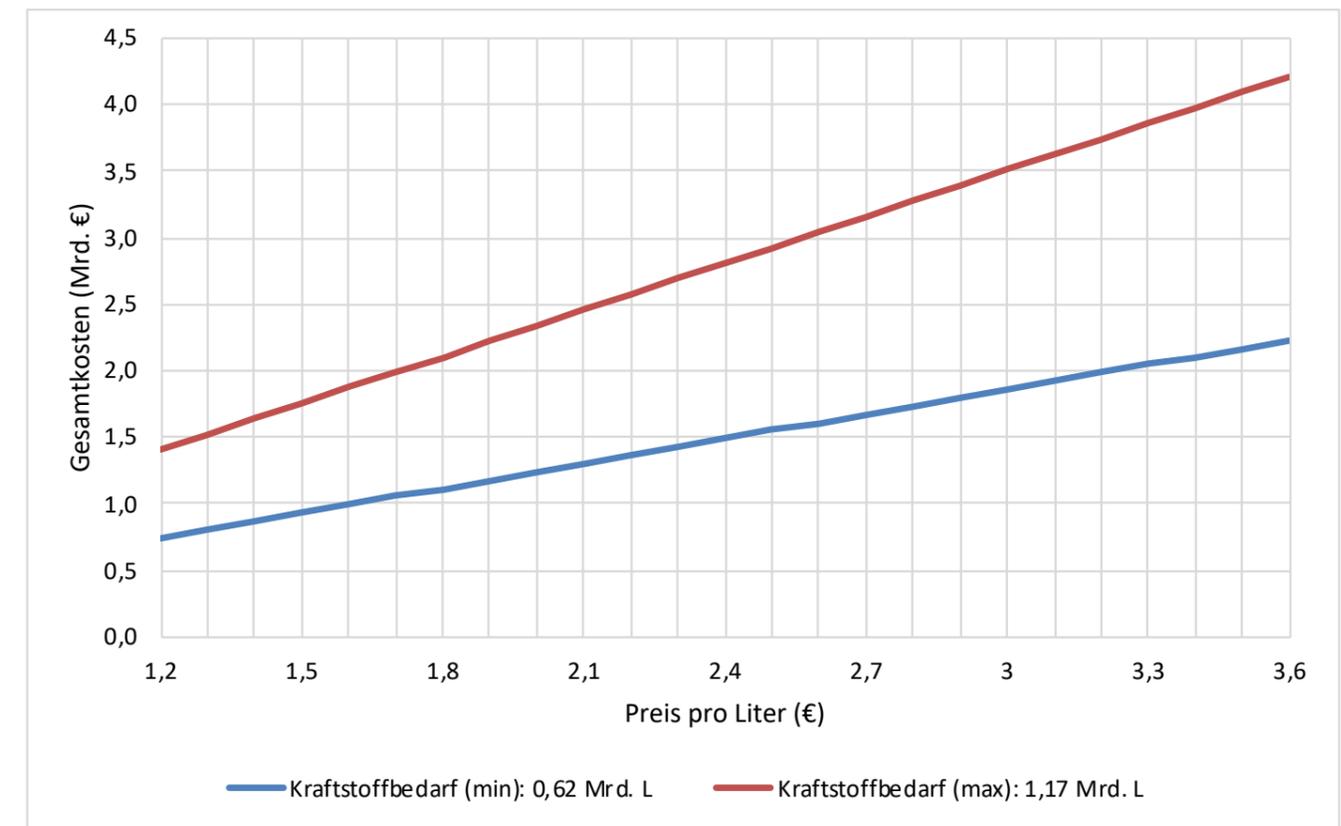
Auf dieser Grundlage ergibt sich bis 2045 ein Bestand von rund 1,3 Mio. Oldtimer-Pkw.

Da es sich um Fahrzeuge mit sehr eingeschränkter Nutzung handelt, orientieren sich Versicherungsunternehmen typischerweise an jährlichen Fahrleistungen zwischen 6.000 und 9.000 km.¹⁷ Für das Szenario werden diese Werte übernommen. Da zudem keine belastbare amtliche Statistik zum realen Kraftstoffverbrauch von Oldtimern existiert und der Wert je nach Modell stark variieren kann, wird zur Eingrenzung ein Verbrauchskorridor von 8 bis 10 Litern pro 100 km angenommen. Auf diese Weise lässt sich ein realistisches Spannungsfeld zwischen minimalem und maximalem jährlichen Kraftstoffbedarf der Oldtimerflotte darstellen.

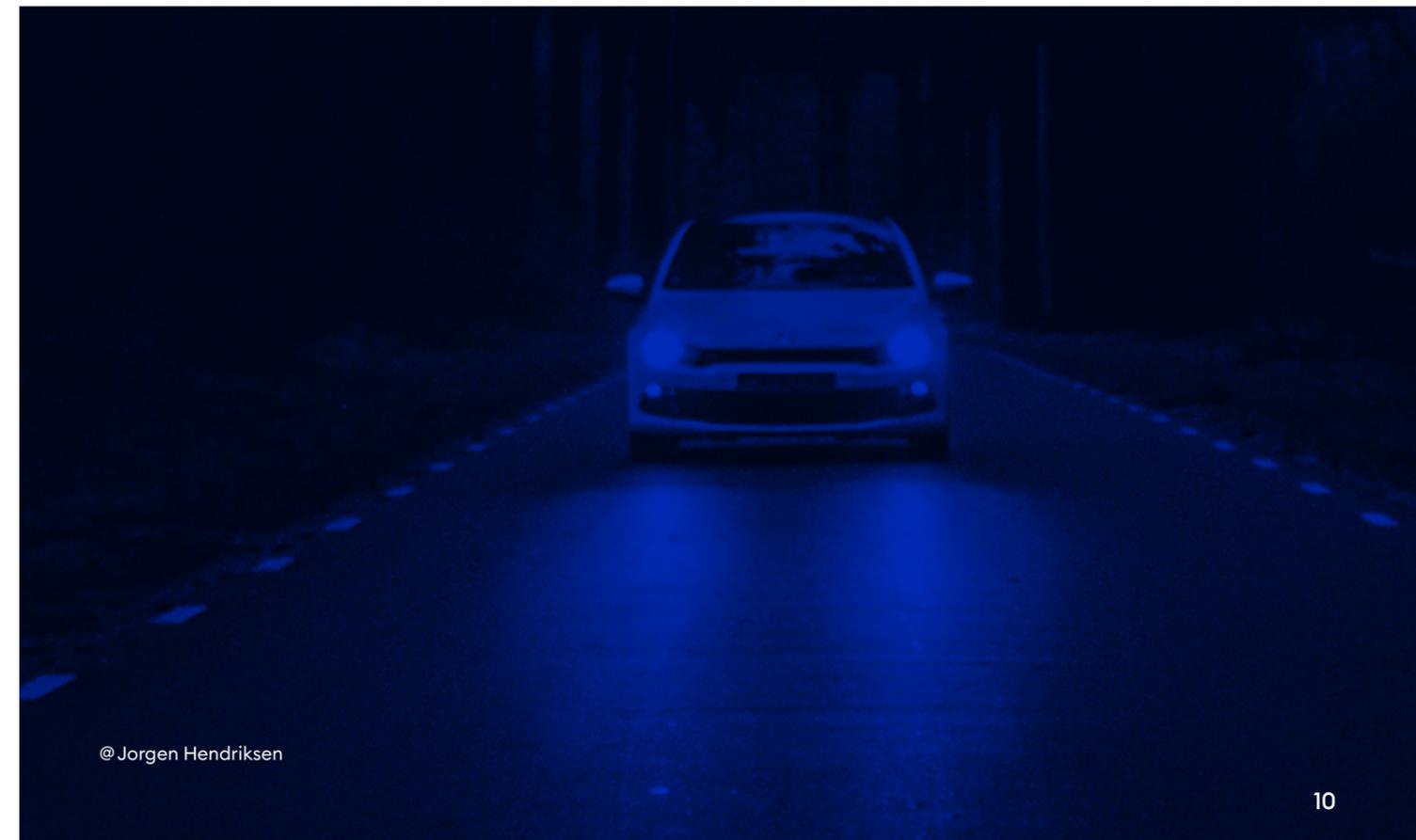
Für die angenommene Oldtimerflotte von 1,3 Mio. Pkw ergibt sich bei 6.000 – 9.000 km/Jahr und 8 – 10 l/100 km ein jährlicher Kraftstoffbedarf von rund 0,62 – 1,17 Mrd. Litern. Setzt man einen Endverbraucherpreis von 2,00 Euro/Liter an, liegen die gesamten jährlichen Kraftstoffausgaben bei etwa 1,24 – 2,34 Mrd. Euro. Auch der Maximalwert von über 4 Milliarden Euro liegt deutlich unter dem aktuellen Pkw-Anteil an den jährlichen Erdölimporten. Es wird aus volkswirtschaftlicher Sicht gespart und die Importabhängigkeit wird verglichen mit 2025 stark reduziert.

¹⁶ KBA (2025): DER FAHRZEUGBESTAND AM 1. JANUAR 2025

¹⁷ ADAC (2025A): OLDTIMERVERSICHERUNG



A: Gesamtkosten für die Herstellung von E-Fuels bei einem Verbrauch von 1,3 Milliarden Litern im Jahr 2045 in Szenario C.



FAZIT: TEUER ERKAUFTE CO₂-NEUTRALITÄT IM PKW-SEKTOR

Im Pkw-Bereich bleibt die Elektrifizierung auch ökonomisch die erste Wahl. Zwei Effekte machen den Einsatz von E-Fuels im Pkw-Bereich teuer, zum einen die hohen Importkosten und zum anderen die schlechte Energieeffizienz im Vergleich zur Elektrifizierung. Der Einsatz von E-Fuels zur Dekarbonisierung der gesamten Bestandsflotte 2045 von 47 Mio. Fahrzeugen würde bei einem Literpreis über 2 Euro zu Importkosten von mehr als 81 Milliarden Euro führen. Damit würden die Kosten für E-Fuels die Kosten der gesamten gegenwärtigen fossilen Energieimporte übersteigen und zu deutlichen Mehrkosten im Vergleich zur direkten Elektrifizierung führen. Bei der Annahme, dass das Verbrenner-Aus in 2035 nach wie vor Bestand hat und nur noch die verbleibenden 15 Mio. Verbrenner mit E-Fuels betankt werden müssten, würden die Kosten bereits bei einem Literpreis von 1,75 Euro die Kosten der heutigen Rohölimporte der gesamten Pkw-Flotte von 49,1 Mio. Fahrzeugen erreichen. Damit ist selbst der Einsatz für die Bestandsflotte in 2045 aus Sicht der Importkosten eine hohe volkswirtschaftliche Belastung. Für Nischenanwendungen wie dem Oldtimerbestand (1,3 Mio. Pkw) ergibt sich ein Jahresbedarf von 0,62 – 1,17 Mrd. Liter; bei 2,00 Euro/Liter sind das 1,24 – 2,34 Milliarden Euro Importkosten pro Jahr. Der makroökonomische Effekt bleibt gering und stützt die Beschränkung von E-Fuels auf solche Nischen sowie die Anwendung in der Luft- und Schifffahrt. Die Bestandsflotte sollte daher bis 2045 weitgehend elektrifiziert werden.

Verbraucherpreise werden deutlich über den Importkosten liegen

Die Endpreise für Kraftstoffe in Deutschland ergeben sich aus einer Zusammensetzung staatlicher Abgaben und marktgetriebener Kosten. Daher werden auch die Verbraucherpreise für E-Fuels deutlich höher liegen als die reinen Produktionskosten. Der Schein trügt, wenn die reinen Importkosten, die im positiven Korridor an heutige Tankstellenpreise erinnern, zur Beurteilung späterer Verbraucherpreise genutzt werden. Ein zentraler Bestandteil sind bei Kraftstoffen die festen Energiesteuern, die im August 2025 mit 65 Cent pro Liter Benzin und 47 Cent pro Liter Diesel einen großen Anteil am Verbraucherpreis ausmachen.¹⁸ E-Fuels unterscheiden sich zwar grundlegend von fossilen Kraftstoffen, da sie synthetisch aus erneuerbarem Strom, Wasserstoff und CO₂ hergestellt werden und bilanziell CO₂-neutral sind. Steuerrechtlich knüpft die Energiesteuer in Deutschland und der EU jedoch nicht an die Herkunft oder Klimabilanz an, sondern ausschließlich an die stoffliche Eigenschaft des Kraftstoffs als Benzin- oder Dieseläquivalent. Daher würden E-Fuels nach aktueller Rechtslage denselben Energiesteuersätzen unterliegen wie fossile Kraftstoffe.¹⁹ Hinzu kommt bei fossilen Kraftstoffen die nationale CO₂-Abgabe nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz, die bei einem CO₂-Preis von 55 Euro pro Tonne rund 15,7 Cent pro Liter Benzin und 17,3 Cent pro Liter Diesel ausmacht. Auf den Gesamtbetrag aus Nettopreis und Steuern wird zusätzlich die Mehrwertsteuer von 19 % erhoben. Eine CO₂-Abgabe wäre bei E-Fuels nicht gerechtfertigt, da keine fossilen Emissionen entstehen. Die Mehrwertsteuer fällt jedoch auch bei E-Fuels auf den Gesamtpreis einschließlich Energiesteuer an. Die Verbraucherpreise würden also in etwa zwischen 2 Euro und 5 Euro liegen.

¹⁸ ADAC (2025B): 7 FRAGEN ZUM BENZINPREIS

¹⁹ VDA (2025): BESTEUERUNG VON E-FUELS

Geringe Energieeffizienz von E-Fuels führten zu hohen Opportunitätskosten

Der Einsatz von E-Fuels ist mit beachtlichen Umwandlungsverlusten verbunden. Nur etwa 13 – 15 % des ursprünglich eingesetzten erneuerbaren Stroms kommen beim heutigen Stand der Technik als Nutzenergie „an den Rädern“ eines Fahrzeugs an. Rund 85 % der Energie gehen über die Zwischenstufen (Elektrolyse, Synthese, Transport und Verbrennung) verloren. Im Vergleich nutzt ein batterieelektrisches Fahrzeug den Strom weit effizienter; etwa 70 – 75 % der Energie fließen in den Antrieb, da Verluste vor allem auf Lade- und Leitungsverluste begrenzt sind. Dieser Effizienzunterschied bedeutet, dass E-Fuels etwa fünf- bis sechsmal mehr Strom benötigen pro Kilometer Fahrleistung als BEV.²⁰ Die hohen Opportunitätskosten für die Reduzierung von CO₂ resultieren direkt aus dem schlechten Effizienzgrad der Power-to-Liquid-Kette.

Für die gleiche jährliche Fahrleistung der gesamten Fahrzeugflotte (47 Mio. in 2045) von 12.000 km pro Jahr benötigt die Herstellung der E-Fuels ca. 640 – 1.080 TWh Strom, während die direkte Elektromobilität bei einem konservativen Verbrauch von 18 kWh/100km 101 TWh Fahrstrom erfordert. Der E-Fuels-Pfad liegt damit um etwa 539 – 979 TWh höher, also beim 6,3- bis 10,7-fachen der direkten Elektrifizierung und stellt eine teuer erkaufte CO₂-Reduzierungslösung dar.

Infrastrukturelle Herausforderungen in der Wertschöpfungskette

Die infrastrukturelle Herausforderung des Einsatzes von E-Fuels im Pkw-Bereich besteht nicht an der Zapfsäule, sondern davor in der Wertschöpfungskette und in ihrer Kosteneffizienz. Während bei Elektroautos die Herausforderung im flächendeckenden Ausbau von Ladepunkten liegt, verschiebt sich der Engpass bei E-Fuels in den großskaligen Ausbau von erneuerbarer Stromerzeugung, Elektrolyse- und Synthesekapazitäten sowie in die Bereitstellung und Logistik von CO₂. Das bestehende Tankstellennetz kann weitgehend unverändert weiterverwendet werden, der eigentliche Aufwand entsteht im Upstream, wo sehr hohe

Mengen grünen Stroms und dazu gehörende neue industrielle Infrastruktur nötig sind. Für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe wird zunächst erneuerbarer Strom benötigt, mit dem Wasser in Wasserstoff gespalten und anschließend mit CO₂ zu flüssigen Kohlenwasserstoffen synthetisiert wird. Der Strombedarf hierfür liegt bei rund 16 – 27 kWh pro Liter.²¹ Damit ist die Produktion von E-Fuels sehr energieintensiv. Würden beispielsweise in Deutschland jährlich 10 Milliarden Liter erzeugt werden, läge der Strombedarf bei etwa 160 – 270 TWh. Dafür fehlen in Deutschland auch perspektivisch die notwendigen Strommengen, eine heimische Produktion ist nur in sehr eingeschränkten Mengen möglich. Daher geht diese Studie folglich von einem kompletten Importbedarf aus. Zum Vergleich betrug die gesamte Bruttostromerzeugung Deutschlands in 2024 knapp 501 TWh. Allein dieser Teilbedarf würde also fast die Hälfte der aktuellen Jahresproduktion an Strom beanspruchen, was den hohen Importbedarf unterstreicht.

Somit sind E-Fuels aus infrastruktureller Sicht keineswegs „einfacher“, sondern verlagern die Herausforderungen in vorgelagerte Wertschöpfungsschritte im Vergleich zur Elektromobilität. Durch ihre Kompatibilität mit den bestehenden Tank- und Verteilnetzen stellen E-Fuels daher vorrangig eine relevante Option zur Dekarbonisierung schwer elektrifizierbarer Sektoren dar.

E-Fuels im Pkw-Bereich verschärfen die Importabhängigkeit

Mit E-Fuels verschärft sich die Abhängigkeit von Kraftstoffimporten auf Seiten von Deutschland. Die Produktion von E-Fuels ist weltweit erst im Aufbau, daher werden sie voraussichtlich noch lange knapp und kostenintensiv bleiben. Bisher existierende Pilotanlagen (z. B. in Chile seit Ende 2022) produzieren nur geringe Mengen. In der Übergangsphase zur vollständigen Substitution von fossilen Kraftstoffen mit E-Fuels werden hohe Investitionen in parallele Wertschöpfungsnetzwerke und Lieferketten notwendig, die von den bisherigen Lieferketten für Rohölimporte abweichen. Um eine Energiepartnerschaft aufzubauen, kann Deutschland dabei nicht nur auf bereits bestehende gute Handelsbeziehungen wie mit Norwegen aufbau-

²⁰ FRAUNHOFER (2023): E-FUEL-FÖRDERUNG

²¹ INDUSTRIEMAGAZIN (2024): VERBRENNER-AUS

en, sondern muss in weitere Zulieferländer investieren, um sich den Zugang zu den knappen Produktionskapazitäten zu sichern und auch langfristig die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Wasserstoffpartnerschaften werden aktuell geschmiedet oder bestehen bereits.²² Doch viele mögliche Partner für Importe befinden sich weit von Deutschland entfernt (wie z. B. Australien und Chile). In diesen Ländern besteht zum Teil kaum Exportinfrastruktur. Deutschland kommt dabei weiter eine zentrale Rolle zu, eine Handelslösung zu entwickeln, die verlässlich und ökonomisch sinnvoll ist und dadurch u. a. die technologische Entwicklung in den Partnerregionen unterstützt oder überhaupt erst ermöglicht.

Die Abhängigkeit von Brennstoffimporten wird insgesamt steigen, was die Anfälligkeit für geopolitische Risiken auf Seiten von Deutschland noch erhöht. Durch den Einsatz von E-Fuels im Pkw-Bereich wird Deutschland weiter abhängig von Kraftstoffimporten und da Autofahren mit E-Fuels teurer werden als das Fahren mit fossilen Brennstoffen bzw. der Elektromobilität. Elektromobilität senkt dagegen den Bedarf an Importen von Brennstoffen. Angesichts der Erfahrungen während der Energiekrise sowie der aktuellen geopolitischen Unsicherheiten gewinnt dieser Aspekt neben der ökonomischen Perspektive zunehmend an Bedeutung. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist daher umso mehr ein weiterer Hochlauf der Elektromobilität umso wichtiger.

²² BUNDESWIRTSCHAFTSMINISTERIUM (2025): „INTERNATIONALE WASSERSTOFFZUSAMMENARBEIT“



Quellenverzeichnis

- ADAC (2025): „Oldtimerversicherung: Tarife und Leistungen“. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/produkte/versicherungen/oldtimerversicherung/tarife-und-leistungen/>.
- ADAC (2025): „7 Fragen zum Benzinpreis“. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/tipps-zum-tanken/7-fragen-zum-benzinpreis/>.
- Bundesfinanzministerium (2024): „Entwurf eines Gesetzes zur steuerlichen Behandlung von lediglich mit E-Fuels betriebbaren Kraftfahrzeugen“.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2024): „BBSR legt aktualisierte Bevölkerungsprognose 2045 vor“.
- Bundeswirtschaftsministerium (2025): „Internationale Wasserstoffzusammenarbeit“.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2024): „Verkehr in Zahlen“.
- Industriemagazin (2024): „Verbrenner-Aus: Wie funktionieren E-Fuels?“. Verfügbar unter: <https://industriemagazin.at/news/verbrenner-aus-wie-funktionieren-efuels/>.
- KBA (2025): „Der Fahrzeugbestand am 1. Januar“.
- Mobilitätsschule (2025): „Leistung, Energie, Verbrauch“. Verfügbar unter: <https://nachhaltigmobil.schule/leistung-energie-verbrauch/>.
- Prognos AG (2021): „Klimaneutrales Deutschland 2045“.
- Rode, J. (2025): „Jedes Jahr importiert Deutschland fossile Brennstoffe im Wert von Ø 81 Mrd. EUR“. KfW Research.
- Statistisches Bundesamt (2024): „Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch inländischer Personenkraftwagen“.
- Statistisches Bundesamt (2024): „Pkw-Dichte 2024 leicht gestiegen“.
- Statistisches Bundesamt (2025): „Bruttostromerzeugung in Deutschland“.
- Verband der Automobilindustrie (VDA) (2025): „Besteuerung von E-Fuels“. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/klima-umwelt-und-nachhaltigkeit/wasserstoff-und-e-fuels/besteuerung-von-e-fuels>.
- Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. (2025): „Fahrzeugbestand“. Verfügbar unter: <https://www.vdik.de/themen/automobilmarkt/fahrzeugbestand/>.
- Wietschel, M., Plötz, P., Dütschke, E., Neuner, F., Tröger, J. und Gnann, T. (2023): „Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.3.2023“. Fraunhofer ISI.

Impressum

CAR – Center Automotive Research
C/O D+S Automotive GmbH
Bismarckstr. 142 (Tectrum-Tower)
47057 Duisburg

CAR – Center Automotive Research
(Burak Kaya)
Prof. Dr. Helena Wisbert
(Ostfalia Hochschule)