



Foto: Getty Images/iStockphoto/Risto



Plattform Nachhaltiger
Schwerlastverkehr

FACTSHEET

Erneuerbare Energieträger im Schwerlastverkehr

Vor- und Nachteile von erneuerbaren Kraftstoffen und grünem Strom im Schwerlastverkehr, sowie der Einfluss regulatorischer Instrumente auf deren Wettbewerbsfähigkeit

Erneuerbare Energieträger

Um die negativen Klima- und Umweltauswirkungen des Schwerlastverkehrs erheblich zu reduzieren, kommen verschiedene Energieträger infrage, mit denen die aktuelle Bestandsflotte und zukünftig zugelassene Lkw und Sattelzugmaschinen betrieben werden können. **Zahlen, Fakten und Hintergründe** zu diesen Energieträgern im deutschen Markt werden hier aufgeschlüsselt.

Energieträger

Sortiert nach Wirkungsgrad und Emissionsreduktion

Emissionen

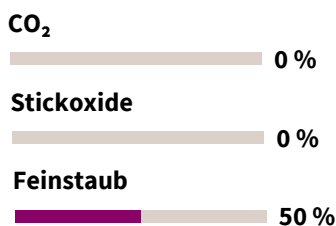
Well-to-Wheel (exkl. Fahrzeugherstellung); Vergleich zum Diesel



Zahlen und Fakten

Durchschnittswerte 2024*

Grüner Strom

Erneuerbarer Strom wird ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt.

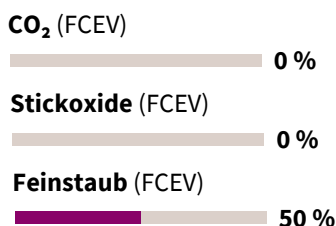




Stromkosten (netto)	50 €/100 km
Potenzialausschöpfung	
Verfügb. Ladeinfrastruktur	
Ladedauer	60 min
Reichweite	300–600 km
Wirkungsgrad (WtW)	65–75 %
Fahrzeuganzahl (BEV)	~550

Grüner Strom verursacht im Betrieb **keinerlei CO₂- oder Stickoxid-Emissionen**. Um die Well-to-Wheel CO₂-Emissionen im Realbetrieb auf null zu senken, muss der Anteil erneuerbaren Stroms von aktuell noch 52 % auf 100 % steigen. Batteriebetriebene Lkw bieten vergleichsweise **geringe Reichweiten** und die **Ladeinfrastruktur** befindet sich noch in der frühen Aufbauphase. **Schnellladestationen** von 350 kW–1000 kW sind aktuell in Deutschland nur vereinzelt vorhanden, sollen jedoch gemäß der AFIR bis 2030 entlang des transeuropäischen Kernnetzes (TEN-V) alle 60 Kilometer – pro Standort mind. 3.600 kW und mind. zwei Ladepunkte je 350 kW Ladeleistung – entstehen. Noch macht Strom einen **kleinen Anteil** des Energieverbrauchs im Schwerlastverkehr aus, jedoch haben E-Lkw das **Potenzial**, den Großteil der deutschen Nutzfahrzeuge zu dekarbonisieren, da die Erzeugung von grünem Strom kurz-, mittel- und langfristig ausreichend skaliert werden kann.

Grüner Wasserstoff

Grüner Wasserstoff wird unter Verwendung von erneuerbarem Strom aus Wasser hergestellt. Durch Elektrolyse wird dabei der Wasserstoff vom Sauerstoff getrennt.



Kraftstoffkosten (netto)	84 €/100 km
Potenzialausschöpfung	
Verfüg. Tankinfrastruktur	
Tankdauer	10–15 min
Reichweite	400–800 km
Wirkungsgrad (WtW)	20–30 %
Fahrzeuganzahl (FCEV)	~100

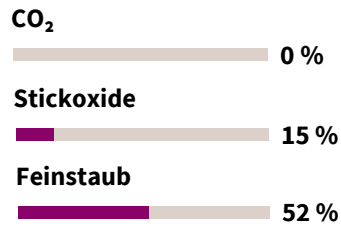
Grüner Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) emittiert ebenfalls **weder CO₂ noch Stickoxide**. Jedoch ist sowohl der Kraftstoff selbst als auch die entsprechende **Tankinfrastruktur** aktuell noch in der frühen Aufbau-phase und es wird überwiegend grauer Wasserstoff angeboten. Gemäß der AFIR soll bis 2030 entlang des transeuropäischen Kernnetzes (TEN-V) alle 200 km eine H₂-Tankmöglichkeit für Schwerlastfahrzeuge zur Verfügung stehen. Die **Reichweite** des gängigsten Fahrzeugtyps mit 350 Bar liegt bei rund 400 km, bei 700-Bar-Fahrzeugen können Reichweiten von rund 800 km erreicht werden. Das theoretische **Potenzial** für Wasserstoff ist sehr hoch, jedoch müssen die Elektrolyse- und Importkapazitäten hierzu stark ausgebaut werden. Statt im Brennstoffzellenantrieb kann Wasserstoff theoretisch auch in **umgerüsteten Verbrenner-Lkw (H2ICE)** und somit in der großen Diesel-Bestandsflotte genutzt werden. H2ICE benötigen pro km jedoch mehr H₂ als FCEVs.

* Annahmen (Stand August 2024): siehe weitere auf der letzten Seite

Schwerlastfahrzeugtyp: Mischkalkulation aus Sattelzugmaschinen und Motorwagen über 12 t zGM (N3).
Potenzialausschöpfung: Diese ergibt sich aus dem aktuellen Marktanteil an erneuerbaren Energieträgern im Verkehr und der potenziell verfügbaren Menge an Rohstoffen zur Produktionssteigerung.

Bio CNG

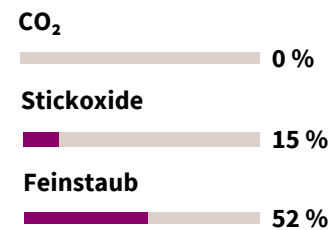
Bio CNG (**Bio Compressed Natural Gas**) ist ein gasförmiger, fortschrittlicher Biokraftstoff, der aus Biomethan aus organischen Reststoffen wie z.B. Dung und Ernteauffällen hergestellt wird.



Kraftstoffkosten (netto)	29 €/100 km
Potenzialausschöpfung	
Verfüg. Tankinfrastruktur	
Tankdauer	10–15 min
Reichweite	600–800 km
Wirkungsgrad (WtW)	15–25 %
Fahrzeuganzahl (CNG)	~5.500

Bio LNG

Bio LNG (**Bio Liquefied Natural Gas**) wird ebenfalls aus organischen Reststoffen wie z. B. Gülle und Ernteauffällen hergestellt. Im Gegensatz zu Bio CNG wird es jedoch **verflüssigt**.

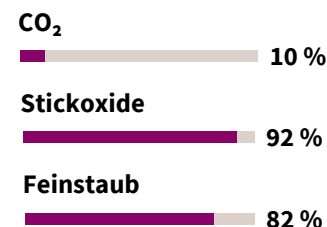


Kraftstoffkosten (netto)	29 €/100 km
Potenzialausschöpfung	
Verfüg. Tankinfrastruktur	
Tankdauer	10–15 min
Reichweite	1000–1600 km
Wirkungsgrad (WtW)	15–25 %
Fahrzeuganzahl (LNG)	~7.000*

Bio LNG und Bio CNG ermöglichen sofortige **CO₂-Reduktionen** und haben sogar das Potenzial für Negativemissionen, wenn ausschließlich Gülle als Rohstoff für die Biomethanproduktion verwendet wird. Auch die Stickoxid-Emissionen sind um ein Vielfaches niedriger als bei Diesel. Die **Reichweite** von LNG-Fahrzeugen ist wettbewerbsfähig mit der von Dieselfahrzeugen und die Nutzung bivalenter Motoren, welche unterstützend mit HVO100 betrieben werden, ermöglicht zusätzliche Effizienzgewinne. Die **Tankinfrastruktur** ist entlang der Hauptverkehrsrouten für Lkw weitestgehend vorhanden und der Marktanteil von Biomethan unter den erneuerbaren Energieträgern im Verkehr vergleichsweise hoch. Die verfügbare Menge an Biomethan aus Abfall- und Reststoffen ist zwar langfristig begrenzt und steht ggf. in Konkurrenz zu anderen Anwendungsbereichen, jedoch wird das **Potenzial** aktuell nicht ausgeschöpft und es kann eine steigende Nachfrage gedeckt werden. Bio CNG/LNG kann somit einen nennenswerten Beitrag zur klimafreundlichen Antriebswende liefern.

HVO100

HVO100 ist ein paraffinischer **Dieselmotorkraftstoff** aus 100 % hydrierten abfallbasierten Pflanzenölen oder tierischen Fetten. Er wurde als Reinform von HVO (Hydrotreated Vegetable Oils) im April 2024 zugelassen.



Kraftstoffkosten (netto)	47 €/100 km
Potenzialausschöpfung	
Verfüg. Tankinfrastruktur	
Tankdauer	10 min
Reichweite	600–1000 km
Wirkungsgrad (WtW)	10–20 %
Fahrzeuganzahl (Diesel)	~345.000

HVO100 erlaubt es, die **CO₂-Emissionen** der Bestandsflotte an Dieselfahrzeugen umgehend zu reduzieren. Die Nachhaltigkeit hängt jedoch stark von der Herkunft der Reststoffe ab, deren Zertifizierung durch Importabhängigkeiten erschwert ist. **Stickoxide und Feinstaub** werden nur in geringen Maßen reduziert. Der **Marktanteil** von HVO als Beimischung (z. B. R33 Diesel) ist vergleichsweise hoch und auch HVO100 als Reinform aufgrund der Nutzung bestehender Infrastruktur vielerorts bereits verfügbar. In Deutschland könnte es zukünftig zu einer Verlagerung der Nachfrage von Pkw hin zu Lkw kommen und zur Nutzung in Reinform statt als Beimischung. Das **Wachstumspotenzial** ist jedoch eingeschränkt, da die abfallbasierten Rohstoffe bereits z.B. für Biodiesel/FAME oder andere Anwendungen verwendet werden und zusätzlich noch Wasserstoff benötigt wird. HVO100 wird langfristig nur einen geringen Anteil des Kraftstoffbedarfs im Schwerlastverkehr bedienen können.

Strombasierter synthetischer Diesel (E-Diesel)

E-Diesel, welcher unter Verwendung von grünem Strom aus atmosphärischem oder biogenem CO₂ und grünem Wasserstoff mit dem Fischer-Tropsch-Prinzip hergestellt wird, ist eine zukünftige Option für die Betankung der Bestandsflotte. Aktuell ist diese Art des E-Fuels jedoch kaum am Markt verfügbar und wird aufgrund der limitierten Datengrundlage in dieser Analyse nur eingeschränkt berücksichtigt.

Regulatorische Instrumente

Um den Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen und grünem Strom zu incentivieren, werden auf europäischer und nationaler Ebene verschiedene regulatorische Instrumente genutzt. Jedoch wirken sich die Instrumente nicht auf alle nachhaltigen Alternativen positiv aus. Der jeweilige Einfluss von drei Instrumenten – **Lkw-Maut, Energiesteuer, CO₂-Preis** – auf verschiedene Antriebsenergien wird hier in Form der **Kosten pro 100 km** dargelegt. Nicht inkludiert sind Kosten für die Anschaffung oder Wartung der Fahrzeuge und Infrastruktur.

Instrument

Einfluss auf die Kraftstoffe

Lkw-Maut

Seit dem 01.12.2023 gilt bei der Lkw-Maut eine neue **Mautkomponente** bzw. ein **Mautteilsatz** wonach ein CO₂-Aufschlag in Höhe von 200 Euro pro Tonne CO₂ erhoben wird. Ab 2024 fallen demnach für Diesel-fahrzeuge rund 35,2 €/100 km Mautkosten an, für Gasfahrzeuge rund 33,2 €/100 km.



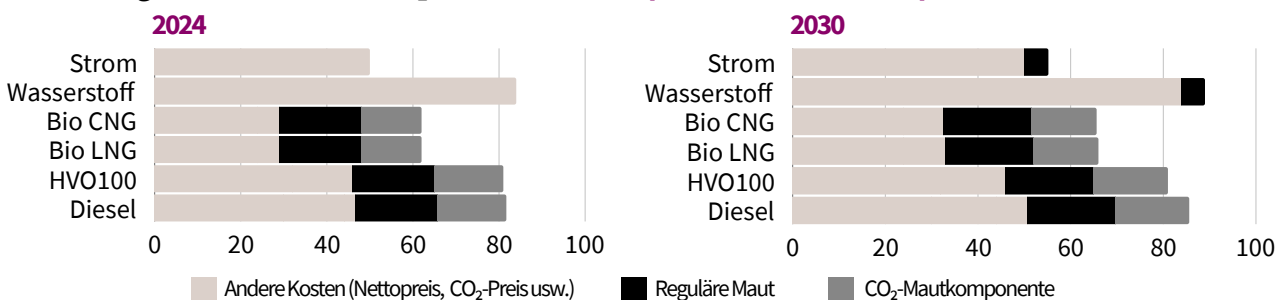
Wasserstoff- und batteriebetriebene

Schwerlastfahrzeuge sind in Emissionsklasse 5 eingeordnet und bis 2025 von der regulären Maut inkl. Mautkomponente befreit. Ab 2026 wird lediglich ein reduzierter, regulärer Mautsatz fällig.



Erneuerbare Kraftstoffe wie **Bio CNG, Bio LNG oder HVO100** werden trotz ihres vergleichbar hohen CO₂-Einsparungspotenzials in der Lkw-Maut **nicht von ihren fossilen Äquivalenten unterschieden**.

Anteil der regulären Maut* und der CO₂-basierten Mautkomponente* an den Kosten pro 100 km



Energiesteuer

Diesel, Erdgas und andere gasförmige Kohlenwasserstoffe unterliegen bei der Verwendung als Kraftstoff der **Energiesteuer**. Der Regelsteuersatz für Gas beträgt aktuell **31,80 Euro** je MWh. Für Diesel sind es 47 Cent pro Liter. Für Erdgase und andere gasförmige Kohlenwasserstoffe (CNG/LNG) gilt ein bis Ende 2026 befristet **vergünstigter Steuersatz** von 18,38 € (2024), 22,85 € (2025) und 27,33 € (2026) pro MWh.



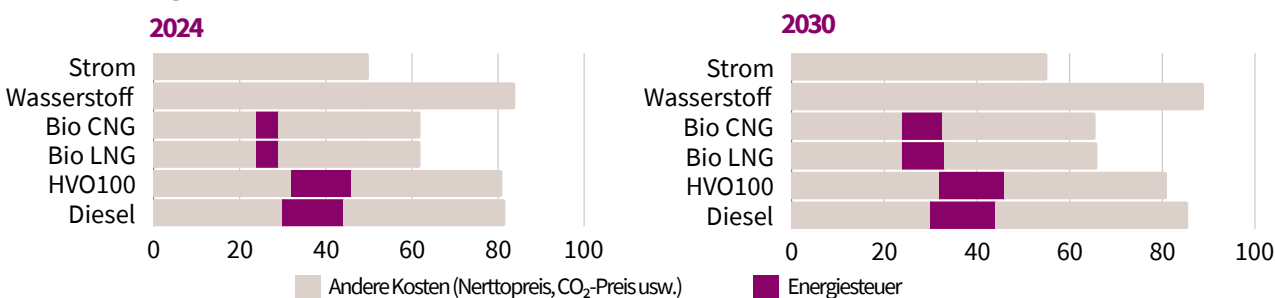
Wasserstoff und Strom sind von der Energiesteuer befreit.

Der Reformvorschlag der EU-Kommission sieht vor, dass für **nachhaltige und klimafreundliche Kraft- und Brennstoffe** dauerhaft niedrigere Mindeststeuersätze gelten sollen als für ihre fossilen Pendanten. Aktuell wird das CO₂-Minderungspotenzial biogener Energieträger jedoch nicht berücksichtigt.



Als Dieselkraftstoff wird **HVO100** regulär mit 47 Cent pro Liter besteuert, obwohl dieser nicht aus fossilen Quellen stammt.

Anteil der Energiesteuer an den Kosten pro 100 km



CO₂-Preis

Der CO₂-Preis auf den fossilen Anteil der Kraft- und Brennstoffe liegt im BEHG aktuell bei **45 €** je emittierter Tonne CO₂. 2025 steigt er auf 55 €/t und 2026 auf 55 bis 65 €/t (Preiskorridor). Ab 2027 soll der Preis marktbasiert über das Europäische Emissionshandelssystem (ETS II) entstehen, wodurch ein starker Preisanstieg auf rund 200 €/t nicht auszuschließen ist.



Der CO₂-Preis wird auf **Strom und Wasserstoff** nicht erhoben.

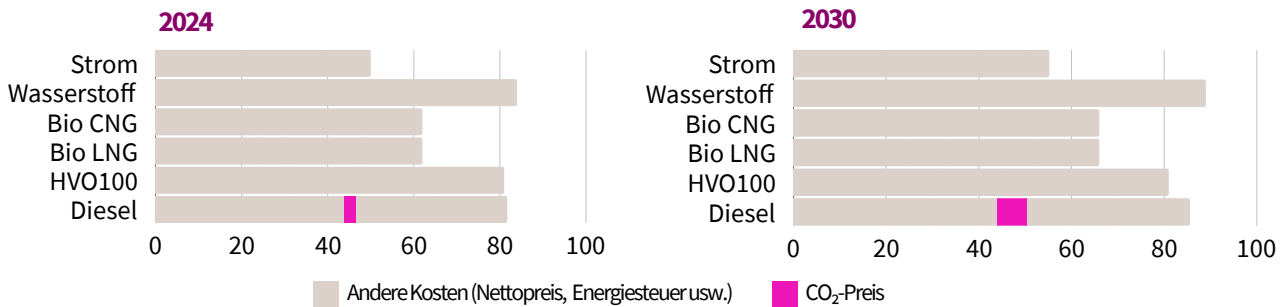


Auf **Bio CNG/LNG** wird ebenfalls kein CO₂-Preis erhoben.



Auch auf **HVO100** wird kein CO₂-Preis erhoben, was den Preis im Vergleich zum fossilen Pendant vergünstigt.

Anteil des CO₂-Preises* an den Kosten pro 100 km



Treibhausgas-Quote

Die Treibhausgas-Quote verpflichtet Kraftstoffanbieter, die THG-Emissionen der von ihnen in Deutschland **verkauften Treibstoffe zu reduzieren**. Der gesetzlich vorgeschriebene Minderungswert liegt aktuell bei **9,35 %** und steigt bis 2030 auf **25,1 %** an. Diese Quote können Anbieter durch die Anrechnung von Biokraftstoffen, Elektromobilität und strombasierten Kraftstoffen oder den Quotenhandel erfüllen.



Grüner Strom und grüner Wasserstoff werden mit dem **Multiplikator 3** auf die THG-Minderung angerechnet.



Mindestens 5,5 % der Energie im Verkehr soll 2030 aus fortschrittlichen Biokraftstoffen und speziellen erneuerbaren Kraftstoffen stammen. **Bio LNG/CNG und HVO100** sind mit einem **Multiplikator von 2** anrechenbar.

Aufgrund der fehlenden Datengrundlage zur Auswirkung der THG-Quote auf die Tankstellenpreise für Diesel, Wasserstoff und Ladestrom ist die THG-Quote nicht in die Berechnung des Referenzszenarios eingeflossen.

CO₂-Flottengrenzwerte

Die CO₂-Flottengrenzwerte legen fest, wie viel CO₂ **die Flotte eines Herstellers** durchschnittlich ausstoßen darf. Sie beeinflussen dadurch die notwendige Quote an sogenannten **Nullmissionsfahrzeugen**. Aktuell werden für Lkw über 7,5 Tonnen folgende Richtwerte aus der EU erwartet: Reduktion der CO₂-Emissionen um **45 %** bis 2025 und **65 %** bis 2035.



Wasserstoff- und batteriebetriebene Fahrzeuge gelten als Nullemissionsfahrzeuge und bilden somit zentrale Erfüllungsoptionen der CO₂-Flottengrenzwerte für Hersteller.



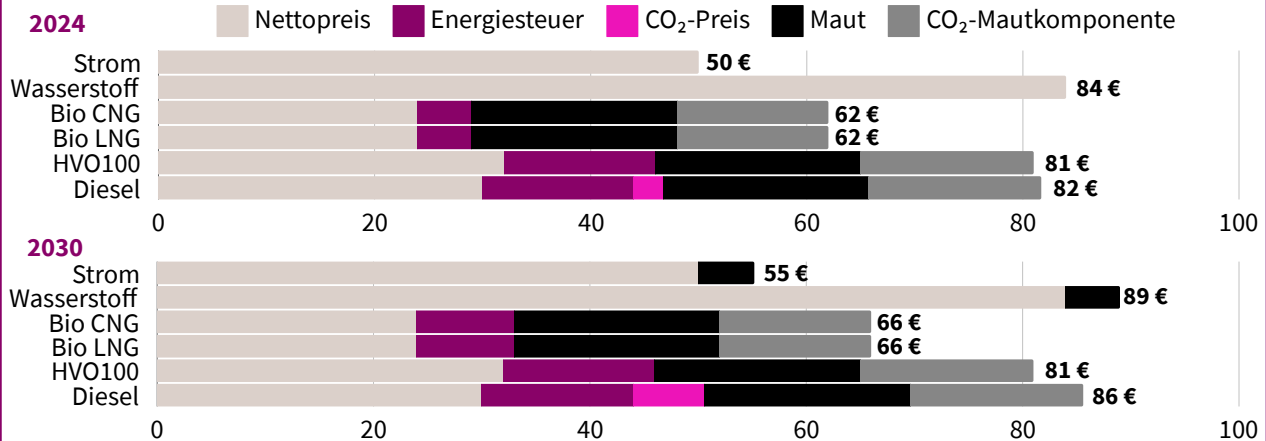
Fahrzeuge, die nachweislich zu 100 % mit **alternativen und synthetischen Kraftstoffen** fahren, werden zunächst als Null-Emissionsfahrzeuge betrachtet – erst 2027 prüft die EU hier eine Anpassung der Regulierung.

Der Einfluss der CO₂-Flottengrenzwerte auf die Kosten lässt sich nicht klar beziffern, da sich die Regulierung ausschließlich an Hersteller richtet. Eine Erhöhung des Angebots an Nullemissionsfahrzeugen ist jedoch langfristig zu erwarten.

Fazit

Den aktuell größten Einfluss auf die Kosten von nachhaltigen Energieträgern haben die Lkw-Maut (inkl. der CO₂-basierten Mautkomponente) und die Energiesteuer. Der steigende CO₂-Preis reduziert die Wirtschaftlichkeit vom Diesel und macht damit die Alternativen attraktiver.

Anteil regulatorischer Instrumente an den Kosten pro 100 km



Grüner Strom und **grüner Wasserstoff** profitieren aktuell von **Steuerbefreiungen** bei der **Lkw-Maut**, der **Energiesteuer** und den **CO₂-Flottengrenzwerten**. Strom ist dabei bereits heute wettbewerbsfähig, hingegen ist der Preis für grünen Wasserstoff noch vergleichsweise hoch.



Um die Nachfrage nach **grünem Wasserstoff** im Schwerlastverkehr zu steigern und mittelfristig eine Preisreduktion zu gewährleisten, wäre eine Verlängerung der **Mautbefreiung** für das Betanken von nicht-fossilem Wasserstoff über 2026 hinaus eine Option.



HVO100 erhält, anders als gasförmige Kraftstoffe, keine Reduktion der **Energiesteuer**, sondern wird fossilem Diesel gleichgestellt. Eine Reduktion der Energiesteuer auf das Niveau von Gas würde HVO100 preislich deutlich attraktiver machen als fossilen Diesel.



Bio CNG/LNG profitieren noch bis 2027 von der reduzierten **Energiesteuer** auf Gas, die jedoch sukzessive abgebaut wird. 2030 würde die Energiesteuer damit rund 10 % der Kosten pro 100 km ausmachen. Eine niedrigere Besteuerung von Biokraftstoffen würde die signifikanten CO₂-Reduktionen bzw. die möglichen Negativemissionen berücksichtigen.



Das CO₂-Minderungspotenzial von **erneuerbaren Kraftstoffen** wird weder bei der **Lkw-Maut** noch bei den **CO₂-Flottengrenzwerten** berücksichtigt. Allein die Maut erhöht die Kosten von **Bio CNG/LNG** um rund 100 %, obwohl sie im Vergleich zum Diesel rund 100 % an CO₂-Emissionen einsparen können.

* Annahmen (Stand Juni 2024)

Potenzialausschöpfung: Hierbei geht es um die aktuelle und zukünftige Verfügbarkeit der Rohstoffe (Feedstock).

Kosten pro 100 km: Kosten für Infrastrukturausgaben, Kfz-Steuer, Wartung etc. sind nicht inbegriffen.

Verbrauch pro 100 km: Strom 120 kWh; Wasserstoff 7 kg; Bio CNG 25 kg (monovalent); Bio LNG 24 kg (monovalent und bivalent); HVO100 30 l (+2,2 l AdBlue); Diesel 30 l (+2,2 l AdBlue).

Preise (ohne MwSt): Strom 0,42 €/kWh (0,66 € öffentl./0,33 € Depot); Wasserstoff 12 €/kg; Bio CNG 1,15 €/kg; Bio LNG 1,22 €/kg; HVO100 1,47 €/l; Diesel 1,39 €/l; AdBlue 1,15 €/l – aufgrund unsicherer Prognosen wird zwischen 2024 und 2030 von gleichbleibenden Kraftstoff- bzw. Stromkosten ausgegangen.

CO₂-Preis 2030 (ETS II): Es wird von einem konservativen Preis von 83 €/t ausgegangen.

Fahrzeuganzahl LNG: Hier handelt es sich eine Schätzung aus der Branche. Das KBA weist erst seit 2019 LNG-Fahrzeuge separat aus, weswegen hier keine zuverlässigen Bestandszahlen vorliegen.

Lade- und Tankinfrastruktur: Die Anzahl der Lkw-fähigen Tankstellen und Ladestationen ist bei vielen Antriebsoptionen unklar und im ständigen Wandel.

Lkw-Maut: Dargestellt wird ein Durchschnittswert, der je nach Antrieb, Gewicht etc. stark variieren kann.

KONTAKT
Mel Goering,
Experte Mobilität

E-Mail:
plattformnachhaltiger
schwerlastverkehr@dena.de

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
www.dena.de | info@dena.de

Stand 08/2024

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.