

# Dekarbonisierung im Straßenverkehr in Deutschland und Europa

Thomas Frewer, Hans Jürgen Wernicke

5. Juni 2026

## Zusammenfassung

Die individuelle Mobilität ist ein zentraler Bestandteil moderner Gesellschaften und Voraussetzung für wirtschaftliche Teilhabe, soziale Chancengleichheit und persönliche Freiheit. Die Transformation des Verkehrssektors hin zur Klimaneutralität stellt jedoch hohe Anforderungen, da sie nicht nur ökologische Ziele, sondern auch Versorgungssicherheit, Systemresilienz und wirtschaftliche Tragfähigkeit berücksichtigen muss.

Der derzeitige politische Fokus auf eine weitgehende Elektrifizierung des Straßenverkehrs greift aus Sicht einer ganzheitlichen Betrachtung zu kurz. Zwar leisten batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) einen wichtigen Beitrag zur Emissionsreduktion, jedoch bestehen weiterhin Herausforderungen hinsichtlich Rohstoffabhängigkeiten, Ladeinfrastruktur, Kostenstruktur sowie der tatsächlichen Klimawirkung über den gesamten Lebenszyklus. Zudem bleibt der Verkehrssektor stark von bestehenden Fahrzeugflotten geprägt, deren kurzfristige durchgreifende Dekarbonisierung nur begrenzt über Neuzulassungen erreicht werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird ein technologieoffener Ansatz gefordert, der Elektromobilität, Hybridantriebe sowie klimafreundliche Kraftstoffe gleichberechtigt berücksichtigt. Insbesondere synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) und biogene Alternativen wie HVO100 bieten die Möglichkeit, bestehende Fahrzeuge sofort in die Dekarbonisierung einzubeziehen und vorhandene Infrastruktur weiter zu nutzen. Ergänzend können Range-Extender-Konzepte als Brückentechnologie die Vorteile elektrischer Antriebe mit der Flexibilität flüssiger Energieträger verbinden.

Zentral ist eine Reform der regulatorischen Bewertungsgrundlagen. Die derzeitige Fokussierung auf „Tank-to-Wheel“-Emissionen sollte durch einen Life-Cycle-Assessment-Ansatz ersetzt werden, der sämtliche Emissionen entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt. Nur so kann eine technologieneutrale und wissenschaftlich fundierte Bewertung verschiedener Antriebssysteme gewährleistet werden.

Für den Schwerlast- und Nutzfahrzeugsektor ergeben sich zusätzliche Herausforderungen durch steigenden Transportbedarf, begrenzte Ladeinfrastruktur und hohe Investitionskosten. Hier werden auch künftig mehrere Antriebstechnologien parallel erforderlich sein, einschließlich elektrischer, wasserstoffbasierter und kraftstoffbasierter Lösungen.

Insgesamt zeigt sich, dass eine erfolgreiche und gesellschaftlich akzeptierte Dekarbonisierung des Verkehrs nur durch einen technologieoffenen, markt- und wettbewerbsbasierten Ansatz erreichbar ist. Die CO<sub>2</sub>-Flotten-Regulierung muß auf Lebenszyklusanalyse umgestellt werden. . Das ermöglicht nicht nur Kosteneffizienz und Innovation, sondern stärkt auch die Resilienz des Energiesystems und reduziert neue geopolitische Abhängigkeiten.

## **Einleitung**

Die individuelle Mobilität ist für die meisten Menschen ein unverzichtbarer Bestandteil ihres Alltags und steht für Freiheit, Flexibilität, Chancengleichheit und gesellschaftliche Teilhabe. Wie alle anderen Lebensbereiche steht auch der Straßenverkehr vor der Herausforderung, in einem überschaubaren Zeitraum und zu erträglichen Bedingungen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Dies kann jedoch nur gelingen, wenn alle verfügbaren Optionen eine faire Chance erhalten. Auch zukünftig darf individuelle Mobilität mit einem PKW nicht durch prohibitiv hohe Kosten auf bestimmte gesellschaftliche Gruppen beschränkt werden.

Die Transformation des Verkehrssektors in Deutschland ist dabei als Teil eines gekoppelten Energie-, Infrastruktur- und Technologiesystems zu verstehen. Neben ökologischen Zielsetzungen gewinnen systemische Aspekte wie Versorgungssicherheit, Anpassungsfähigkeit und Resilienz zunehmend an Bedeutung.

Ein resilientes System zeichnet sich dadurch aus, dass es gegenüber geopolitischen Entwicklungen, Rohstoffabhängigkeiten, Energiepreisschwankungen und infrastrukturellen Engpässen robust bleibt und gleichzeitig wettbewerbsfähige Energiekosten ermöglicht.

Die aktuelle Unterbrechung der Versorgungskette von Öl und Gas durch die Blockade der Straße von Hormus verdeutlicht die anhaltende Verwundbarkeit globaler Energiesysteme. Vor diesem Hintergrund wird die weitestgehende Elektrifizierung des Verkehrs häufig als zentrale Lösung

betrachtet. Eine rein technologiezentrierte Elektrifizierungsstrategie kann jedoch neue Abhängigkeiten erzeugen, insbesondere von kritischen Rohstoffen für PV-, Windkraft- und Batteriespeicher-anlagen, globalen Lieferketten sowie dem schnellen Ausbau der Strom- und Ladeinfrastruktur.

In Deutschland ist bisher die Kundenakzeptanz von rein batterieelektrischen PKWs (BEV) deutlich hinter den politischen Zielsetzungen zurückgeblieben, aber erfährt aber mit breiterem BEV-angebot und wiedereingesetzten staatlichen Kaufprämien einen wachsenden Anteil bei den Neuzulassungen (aktuell etwa 25%). Höherer Beliebtheit erfreuen sich aktuell Hybrid-PKW (vor allem Plug-In (PHEV)-Fahrzeuge) mit einem Neuzulassungsanteil von knapp 40%. Beide Technologien können zur Emissionsreduktion beitragen, insbesondere bei Nutzung eines hohen Anteils erneuerbarer und emissionsarmer Stromerzeugung. Allerdings sind steigende BEV- und PHEV-Neuzulassungen nicht ausreichend, um die GHG-emissionen signifikant zu beeinflussen. Daher kommt der Transformation der Bestandsflotte besondere Bedeutung zu. Hierfür sind zunehmend klimafreundliche Kraftstoffe als ergänzende Option zu sehen, da sie für bestehende Fahrzeuge sofortige und erhebliche Emissionsminderung bringen und zusätzliche Versorgungspfade eröffnen.

Der Wettbewerb zwischen Elektromobilität und klimafreundlichen, grünen Kraftstoffen sollte unvoreingenommen und technologieoffen gestaltet werden. Nur so lässt sich gesellschaftliche Akzeptanz, eine klimafreundliche und zugleich sozial verträgliche Mobilität und maximale System-Resilienz erreichen.

Dies erfordert einen fairen, technologie-neutralen Regulierungsrahmen, der unterschiedliche Antriebspfade auf Basis eines ganzheitlichen Bewertungsansatzes berücksichtigt. Die derzeitige EU-Regulierung fokussiert überwiegend auf Tailpipe-Emissionen und stuft batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) fälschlicherweise als „Zero-Emission“ – Fahrzeuge ein. Eine Umstellung auf einen **LCA-Ansatz** (ganzheitliche Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks incl. Produktion und Entsorgung) würde eine wissenschaftlich fundierte, „CO<sub>2</sub>-gerechte“ Bewertung aller Technologien ermöglichen.

Die Entscheidung über die passende Antriebstechnologie sollte beim **Kunden** liegen; Technologieverbote lehnen wir ab. Da die Emissionen im Verkehr künftig durch das europäische **ETS-2** begrenzt werden, ist ein politisch festgelegtes Enddatum für einzelne Antriebsarten eine nicht notwendige Überregulierung.

EU-weite Regelungen sind unabdingbar, da der Straßenverkehr – insbesondere im Nutzfahrzeugbereich – zunehmend grenzüberschreitend stattfindet.

Die EU ist derzeit der einzige große Wirtschaftsraum, der politisch ein Ende des Verbrennungsmotors anstrebt. Andere Regionen, einschließlich China, verfolgen einen technologieoffeneren Ansatz. Auch die EU sollte stärker auf **technologischen Wettbewerb und dabei auch auf klimaneutrale Kraftstoffe** setzen.

Aus Gründen der Resilienz sollte die EU keine neuen Abhängigkeiten durch den Import teurer Batterien & seltener Erden z.B. aus China entstehen lassen und alternative Optionen wie klimaneutrale Kraftstoffe systematisch einbeziehen. Auch langfristig wird ein Fahrzeugbestand verbleiben, der nicht vollständig elektrifiziert ist, wodurch weiterhin Bedarf an einer flächendeckenden Infrastruktur für flüssige Energieträger besteht, unter anderem für

Nutzfahrzeuge, Einsatz - und Militär-Fahrzeuge sowie kritische Backup-Systeme (z.B. Notstromdiesel).

## 1. Zentrale Aussagen und wichtige politische Forderungen

- Die EU-Flottenregulierung basiert derzeit auf dem verkürzten „**Tank-to-Wheel**“-Ansatz, der nur CO<sub>2</sub>-Emissionen am Auspuff betrachtet. Sie sollte spätestens bis **2035 auf einen ganzheitlichen Life-Cycle-Assessment-Ansatz (LCA)** umgestellt werden, der den gesamten Treibhausgas-Fußabdruck berücksichtigt.
- **E-Fuels** müssen als gleichberechtigte Kraftstoffoption anerkannt und regulatorisch fair integriert werden. Ein Vorbild für eine LCA-basierte Regulierung kann die Schweiz sein, wo synthetische Kraftstoffe bereits in das Flottenregime einbezogen werden können.
- **Biogene Kraftstoffe wie HVO100** sollten ebenfalls in der EU-Flottenregulierung anerkannt werden. Sie stellen kurzfristig die größte, kostengünstigste und sofort verfügbare Option zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Straßenverkehr dar. Die aktuelle Regulierung führt dagegen zu einer sehr teuren einseitigen Fokussierung auf batterieelektrische Fahrzeuge (BEV).
- **Range-Extender-Konzepte** können für Pkw und Nutzfahrzeuge eine wirtschaftliche Übergangslösung sein. Dabei lädt ein kleiner Verbrennungsmotor – betrieben mit klimafreundlichen Kraftstoffen wie E-Fuels oder HVO100 – während der Fahrt die Batterie nach und erhöht so die Reichweite erheblich. Besonders im schweren Nutzfahrzeugverkehr, wo der Ausbau der Megawatt-Ladeinfrastruktur lange dauern wird, bietet dieses Konzept kurzfristige Emissionsminderungen ohne Reichweiteneinschränkung.
- Die **EU-Regulierung muss technologieoffen gestaltet werden**:
  - Klimafreundliche Kraftstoffe dürfen nicht diskriminiert werden; EU RED III RFNBO-Quoten (u.a. für e-fuels) sollten über 2030 hinaus verstetigt werden (analog dem THG-quoten-Gesetz in D mit steigender sog. RFNBO-Unterquote bis 2040; RFNBO steht für **R**enewable **F**uels of **N**on-**B**iological **O**riin)
  - Produktionsstandards für E-Fuels sowie Strombezugskriterien für grünen Wasserstoff müssen vereinfacht werden; für die Herstellung sollten industrielle CO<sub>2</sub>-Quellen nutzbar sein.
  - Fiskalische Instrumente – insbesondere die EU-Energiesteuerrichtlinie – sollten am tatsächlichen Treibhausgas-Fußabdruck der Energieträger ausgerichtet werden.

## 2. Kernforderungen an die Politik

### 2.1 Regulierung am Treibhausgaseffekt ausrichten

Die EU-Flottenregulierung sollte so bald wie möglich, spätestens bis 2035, auf eine **Life-Cycle-Analyse (LCA)**-Basis umgestellt werden. Der heutige Tank-to-Wheel-Ansatz ignoriert

beispielsweise den großen Treibhausgas-Fußabdruck der Batterieproduktion und führt fälschlicherweise dazu, dass BEV als „Zero-Emission-Fahrzeuge“ gelten.

Ein LCA-Ansatz würde auch **E-Fuels und andere klimafreundliche Energieträger** fair berücksichtigen. In der Schweiz können Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor bereits dann mit 0 g CO<sub>2</sub>/km auf Flottenziele angerechnet werden, wenn der Einsatz klimaneutraler Kraftstoffe nachgewiesen wird.

## **2.2 HVO100 als kurzfristige Minderungsoption anerkennen**

Biogene Kraftstoffe wie zum Beispiel **HVO100** ermöglichen sofortige und kostengünstige Emissionsminderungen im bestehenden Fahrzeugbestand. Sie sollten daher in der EU-Flottenregulierung berücksichtigt werden.

## **2.3 Range-Extender-Konzepte ermöglichen**

Range-Extender-Antriebe kombinieren elektrische Effizienz mit der Reichweite flüssiger Kraftstoffe. Gerade im Nutzfahrzeugbereich können sie eine sofort wirksame Übergangslösung darstellen, solange eine flächendeckende Megawatt-Ladeinfrastruktur fehlt. Die EU-Regulierung sollte solche Konzepte sowie den Einsatz klimafreundlicher Kraftstoffe regulatorisch berücksichtigen. Dies wäre für OEM's ein Anreiz, solche Konzepte auch anzubieten.

## **2.4 Staatliche Förderung in Deutschland neu ausrichten**

Die staatliche Förderung von BEV (> 38 Mrd. € von 2025 bis 2030!) sollte zügig reduziert und stärker auf **Forschung, Entwicklung und Infrastruktur** fokussiert werden. Politisch festgelegte Zielwerte für Fahrzeugbestände, z.B. von BEV, sind ein teurer und unnötiger planwirtschaftlicher Ansatz und nicht sinnvoll.

## **3. Warum die EU-Regulierung angepasst werden sollte**

Studien zeigen, dass ein BEV im Pkw-Bereich erst nach einer Fahrleistung von etwa **80.000 – 120.000 km** einen geringeren Treibhausgas-Fußabdruck als ein Verbrenner aufweist. Die Einstufung als „Zero-Emission-Fahrzeug“ ist daher wissenschaftlich falsch und nicht haltbar. Objektivität schafft eine LCA-Betrachtung, wie sie auch in anderen Bereichen Anwendung findet. Auch volkswirtschaftlich ist eine ausschließliche Fokussierung auf BEV teuer. Eine Kombination aus Elektrifizierung und klimafreundlichen Kraftstoffen kann unnötige Transformationskosten reduzieren.

## **4. Dekarbonisierung von Pkw, Nutzfahrzeugen und Sonderfahrzeugen**

Der Fahrzeugbestand in Deutschland umfasst rund **61 Millionen Fahrzeuge**, darunter etwa **49 Millionen Pkw**. Für eine schnelle Emissionsreduktion greift die derzeitige Fokussierung auf Neufahrzeuge zu kurz, auch der bestehende Fahrzeugbestand muss berücksichtigt werden. Klimafreundliche Kraftstoffe leisten hierbei einen sofortigen Beitrag zur Erreichung der Emissionsminderungsziele.

### **4.1 Dekarbonisierung bei PKW**

Der PKW-Bestand in Deutschland wird voraussichtlich von etwa 49 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2025 auf rund 54 Mio. im Jahr 2045 steigen. Gleichzeitig verändert sich die Antriebsstruktur deutlich. Laut Prognos (2024, Referenzszenario) sinkt der Bestand an Diesel-PKW von rund 13 Mio. auf weniger als 2 Mio., während Benzin-PKW von etwa 32 Mio. auf rund 6,5 Mio. zurückgehen (jeweils bis 2045, incl. Hybrid-Antriebe). Der verbleibende Fahrzeugbestand wird aus batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) bestehen.

Die Verkehrsleistung im Personenverkehr wächst laut Prognos bis etwa 2035 leicht und geht danach demografisch bedingt etwas zurück. Der motorisierte Individualverkehr soll bis etwa 2035 wieder das Niveau von 2019 erreichen und anschließend moderat weiterwachsen, während gleichzeitig die Verkehrsleistung im Schienenpersonenverkehr zunimmt.

#### **4.1.1 Fortschritte und Grenzen batterieelektrischer Mobilität**

Prognos (2024) erwartet bis 2045 etwa 45 Mio. BEV-PKW. Die Verkehrsentwicklungsprognose des Bundesverkehrsministeriums (2024) geht für 2040 von rund 34 Mio. BEV und etwa 15,5 Mio. Verbrennerfahrzeugen aus. Gleichzeitig sinkt die Fahrleistung von Verbrennerfahrzeugen deutlich.

Batterieelektrische Fahrzeuge bieten hohe Energieeffizienz und lokal emissions-freien Betrieb. Allerdings wird das Stromsystem in Deutschland nie vollständig emissionsfrei sein können – unter anderem wegen begrenzter Sonneneinstrahlung, schwankender Windverhältnisse und der exponentiell hohen Kosten eines fast ausschließlich auf Solar- und Windenergie basierenden Systems. Deshalb sind auch Elektroautos insgesamt nicht komplett emissionsfrei. Außerdem gibt es weiterhin einige Herausforderungen: Dazu gehören die begrenzte Reichweite, lange Ladezeiten, das hohe Gewicht der Batterien, deren Alterung und Entsorgung über die Zeit sowie Fragen zum Wiederverkaufswert der Fahrzeuge.

Fahrzeugbatterien können auch, anders als manchmal behauptet, praktisch nichts zur Lösung des saisonalen Speicherbedarfs in einem Stromsystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien beitragen.

In Szenarien bislang wenig berücksichtigt sind Range-Extender-Konzepte. Hier kombiniert ein elektrischer Antrieb eine (ggü. reinen BEV kleinere) Batterie mit einem kleinen, hocheffizienten Verbrennungsmotor, der während der Fahrt Strom erzeugt und die Reichweite erhöht. Wird dieser

mit klimafreundlichen Kraftstoffen betrieben, lassen sich elektrische Antriebe mit den Vorteilen flüssiger Energieträger verbinden.

#### **4.1.2 Bedeutung der Nutzungsrealitäten**

Viele Haushalte verfügen nur über ein Fahrzeug, das sowohl Alltagsmobilität als auch längere Fahrten abdecken muss. Reine BEV sind jedoch bislang selten das einzige Fahrzeug eines Haushalts.

Ein weiterer limitierender Faktor ist die Ladeinfrastruktur. Private Lademöglichkeiten bestehen vor allem bei Einfamilienhäusern mit eigenem Stellplatz, während viele Haushalte in Mietwohnungen auf öffentliche Ladeangebote angewiesen sind. Insbesondere im ländlichen Raum dürfte sich eine flächendeckende Schnellladeinfrastruktur nur schrittweise entwickeln.

Hybridfahrzeuge verbinden für viele Nutzer die Vorteile elektrischen Fahrens mit hoher Reichweite und vorhandener Tankinfrastruktur. Ihr Anteil an Neuzulassungen liegt derzeit bei etwa 30–40 %.

Zudem bleibt für viele Haushalte ein niedriger Fahrzeugpreis entscheidend. Kleine BEV, die von europäischen OEMs in der EU gefertigt werden, lassen sich wegen der sehr teuren Batterie nicht im Preisbereich von etwa 10.000–15.000 € anbieten, der bei kleinen Verbrennerfahrzeugen lange üblich war. Für erschwingliche individuelle Mobilität werden daher noch längere Zeit Verbrennungsmotoren benötigt, möglichst mit klimafreundlichen Kraftstoffen.

#### **4.1.3 Hybride und E-Fuels**

Im Oberklassesegment besteht weiterhin eine hohe Nachfrage nach großen Reichweiten, die derzeit häufig besser durch Verbrenner- oder Hybridfahrzeuge erreicht werden. Diese Kundengruppe könnte auch höhere Preise für nahezu emissionsfreie synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) tragen.

Vor diesem Hintergrund sollten regulatorische Rahmenbedingungen in der EU den Einsatz solcher nahezu treibhausgasneutralen Kraftstoffe stärker berücksichtigen.

#### **4.1.4 Klimafreundliche Kraftstoffe**

Ein möglicher nahezu klimaneutraler Ersatz für Benzin ist synthetisches Benzin, das aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> hergestellt wird (Methanol-to-Gasoline-Verfahren). Pilotprodukte werden bereits testweise angeboten („Klimabenzin95“). Während die Kosten derzeit noch sehr hoch sind, könnten sie bei großskaliger Produktion in Regionen mit günstiger erneuerbarer Energie langfristig auf etwa 1,4–1,8 €/l sinken.

Als Ersatz für Diesel steht bereits HVO100 zur Verfügung, ein Kraftstoff mit etwa 80–90 % geringeren Treibhausgasemissionen, der von vielen neueren Dieselfahrzeugen sofort problemlos genutzt werden kann. Die Produktionskapazität dafür wird weltweit stark ausgebaut.

Auch die benötigten Rohstoffe kann die EU langfristig selbst bereitstellen – selbst dann, wenn Biomasse gleichzeitig auch für Heizung und Industrie verwendet wird. Dadurch würden keine neuen Abhängigkeiten von anderen Ländern entstehen.

Ein zentraler Vorteil von biogenen Kraftstoffen und E-Fuels ist, dass sie in der vorhandenen Infrastruktur genutzt werden können: bestehende Produktionsanlagen, Logistik- und Tankstellenstruktur. Strategisch bedeutet das, dass man mit sofortigem Effekt auf die Verminderung der Emissionen die bestehende Fahrzeugflotte dekarbonisiert, ohne sie komplett zu ersetzen.

Andere Antriebskonzepte wie Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge oder Fahrzeuge mit reinem Methanol sind technisch entwickelt, spielen im europäischen PKW-Markt bislang jedoch kaum eine Rolle.

Auch neue Motorenentwicklungen (z.B. 6-Taktmotoren oder neue Dieselmotoren in China mit über 50% Wirkungsgrad, was eine wesentliche Verbesserung darstellt) könnten zusätzliche Beiträge leisten. Das zeigt, dass Wettbewerb der technologischen Optionen immer wieder auch Innovationen hervorbringt!

## **4.2 Dekarbonisierung bei Nutzfahrzeugen**

Auch im Güterverkehr wird langfristig ein steigender Transportbedarf erwartet. Laut Prognose (2024) wächst die Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr von 516 Mrd. Tonnenkilometern (2025) auf 612 Mrd. Tonnenkilometer im Jahr 2045. Die Verkehrsentwicklungsprognose des Bundesverkehrsministeriums sieht sogar einen Anstieg auf 668 Mrd. Tonnenkilometer im Jahr 2040 (+35 % gegenüber 2019).

Nutzfahrzeuge bleiben aufgrund ihrer Flexibilität und der großen Bandbreite unterschiedlicher Fahrzeugtypen zentral für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Deutschlands.

Der Nutzfahrzeugmarkt wird üblicherweise in drei Gruppen unterteilt:

- **LDV (Light Duty Vehicles)** bis 3,5 t
- **MDV (Medium Duty Vehicles)** bis 7,5 t
- **HDV (Heavy Duty Vehicles)** bis 40/44 t

2025 betrug der Bestand rund 3,4 Mio. LDV, überwiegend mit Dieselantrieb. Bis 2045 könnte dieser Bestand auf etwa 4,6 Mio. steigen, wobei prognostiziert wird, dass davon dann rund 4 Mio. batterieelektrisch angetrieben sind.

Bei schweren Nutzfahrzeugen dominiert aktuell der Dieselantrieb: Von rund 49 Mrd. Fahrzeugkilometern im Jahr 2025 werden etwa 48 Mrd. mit Diesel zurückgelegt.

#### 4.2.1 Elektrische Nutzfahrzeuge

In Deutschland sind derzeit etwas mehr als 100.000 elektrische Nutzfahrzeuge zugelassen, vor allem leichte Transporter (davon z.B. 35000 bei der deutschen Post).

Insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen mit hoher Auslastung können elektrische Antriebe effizient sein, auch wenn das hohe Batteriegewicht die Zuladung vermindert. Die zentrale Herausforderung liegt jedoch in der Ladeinfrastruktur. Große Schnellladeanlagen für LKW (Mega-Charging-Systeme mit 400–1000 kW/Anschluß) erfordern häufig neue Hochspannungsanschlüsse mit langen Genehmigungszeiten und mehrjährigen Wartezeiten auf einen Netzanschluß. Zudem sind die Netzanschlusskapazitäten vielerorts begrenzt. Der Aufbau einer leistungsfähigen Ladeinfrastruktur entlang europäischer Transportkorridore ist Voraussetzung, dürfte sich aber erst langfristig realisieren lassen.

Für Transportunternehmen sind neben dem Nutzwert vor allem die **Total Cost of Ownership (TCO)** entscheidend. Aufgrund der Batteriekosten sind elektrische Zugmaschinen derzeit typischerweise zwei- bis dreimal so teuer wie Dieselvarianten.

Die Modellpolitik der Hersteller (OEM) wird stark durch EU-Flottenregulierung geprägt, die batterieelektrische Fahrzeuge als „Zero-Emission-Vehicles“ definiert und daher die OEMs stark in diese Antriebsart lenkt. Förderinstrumente wie Mautbefreiungen und Kaufzuschüsse verstärken diese Entwicklung.

Herstellerprognosen erwarten bei neuen HDVs daher 2030 einen Absatzanteil batterie-elektrischer LKW von über 40% in Deutschland. Angesichts der Infrastrukturherausforderungen erscheint jedoch ein Anteil von etwa 25–35 % realistischer. Langfristig könnte der Anteil elektrischer Fahrzeuge an der Transportleistung schwerer LKW etwa 50–60 % erreichen.

#### 4.2.2 Range-Extender, HVO100 und Wasserstoff

Range-Extender-Konzepte könnten elektrische Antriebe mit den Vorteilen flüssiger Kraftstoffe kombinieren. Dabei ergänzt ein hocheffizienter Verbrennungsmotor den elektrischen Antrieb und erzeugt während der Fahrt Strom für die Batterie. Wird dieser mit klimafreundlichem Kraftstoff wie HVO100 betrieben, können Reichweite und Flexibilität deutlich erhöht werden.

Kurzfristig bietet **HVO100** eine weitgehend klimafreundliche Alternative zu fossilem Diesel mit hoher Kompatibilität zur bestehenden Fahrzeugflotte. Für viele neuere Nutzfahrzeuge liegen bereits Herstellerfreigaben vor. Ende 2025 bieten rund 500 Tankstellen in Deutschland HVO100 an, zusätzlich wird der Kraftstoff zunehmend in Betriebshöfen eingesetzt.

Neben batterieelektrischen Antrieben stellt auch Wasserstoff eine mögliche Option für schwere Nutzfahrzeuge dar, entweder über Brennstoffzellen oder über Wasserstoff-Verbrennungsmotoren. Prognosen der Hersteller erwarten einen parallelen Hochlauf beider Technologien. Der Aufbau der

erforderlichen Wasserstoffinfrastruktur wird jedoch zeit- und kostenintensiv sein und dürfte zunächst auf stark frequentierte Transportkorridore beschränkt bleiben.

Andere alternative Kraftstoffe wie CNG oder LNG werden im deutschen Nutzfahrzeugmarkt voraussichtlich keine bedeutende Rolle mehr spielen.

#### **4.2.3 Sonderfahrzeuge**

Bestimmte Fahrzeugkategorien – etwa Militärfahrzeuge, Baumaschinen, Motorräder oder Oldtimer – lassen sich nur schwer elektrifizieren. Hier werden flüssige Kraftstoffe langfristig benötigt, idealerweise in klimafreundlicher Form wie HVO100. Geo- und sicherheitspolitische Aspekte erfordern eine sensible Planung für den Erhalt entsprechender Produktionskapazitäten und von Raffinerie- und Logistikstrukturen sowie öffentlich zugänglicher Tankstellen.

## **5. Optionen für kurzfristige Emissionsminderungen**

Mehrere national umsetzbare Maßnahmen könnten kurzfristig Emissionen senken:

- Stärkere politische Unterstützung für **HVO100**
- Abschaffung der Pflicht zur Bereitstellung von **E5-Benzin** an allen Tankstellen
- Einführung neuer Kraftstoffoptionen wie **E20** und anderer emissionsarmer Blending-Komponenten
- Erhöhung der Quoten für synthetische, nicht fossil basierte Kraftstoffkomponenten (e-fuels, RFNBOs)
- Neben Ethanol Einführung und Zulassung weiterer Kraftstoffkomponenten, insbesondere sauerstoffhaltiger synthetischer Kraftstoffe (Oxygenate) zur Verminderung anderer Emissionen
- Rechtzeitige europaweite Erweiterung der entsprechenden Kraftstoffnormen

Auch Investitionen in E-Fuel-Produktionsanlagen und zur Ausweitung des Co-Processing (gleichzeitige Verarbeitung von biogenen und fossilen Molekülen in Raffinerien) benötigen regulatorische Planungssicherheit, damit entsprechende Investitionen getätigt werden. Viele Regierungen und Unternehmen verfolgen eine Multi-Technologie-Strategie, um Risiken zu reduzieren.

## **6. Schlussfolgerung**

Die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs erfordert **einen technologieoffenen, wissenschaftlich begründeten Ansatz**. Neben batterieelektrischen Antrieben werden auch Hybridlösungen (inclusive sog. Range-Extender) und Verbrennungsmotoren mit klimafreundlichen Kraftstoffen langfristig eine Rolle spielen.

Die Elektromobilität basiert stark auf teuren importierten Batterien, einer noch zu schaffenden flächendeckenden Ladeinfrastruktur, aber auch auf der Verfügbarkeit und Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen wie Lithium, Nickel, Kobalt und Seltenen Erden.

Die Koexistenz mit klimafreundlichen Molekülen sichert eine alternative Energiekette und Versorgungslogistik und damit die Resilienz des Energiesystems.

Mit **HVO100 kurzfristig** und **synthetischen Kraftstoffen langfristig** stehen entsprechende Optionen zur Verfügung. Voraussetzung ist jedoch eine EU-Regulierung, die auf einem **Life-Cycle-Ansatz** basiert und alle Technologien fair bewertet.

Technologischer Wettbewerb statt Verbote ermöglicht einen wesentlich kosten-effizienteren, resilienten und gesellschaftlich akzeptierten Transformationspfad.