

Wasserstoffbrennstoffzellenantriebe

Einsatz bei Nutzfahrzeugen

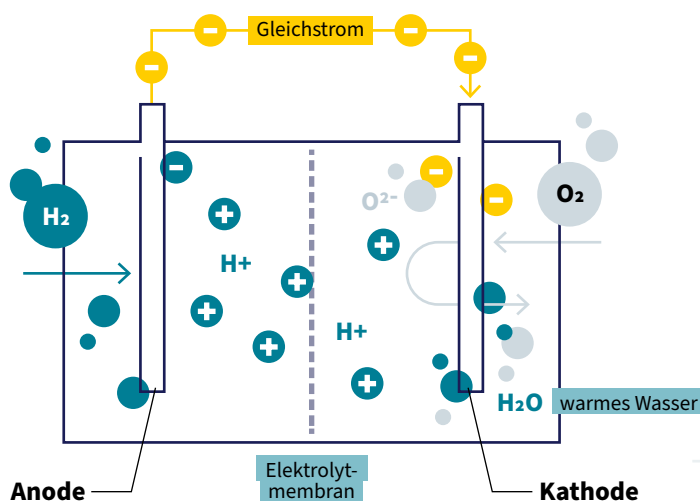
Für Nutzfahrzeuge stehen aktuell mehrere alternative Antriebstechnologien zur Verfügung, die spezifische Eigenschaften ausweisen – etwa in Bezug auf Nutzlast, Reichweite, Anschaffungs- und Betriebskosten sowie Tank- und Ladedauer. Um sich einen Überblick über die verschiedenen Alternativen zum Dieselmotor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

Wie funktioniert eine Wasserstoffbrennstoffzelle in Straßenfahrzeugen?

Die aktuell gängigste technische Variante ist die PEM-Brennstoffzelle (Protonen-Austausch-Membran, englisch: Proton Exchange Membrane). Diese funktioniert prinzipiell wie ein Energiewandler. In der Brennstoffzelle werden Wasserstoff und Sauerstoff aus der Umgebungsluft durch eine elektrochemische Reaktion in (Gleich-)Strom, Wärme und Wasserdampf umgewandelt. Der erzeugte Strom kann zum Laden einer Hochvoltbatterie oder – nach Umwandlung in Wechselstrom – direkt für den Fahrzeugantrieb verwendet werden.

Der Begriff „Brennstoffzelle“ bezeichnet eigentlich nur eine einzelne Zelle. Eine einzelne Brennstoffzelle kann jedoch nicht genügend Leistung erzeugen, um ein Fahrzeug anzutreiben. Aus diesem Grund werden die Brennstoffzellen in einer Kombination aus Reihen- und Parallelschaltungen zu einem Stapel (englisch: stack) kombiniert, um ausreichend Leistung zu erzeugen. Im Nutzfahrzeugbereich sind Werte von 100 (Bus) bis 300 kW üblich. Mit einem Brennstoffzellenantrieb sind hier also meist „Brennstoffzellenstacks“ gemeint.

Wie funktioniert die elektrochemische Umwandlung in Strom?



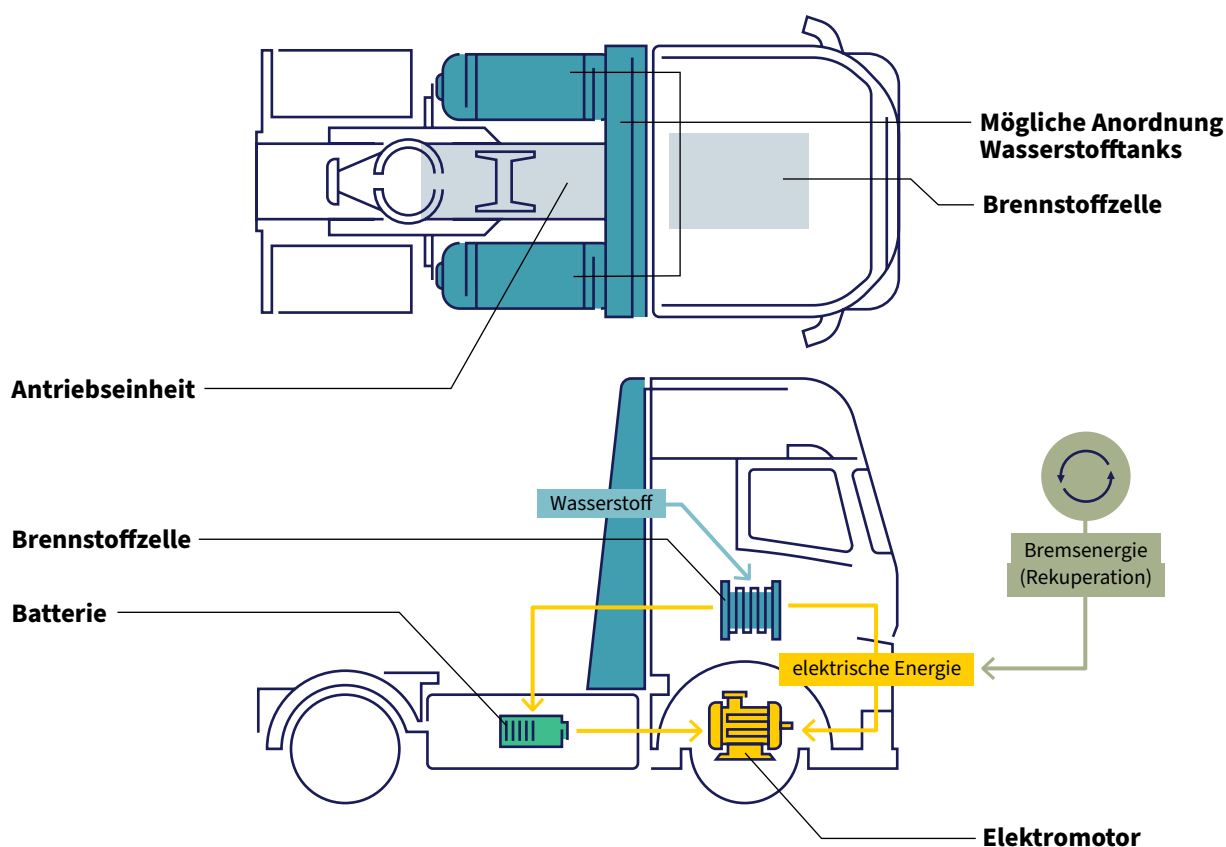
An der Anode wird der Wasserstoff in seine Bestandteile (Elektronen und Protonen) aufgespalten. Die Elektronen ermöglichen die Versorgung von Verbrauchseinheiten, wie etwa der Hochvoltbatterie, während die Protonen gleichzeitig durch die Brennstoffzelle zur Kathode fließen und dort mit dem Sauerstoff aus der Luft zu Wasser reagieren. Beide Reaktionen werden durch den Einsatz eines Katalysators, wie etwa Platin, ermöglicht.

Wie wird die Brennstoffzelle im Fahrzeug integriert?

Das Brennstoffzellensystem besteht aus den Komponenten Tank, Elektromotor, Hochvoltbatterie sowie dem Brennstoffzellenstack. Die genauen Konfigurationen bzw. Anordnungen der einzelnen Komponenten unterscheiden sich je nach Hersteller. In den derzeit meisten Fällen sind die Wasserstofftanks, sogenannte Typ-III- oder Typ-IV-Behälter (Hochdrucktanks mit Faserverbundwerkstoffen), direkt hinter dem Fahrerhaus angebracht. In ihnen wird der Wasserstoff entweder mit einem Druck von 350 oder 700 bar gespeichert. Die Zahl der Behälter und

die mitgeführte Menge Wasserstoff können sich je nach Konfiguration und Hersteller unterscheiden. Der Brennstoffzellenstack ist in der Regel unter dem Fahrerhaus oder seitlich am Leiterraum angebracht. Zusätzlich müssen im Fahrzeug eine Hochvoltbatterie sowie Leistungselektronik verbaut werden. Analog zu einem batterieelektrischen Fahrzeug wird ein Elektromotor benötigt, um das Fahrzeug antreiben zu können. Dieser kann in unterschiedlichen Bauausführungen verwendet werden, etwa als Zentralmotor oder direkt in der Achse integriert.

Aufbau eines Lkw mit Wasserstoffspeichersystem



Warum benötigt ein Brennstoffzellenfahrzeug eine Hochvoltbatterie?

Prinzipiell benötigt ein Brennstoffzellenfahrzeug keine zusätzliche Hochvoltbatterie für den Fahrbetrieb. Dennoch werden Batterien vor allem aus zwei Gründen verbaut: Zum einen kann die Bremsenergie durch den Elektromotor aufgenommen werden (Rekuperation), was den Gesamtwirkungsgrad des Systems verbessert. Zum anderen unterstützt die Batterie den Brennstoffzellenstack beim Lastmanagement. So muss beispielsweise bei hohen Lastanforderungen (schnelles Beschleunigen,

Bergauffahrt etc.) der Brennstoffzellenstack nicht sofort auf Volllast gebracht werden, sondern der Energiebedarf kann kurzzeitig aus der verbauten Batterie bezogen werden. Dies trägt zu einer deutlichen Lebenszyklusverlängerung im Brennstoffzellensystem bei. Die Hochvoltbatterie wird dafür so klein wie möglich ausgelegt, um Gewicht und Kosten zu sparen. Sie muss jedoch so groß dimensioniert werden, dass alle Lastspitzen sicher abgefangen werden können.

Welche Vor- und Nachteile haben Fahrzeuge mit Wasserstoffbrennstoffzelle?

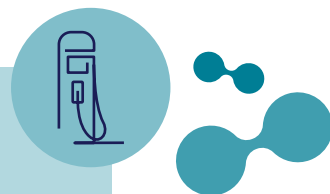
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + Höhere Effizienz im Vergleich zum Wasserstoffverbrenner (ca. 20 Prozentpunkte besserer Wirkungsgrad) + Hohe Skalierbarkeit + Geringer Platzbedarf im Vergleich zum Wasserstoffverbrenner + Nahezu geräuschlos und vibrationsfrei im Vergleich zum Wasserstoffverbrenner oder Diesel, was zu einem hohen Fahrkomfort führt + Mit rund 20 Minuten deutlich kürzere Vollbetankungsdauer im Vergleich zum batterieelektrischen Lkw + Wird der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien hergestellt, ist der Betrieb von Fahrzeugen mit einer Brennstoffzelle in der Well-to-Wheel-Betrachtung vollständig CO₂-neutral. 	<ul style="list-style-type: none"> + Fahrzeuge sind aktuell noch sehr teuer in der Anschaffung (durch Skalierung können diese Kosten noch sinken) + Schutz der Membran erforderlich: <ul style="list-style-type: none"> + Hohe Reinheit des Wasserstoffes erforderlich (an öffentlichen Tankstellen immer vorhanden) + Luft für die Reaktion muss frei von Schmutzpartikeln sein (durch Filter problemlos möglich) + Aktuell um ein Vielfaches höhere laufende Treibstoffkosten im Vergleich zu batterieelektrischen Lkw (Wasserstoff vs. Strom) + Der Reichweitenvorteil dürfte mit der Weiterentwicklung der Batterie- und Ladetechnologie mittelfristig entfallen + Im Vergleich zu batterieelektrischen Antrieben ist der Gesamtwirkungsgrad niedriger (elektrisch: ca. 70 %, Brennstoffzelle: ca. 55 %)

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 %**.



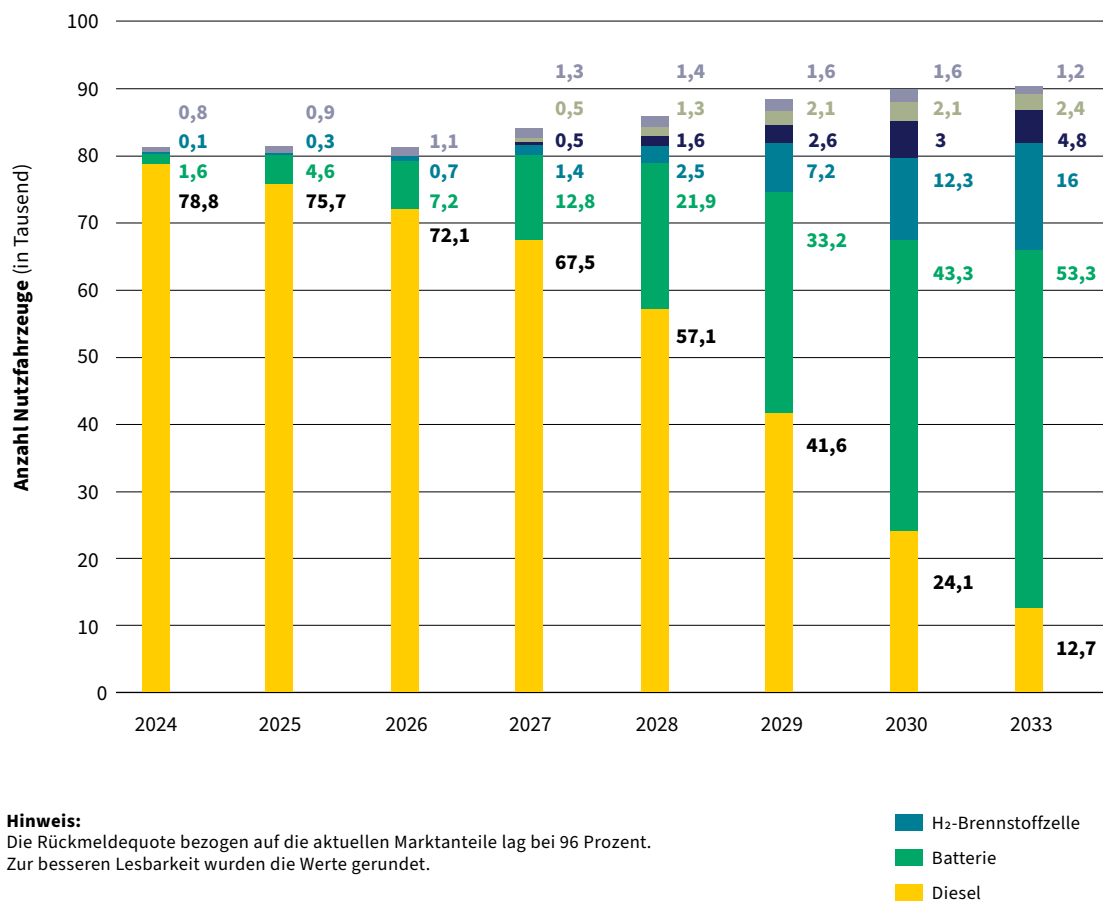
Wie verbreitet sind Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuge?

Im Segment der schweren N3-Fahrzeuge werden bereits einzelne brennstoffzellenbetriebene Lastkraftwagenmodelle (Motorwagen) am Markt angeboten. In Deutschland waren zum Stand 01.01.2025 weniger als 100 schwere Brennstoffzellen-Lkw zugelassen. Diese konnten bereits in vielen (Pilot-)Projekten ihre Alltagstauglichkeit unter Beweis stellen. Nur in geringem Maße angeboten werden N3-Lastkraftwagen als Sattelzugmaschinen. Hier hat bisher nur ein Fahrzeughersteller in einer Kleinserie Fahrzeuge angeboten. Wann das Fahrzeugportfolio anderer Hersteller möglicherweise erweitert wird, ist gegenwärtig

nicht absehbar. Die aktuellen unternehmensstrategischen Prognosen der Hersteller zur Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr 2024 zeigen, dass Fahrzeuge mit einer Brennstoffzelle eine wesentliche Rolle im Antriebsportfolio spielen sollen. Laut Herstellerangaben sollen im Jahr 2030 rund 12.000 (ca. 14 %) aller in Deutschland neu zugelassenen schweren Nutzfahrzeuge (N3/ > 12 t zulässiges Gesamtgewicht) mit einer Brennstoffzelle ausgestattet sein, europaweit könnten es sogar über 27.000 Fahrzeuge sein, was rund 8 % aller Neuzulassungen entspricht.

Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/>12 t)

In Deutschland laut Herstellerangaben



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](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) lizenziert.