Wasserstoffverbrennungsmotoren

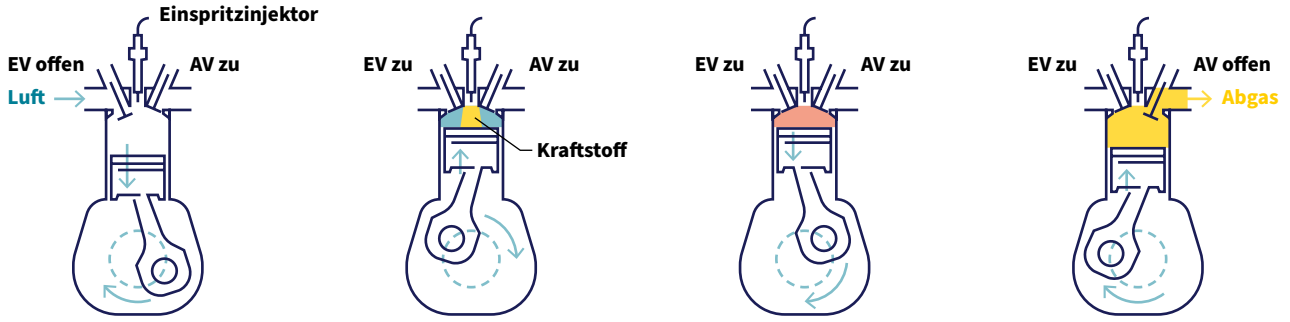
Einsatz bei Nutzfahrzeugen

Für Nutzfahrzeuge stehen aktuell mehrere alternative Antriebstechnologien zur Verfügung, die spezifische Eigenschaften ausweisen – etwa in Bezug auf Nutzlast, Reichweite, Anschaffungs- und Betriebskosten sowie Tank- und Ladedauer. Um sich einen Überblick über die verschiedenen Alternativen zum Dieselmotor zu verschaffen, bieten die NOW-Factsheets einen schnellen Einstieg in technische Funktionen, Einsatzmöglichkeiten und spezifische Vor- und Nachteile.

Was ist ein Wasserstoffverbrennungsmotor?

Der Wasserstoffverbrennungsmotor baut auf konventionellen Motorvarianten auf. Genau wie der Otto- und Dieselmotor arbeitet er nach dem Viertaktprinzip. Statt des fossilen Kraftstoffs wird Wasserstoff verbrannt. Im Nutzfahrzeugsegment werden bestehende Dieselmotoren umgerüstet, indem sie spezielle Zündkerzen, Einspritzventile und weitere Modifikationen erhalten. Anders als bei der Nutzung in einer Brennstoffzelle verbrennt Wasserstoff im Motor nicht vollständig emissionsfrei, es entstehen unter anderem Stickoxide (NO_x). Eine Abgasnachbehandlung bereitet die Abgase jedoch so auf, dass Antriebe mit Wasserstoffverbrennungsmotor als emissionsfrei eingestuft werden können.

Funktionsprinzip eines Verbrennungsmotors



EV – Einlassventil **AV** – Auslassventil

Was sind emissionsfreie Fahrzeuge?

Emissionsfreie schwere Nutzfahrzeuge sind in der EU-Verordnung 2019/1242 zu den CO_2-Emissionsnormen definiert. Nach der kürzlich erfolgten Änderung durch die EU-Verordnung 2024/1610 lautet die Definition wie folgt:

+ Schwere Kraftfahrzeuge mit oder ohne Verbrennungsmotor mit Emissionen von nicht mehr als 3 g CO_2/tkm oder 1 g CO_2/pkm gemäß der EU-Zertifizierungs-Verordnung 2017/2400 (ermittelt mit Hilfe des Vehicle Energy Consumption Calculation Tool – VECTO),
+ bzw. 1 g CO_2/kWh bzw. 1 g CO_2/km nach Typgenehmigungsvorschriften, wenn kein Wert gemäß der EU-Zertifizierungs-Verordnung 2017/2400 ermittelt wurde.

Nicht als emissionsfrei gelten Fahrzeuge, die mit (fortschrittlichen) Biokraftstoffen oder E-Fuels betrieben werden. Entscheidend sind die Emissionen, die während des Betriebs ausgestoßen werden.

Neben batterie- und brennstoffzellenbetriebenen schweren Nutzfahrzeugen, die lokal keine Emissionen haben, können die oben genannten Werte von bestimmten schweren Nutzfahrzeugen mit Wasserstoffverbrennungsmotor erreicht werden. Diese gelten somit auch als emissionsfrei.

Stand: April 2026

Wie kommt der Wasserstoff in den Motor und wie erfolgt die Zündung?

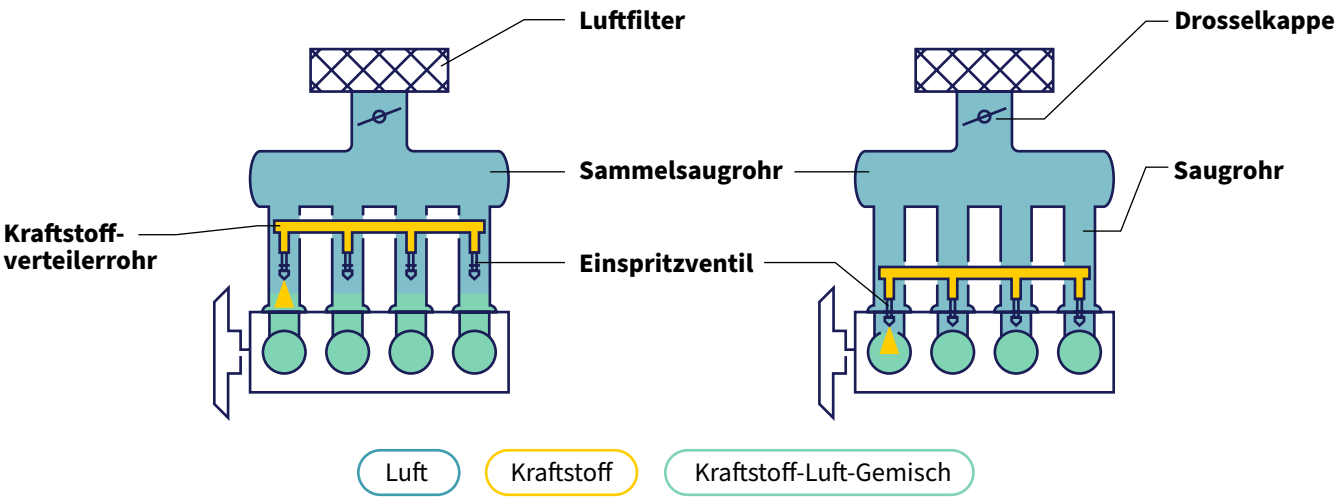
Bei der Einspritzung des Wasserstoffs kommen aktuell zwei Varianten in Frage:

+ Saugrohreinspritzung
+ Direkteinspritzung

Bei der **Saugrohreinspritzung** wird der Wasserstoff vor die Einlassventile geblasen und mit der einströmenden Luft in den Zylinder gesaugt. Durch die Form des Kolbens erfolgt eine Verwirbelung des Kraftstoff-Luft-Gemischs, wodurch dieses zündfähig wird. Der Unterschied zur **Direkteinspritzung** liegt darin, dass der Wasserstoff direkt in den Zylinder, kurz vor der eigentlichen Zündung, eingeblasen wird.

Wasserstoff hat eine höhere Zündtemperatur als Diesel (nicht zu verwechseln mit dem Flammpunkt, der deutlich niedriger als bei Benzin und Diesel liegt). Deswegen kommt eine Selbstzündung im Brennraum durch die ausschließliche Verdichtung der Luft nicht in Frage. Man kann entweder mittels Zündkerze (Fremdzündung) den Wasserstoff direkt entzünden oder eine minimale Menge eines anderen Kraftstoffs (beispielsweise Diesel) als Piloteinspritzung verwenden. Aufgrund der Verdichtung und der somit vorherrschenden Temperatur im Brennraum entzündet sich der Kraftstoff selbst. Diese Initialzündung entzündet dann den Wasserstoff, was den Betrieb ermöglicht.

Zusätzlich benötigt Wasserstoff bei der Verbrennung rund dreimal so viel Luft wie ein Benziner. Aus diesem Grund sind die Wasserstoffverbrennungsmotoren, analog zu Dieselmotoren, mit einem Turbolader versehen, der die angesaugte Luft verdichtet und somit mehr Luft zuführt. Die hohe Geschwindigkeit der Wasserstoffverbrennung stellt eine weitere Herausforderung dar, da diese nur schwer zu kontrollieren ist.



Exkurs: Zündtemperatur/Flammpunkt

Als Zündtemperatur wird die kleinste Temperatur bezeichnet, bei der sich eine Flüssigkeit bzw. ein Gas ohne eine externe Zündquelle von selbst entzündet (Selbstzündung). Der Flammpunkt kann hierbei deutlich geringer sein, benötigt jedoch immer eine externe Zündquelle, etwa eine Zündkerze. Sowohl Selbst- als auch Fremdzündung setzen voraus, dass genügend Sauerstoff zur Verfügung steht.

Vergleich Zündtemperatur Benzin, Diesel und Wasserstoff

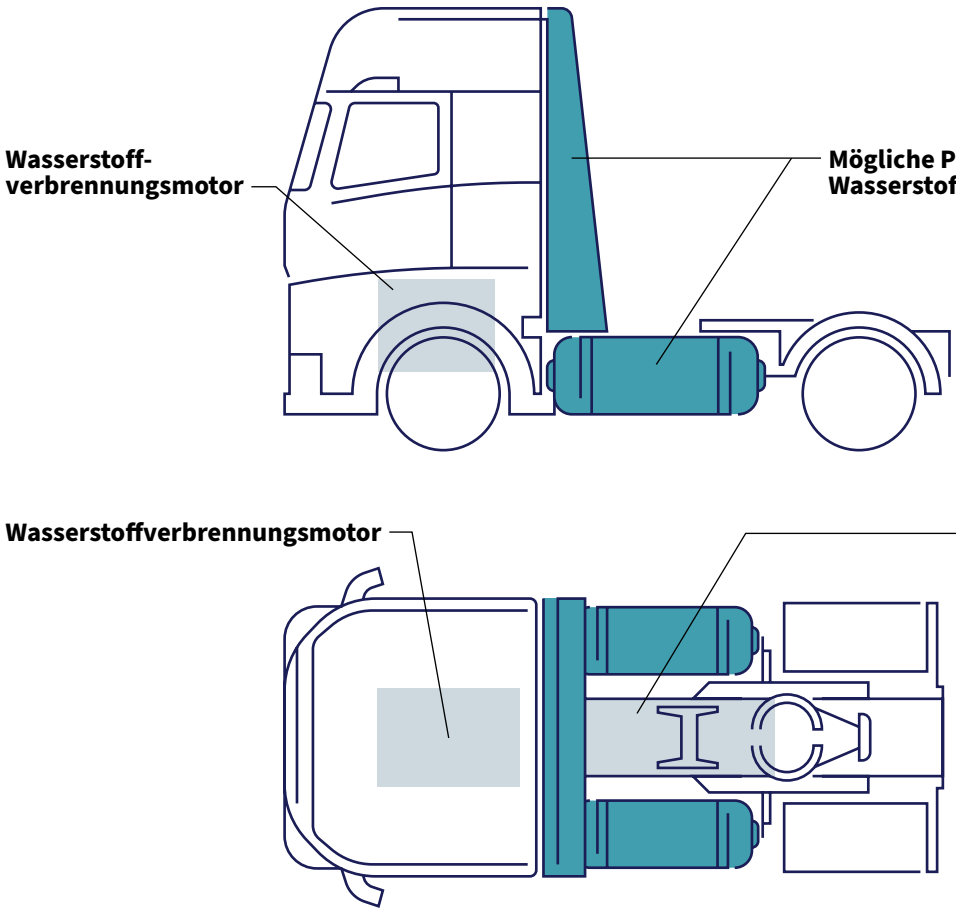
Eigenschaft	Benzin	Diesel	Wasserstoff
Zündtemperatur	200 – 400 °C	220 – 300 °C	ca. 585 °C
Flammpunkt	-25 °C	55 °C	-240 °C

Stand: April 2026

Energieversorgung und Speichersysteme im Fahrzeug

Genau wie Fahrzeuge, die mit einer Brennstoffzelle ausgestattet sind, nutzen auch Fahrzeuge mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor ein Druckspeichersystem mit entweder 350 bar oder 700 bar. Die Zahl der Behälter und die mitgeführte Menge Wasserstoff können sich je nach Konfiguration und Hersteller unterscheiden. Flüssigen Wasserstoff zu vertanken, ist grundsätzlich möglich, dieser muss aber vor der Einspritzung in einen gasförmigen Zustand überführt werden.

Aufbau eines Lkw mit Wasserstoffspeichersystem



Exkurs: Steuervorteil Brennstoffzelle
Wasserstoff unterliegt als Kraftstoff der Energiesteuer, wenn er zur unmittelbaren Erzeugung von mechanischer Energie in einem Verbrennungsmotor eingesetzt wird. Die Erzeugung von Strom unter Verwendung von Wasserstoff in einer Brennstoffzelle ist hingegen steuerfrei. Hintergrund ist die EU-Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (Energiesteuerrichtlinie).

Stand: April 2026

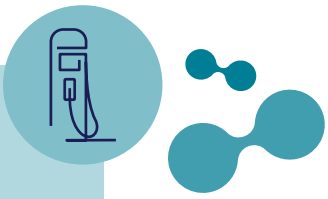
Welche Vor- und Nachteile haben Fahrzeuge mit Wasserstoffverbrennungsmotor?

Vorteile

+ Aktuell noch höhere Reichweite im Vergleich zu batterieelektrischen Lkw – der Reichweitenvorteil dürfte mit der Weiterentwicklung der Batterie- und Ladetechnologie allerdings mittelfristig entfallen
+ Mit rund 20 Minuten deutlich kürzere Vollbetankungsdauer im Vergleich zum batterieelektrischen Lkw
+ Unempfindlicher gegenüber Verschmutzungen in der angesaugten Luft als Brennstoffzellen, daher geeignet für den Off-Road-Einsatz – etwa auf Baustellen oder in der Landwirtschaft
+ Günstigere Herstellungskosten im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen oder Brennstoffzellen-Lkw
+ Nur geringfügig teurer als ein aktuelles Dieselfahrzeug
+ Wird der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien hergestellt, ist der Betrieb von Fahrzeugen mit einem Wasserstoffverbrenner und entsprechender Abgasnachbehandlung in der Well-to-Wheel-Betrachtung und nach der EU-Verordnung 2024/1610 (siehe oben) emissionsfrei

Nachteile

+ Geringere Gesamtsystemenergieeffizienz als andere alternative Antriebe und dadurch höherer Wasserstoffverbrauch – der Wirkungsgrad liegt bei 35-40 % (elektrisch: 64-69 %, Brennstoffzelle: ca. 50 %)
+ Notwendigkeit einer Abgasnachbehandlung zur Reduktion von Stickoxiden (NOx) und anderen Rückständen
+ Höhere Lärmemissionen im Vergleich zu batterieelektrischen und Brennstoffzellen-Lkw
+ Höhere Betriebskosten im Vergleich zum Brennstoffzellen-Lkw durch höheren Wasserstoffverbrauch und höhere Besteuerung
+ Aktuell deutlich höhere Treibstoffkosten im Vergleich zum batterieelektrischen Lkw (Wasserstoff vs. Strom)



Exkurs: Reinheit des Wasserstoffes

Die Reinheit von Wasserstoff wird über die DIN EN 17124 geregelt. Hierin werden die verschiedenen Inhaltsstoffe, die sich im Wasserstoff befinden dürfen, definiert. Dies ist vor allem beim Betrieb der Brennstoffzelle von entscheidender Bedeutung, da Wasserstoff hierfür keinen Schwefel enthalten darf. Laut der Verordnung über den Aufbau von Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) darf in den EU-Mitgliedstaaten an öffentlich zugänglichen Tankstellen ausschließlich Wasserstoff nach der DIN EN 17124 ausgegeben werden.

Die Reinheit kann auch in Zahlen wie 3.5 oder 7.0 angegeben werden. Die erste Zahl definiert die Anzahl der Ziffern „9“. Die zweite Zahl definiert die letzte Nachkommastelle.

Das heißt **3.5 = 99,95 % und 7.0 = 99,999990 %**.

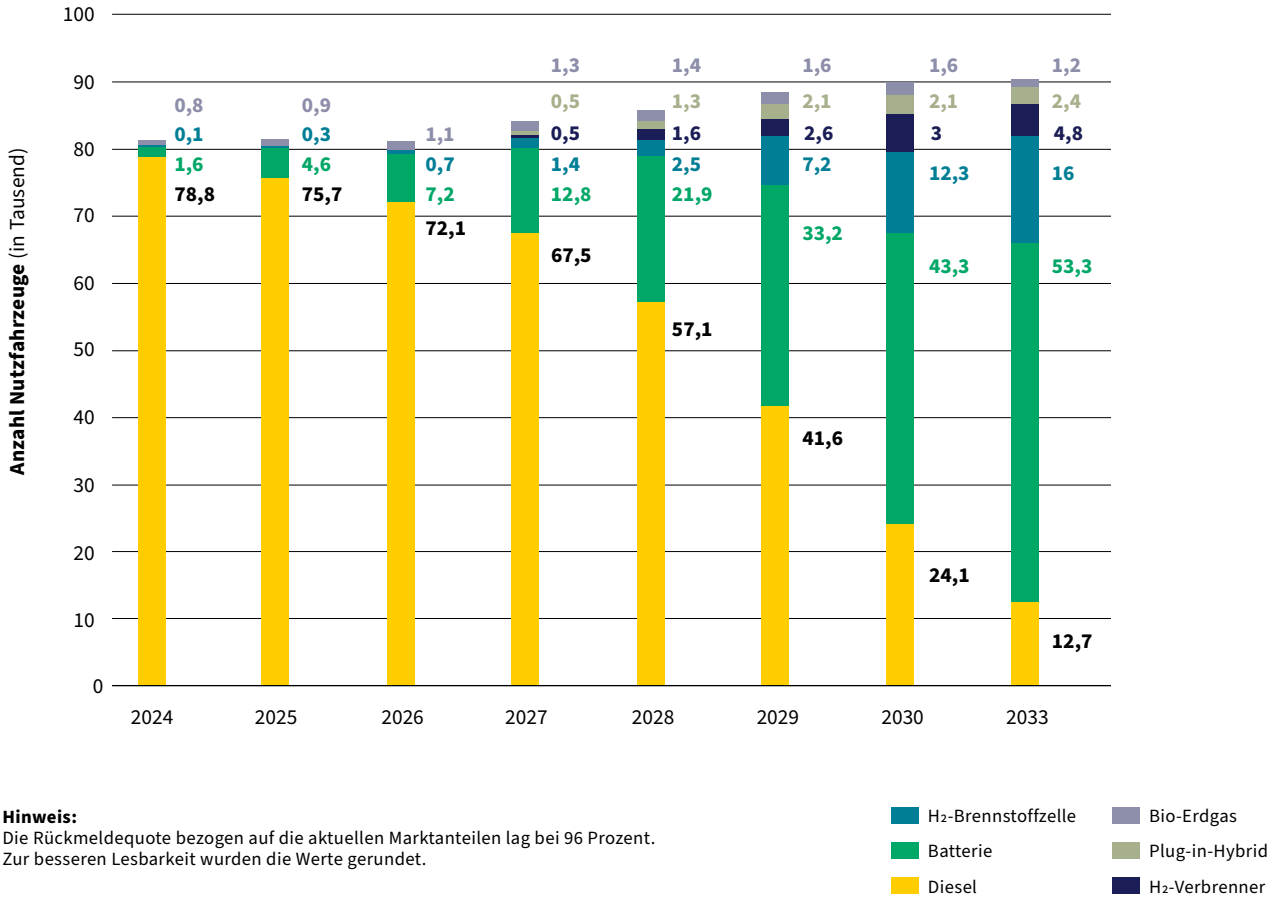
Stand: April 2026

Wie verbreitet sind Wasserstoffverbrenner am Markt?

Die größten Erfahrungen mit Wasserstoffverbrennungsmotoren gibt es bisher in der stationären Anwendung sowie im Schienenbereich. Für schwere Nutzfahrzeuge befinden sich diese Motoren noch größtenteils in der Versuchs- und Erprobungsphase. Einzelne umgerüstete Nutzfahrzeuge mit Wasserstoffverbrennungsmotor haben sich im regulären Einsatz als alltagstauglich erwiesen. Einige Fahrzeughersteller kündigten bereits an, entsprechende Kleinserien auf den Markt bringen zu wollen.

Die aktuellen Prognosen zur Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr 2024 zeigen, dass der Wasserstoffverbrennungsmotor aus Sicht der Fahrzeughersteller eine wichtigere Rolle spielen soll als noch in deren Planung 2022. Laut Herstellerangaben sollen im Jahr 2030 rund 3.000 aller neu zugelassenen schweren Nutzfahrzeuge (N3/ > 12 t zulässiges Gesamtgewicht) mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor ausgestattet sein. Europaweit könnten es sogar bis zu 12.300 Fahrzeuge sein.

Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/>12 t)
In Deutschland laut Herstellerangaben



Hinweis:
Die Rückmeldequote bezogen auf die aktuellen Marktanteilen lag bei 96 Prozent.
Zur besseren Lesbarkeit wurden die Werte gerundet.

Weitere detaillierte Informationen zu den Anwendungspotenzialen von Wasserstoffverbrennungsmotoren finden sich in einer Metastudie der NOW GmbH.

Alle Angaben und Daten sind sorgfältig recherchiert, eine Garantie oder rechtliche Verantwortung für die Korrektheit und Vollständigkeit dieser Informationen kann jedoch nicht übernommen werden.

Dieses Factsheet ist unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 lizenziert.

Stand: April 2026

Impressum **NOW GmbH**
Fasanenstr. 5
10623 Berlin

Kontakt Team Klimafreundlicher Straßenverkehr
nutzfahrzeuge@now-gmbh.de