

Anwendungsfelder von Wasserstoff

Das Bundesumweltamt gibt für das Jahr 2019¹ die Treibhausgasemissionen für den Verkehrssektor mit 163 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten² an. Die Industrie belastet mit 188 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten und die Energiewirtschaft mit 254 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten das Klima.

Laut einer Studie von PricewaterhouseCoopers wird Wasserstoff perspektivisch zu 30% im Transportwesen, zu 20% im Flugverkehr, zu 15% in der Stahl- und Chemieindustrie und zu 15% in der Energieerzeugung genutzt werden. Die restlichen 20% verteilen sich auf verschiedene Sektoren, unter anderem auf den Gebäudesektor.³ Im Mobilitäts-/Logistiksektor kann grüner Wasserstoff in Brennstoffzellen oder zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe eingesetzt werden. In der Industrie ersetzt grüner Wasserstoff den grauen und in der Energiewirtschaft dient er zum Abfangen von Engpässen und Überschüssen sowie als Baustein für synthetisches Erdgas.

Ausgehend von diesen Werten, ist es sinnvoll, sich bei potenziellen Wasserstoffanwendungen zunächst auf die Sektoren Mobilität/Logistik und Industrie zu fokussieren. Bei der Sektorenkopplung wäre ggf. ein ganzheitlicher Ansatz gut, der den Wärmesektor und die Rückverstromung abdeckt.

Anwendungen in der Mobilität/Logistik

Nach den Großindustrien Chemie und Stahl und der Energiewirtschaft gilt der Verkehrssektor als drittgrößter Klimaschädling. Im Verkehr werden bisher überwiegend fossile Energien als Energieträger eingesetzt, womit ein dringender Bedarf für eine Elektrifizierung besteht. Im Individualverkehr kommen bereits vermehrt Batterien zum Einsatz. Für den Schwerlast-, Bahn- und Luftverkehr kommt diese Option allerdings aufgrund der geringen Energiedichte in Batterien nicht in Frage – die Batterien wären viel zu groß und schwer, um Fahrzeuge dieser Größenordnung über lange Strecken anzutreiben. In diesem Sektor können Wasserstoff und seine Derivate als CO₂-freies Antriebsmittel eingesetzt werden. Insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen stellt das Eigengewicht der Batterien eine erhöhte Reduktion der Nutzlast dar.

Beispielhafte Projekte Anwendung von Wasserstoff in der Mobilität/Logistik finden Sie auf www.wasserstoff-region.de/h2-projekte.

¹ Klimaschutz in Zahlen“, Umweltbundesamt (Mai 2020)

² CO₂- Äquivalente sind eine Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase, da nicht alle Klimagase dieselbe Klimawirkung und Verweildauer in der Atmosphäre haben. CO₂- Äquivalente drücken die Erwärmungswirkung einer bestimmten Menge eines Treibhausgases über einen festgelegten Zeitraum (meist 100 Jahre) im Vergleich zu derjenigen von CO₂ aus.

³ Bericht Handelsblatt „Riesiger Bedarf an Wasserstoff“ vom 22.04.2021

Wo und wie wird Wasserstoff bereits angewendet

Wasserstoff kann in Brennstoffzellenfahrzeugen, in Range Extendern und in Wasserstoffverbrennern⁴ direkt genutzt werden.

Eine Wasserstoff-Brennstoffzelle kehrt im Prinzip die Elektrolyse wieder um: Der „getankte“ Wasserstoff wird in Energie, Wasser und Sauerstoff aufgespalten. Die freigesetzte Energie wird zum Antrieb genutzt. Damit sind Brennstoffzellen keine Energiespeicher, sondern Energiewandler. Ein Range Extender verlängert die Reichweite von Elektrofahrzeugen, indem er Strom aus einem Brennstoff – bspw. Wasserstoff – erzeugt und damit die bordeigene Batterie auflädt. Für einen batterieelektrischen Antrieb kann beispielsweise eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle als Range Extender genutzt werden. Die Prozesswärme, die dabei anfällt, kann zum Heizen des Fahrzeuges genutzt werden. An der Effizienzsteigerung von Motoren zur Direktverbrennung von gasförmigem oder ggf. flüssigem Wasserstoff wird mit Hochdruck geforscht, da Verbrennungsmotoren bewährter und langlebiger als Brennstoffzellen sind.

Im Sektor Verkehr besteht insbesondere in den Bereichen Schwerlast-, Bahn- und Luftverkehr Handlungsbedarf, da dort eine Elektrifizierung durch Batterien aufgrund der geringen Energiedichte in Batterien nicht sinnvoll erscheint. Der Einsatz von Wasserstoff für schwerere Nutzfahrzeuge erhält vor allem für Langstreckenfahrten eine relevante Bedeutung, da sich hier die Vorteile einer höheren Reichweite und kurzer Betankungszeiten gegenüber dem Batterieantrieb zeigen.

Bisher gibt es jedoch nur wenige Hersteller von **Brennstoffzellen-Lkw**. Unter den Deutschen Firmen sind MAN und Daimler als Hersteller sowie die Firmen Quantron, Clean Logistics und die FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG als Umrüster zu nennen. Auch die bestehenden Wasserstofftankstellen sind größtenteils nur bedingt zur Betankung von Nutzfahrzeugen geeignet, da sie auf eine Betankung bei 700 bar und damit auf Pkw ausgerichtet sind. In Nutzfahrzeugen sind dagegen überwiegend die größeren 350 bar Tanks verbaut. Dementsprechend sieht sich der **Schwerlastverkehr** noch einigen Hürden gegenüber.

Im **straßengebundenen ÖPNV** bieten sich neben reinen Brennstoffzellen-Bussen auch batterieelektrische Busse an, bei denen eine Brennstoffzelle als Range-Extender zur Reichweitenerhöhung dient. Eine Übersicht über brennstoffzellenbetriebene Busse in ganz Europa bietet die Website Fuel Cell Electric Buses (www.fuelcellbuses.eu). Brennstoffzellen-Busse können im Gegensatz zu Brennstoffzellen-Lkw in der Regel in Betriebshöfen betankt werden und sind demnach nicht unmittelbar auf die öffentliche Tankstelleninfrastruktur angewiesen.

⁴ Wasserstoff wird wie Diesel direkt verbrannt

Für den **schienengebundene ÖPNV** existiert bereits eine technologische Lösung zum Einsatz von emissionsfreien Zügen im Regelbetrieb (bspw. der Coradia iLint des Unternehmens Alstom).

Wasserstoff als Brennstoff ist in der Raumfahrt längst Standard und soll perspektivisch auch im **Flugverkehr** umgesetzt werden. Dafür soll flüssiger Wasserstoff statt Kerosin in den Triebwerken verbrannt werden. Dieser liefert zwar pro Kilo die dreifache Menge an Energie im Vergleich zu Kerosin, benötigt jedoch vier Mal so viel Platz. Laut einer McKinsey-Studie würden sich sowohl die Länge als auch das Startgewicht eines Flugzeuges dadurch erheblich erhöhen.⁵ Deshalb spielt der Leichtbau vor allem bei der Weiterentwicklung der Tanks eine entscheidende Rolle.

Bei der Abschätzung der Wasserstoff-Nachfrage können der ÖPNV, der Schwerlastverkehr sowie der Bahnverkehr als auch die entsprechenden infrastrukturellen Voraussetzungen als Garanten für einen Markthochlauf von Wasserstoffanwendungen in der Mobilität/Logistik bezeichnet werden.

Dabei ist keine Anwendungsform von Wasserstoff oder dessen Derivaten (Wasserstoffverbrennern, Brennstoffzellen, eFuels) hervorzuheben, da die unterschiedlichen technischen Lösungen in unterschiedlichen Gebieten sinnvoll eingesetzt werden können.

Zudem fehlen für eine qualifizierte Priorisierung von Maßnahmen oft noch weitere Informationen, wie bspw. konsistent erhobene Lebenszyklusdaten zu Energieverbrauch und Emissionen sowie realistische Wirkungsgrade inklusive der Verluste bei der Energieumwandlung. Allerdings lässt sich grob vereinfacht zusammenfassen, dass bei kurzen Distanzen und geringem Gewicht Batterien und bei großen Distanzen und hohem Gewicht Brennstoffzellen sinnvoll zum Einsatz kommen. Spielt allerdings das Gewicht oder der Platzbedarf eine entscheidende Rolle (bspw. bei Flugzeugen oder bei Seeschiffen), können eFuels⁶ genutzt werden.

Einsatzpotenziale von Wasserstoff in der Mobilität/Logistik

Der **Straßengüterverkehr** in Deutschland stößt jährlich etwa 50 Megatonnen CO₂ aus, für die Hälfte davon sind die etwa 250.000 schweren Lkw mit einem Gewicht über 26 Tonnen verantwortlich. LKW mit mehr als 26 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht machen mit weniger als 10% zwar nur einen kleinen Anteil aller Nutzfahrzeuge im Bestand aus, mit der Umstellung dieser relativ kleinen Fahrzeugflotte könnten jedoch sehr hohe CO₂-Einsparungspotentiale geschöpft

⁵ <https://www.flugrevue.de/flugzeugbau/zukunftsantriebe-europa-setzt-auf-wasserstoff/>; abgerufen am 29.04.2021

⁶ eFuels sind synthetische Kraftstoffe. Zu deren Herstellung wird Wasser mit regenerativem Strom in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten und dann mit Kohlenstoffdioxid zu synthetischem Benzin bzw. Diesel umgewandelt.

werden.⁷ Würden die konventionellen Lkw durch Brennstoffzellen-Lkw ersetzt, entstünde ein Bedarf von jährlich etwa 1,3 Millionen Tonnen Wasserstoff.⁸



Rot = nicht elektrifizierte Bahnstrecken
Grau = elektrifizierte Bahnstrecken

Um die Bedarfe im **schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehr** zu ermitteln, sind zunächst die bereits elektrifizierten mit den nicht elektrifizierten Bahnstrecken abzugleichen. Bei Strecken, die über keine elektrische Oberleitung verfügen, können Züge mit Wasserstoff- oder Batterietechnik eingesetzt werden. Laut Angaben des Zweckverbandes Verkehrsverbund Bremen/Niedersachsen (ZVBN) sind über 50% des Gesamtstreckennetzes der Bahn in Niedersachsen noch nicht elektrifiziert. Für die Metropolregion Nordwest wurde das Verhältnis zwischen elektrifizierten und nicht elektrifizierten Bahnstrecken mittels einer interaktiven Wasserstoffkarte unter **www.wasserstoff-region.de** visualisiert:

Rangierloks hingegen können grundsätzlich nicht elektrifiziert werden, da sie zum einen auf eine hohe Anfahrtszugkraft ausgelegt sind und zum anderen die Ladegleise in der Regel nicht mit Oberleitungen ausgestattet sind, um eine reibungslose Beladung sicherzustellen. Entsprechend ist die Umrüstung von Rangierloks an den Rangierbahnhöfen in Ballungszentren, in Güterverkehrszentren und in den Häfen auf Wasserstofftechnik sinnvoll.

Der Bedarf an Wasserstoff im **straßengebundenen öffentlichen Personennahverkehr** wird derzeit durch die Verkehrsverbände in Niedersachsen und Bremen erhoben und damit die Strategien zur Umstellung auf alternative Antriebe konkretisiert.

⁷ https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_Nutzfahrzeuge.pdf

⁸ <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2020/presseinfo-18-wasserstoff-tankstellen-brennstoffzellen-lkw.html#:~:text=Das%20Fraunhofer%20ISI%20hat%20errechnet,neun%20Milliarden%20Euro%20pro%20Jahr;abgerufen%20am%2005.08.2021>

Welche Infrastrukturen gibt es bereits? Welche sind geplant?

Im September 2021 waren in Deutschland 92 Wasserstofftankstellen in Betrieb (drei weitere befanden sich in der Inbetriebnahme)⁹ und 1.106 Brennstoffzellen-Pkw und Brennstoffzellen-Plug-in Hybride zugelassen.¹⁰ Bis 2025 sollen insgesamt 400 Tankstellen entstehen. Die Tankstellen sind jedoch nur bedingt zur Betankung von Nutzfahrzeugen geeignet, da sie auf eine Betankung bei 700 bar und damit auf Pkw ausgerichtet sind. In Nutzfahrzeugen sind dagegen überwiegend die größeren 350 bar Tanks verbaut. Bei 700 bar ist eine wesentlich schnellere Betankung möglich, allerdings können die bisher entwickelten Schnellbetankungssysteme die hohen Wasserstoffmengen bei großen Nutzfahrzeugen nicht handhaben. Da vor allem im **Schwerlastverkehr** Batterien aufgrund des Eigengewichtes keine Option sind, muss das Tankstellennetz für den Lastverkehr (350 bar) zwingend ausgebaut werden.

Um die Versorgung des ÖPNV und des Schwerlastverkehrs gewährleisten zu können, müssten Tankstellen idealerweise an Knotenpunkten bzw. Linienendpunkten in Oberzentren wie ZOB/Bahnhöfen oder auch an Knotenpunkten im eher ländlichen Raum aufgebaut werden. Gegebenenfalls auch auf den Betriebshöfen der Verkehrsunternehmen.

Weitere Knotenpunkte als potenzielle Standorte für (multimodale) Tankstellen können anhand raumordnerischer Kriterien über die interaktive Wasserstoffkarte unter www.wasserstoff-region.de identifiziert werden.

Was sind die Herausforderungen

Bisher sind auf dem Markt überwiegend Kleinserien oder Prototypen verfügbar. Bspw. gibt es nur wenige Hersteller von Brennstoffzellen-Lkw. Unter den Deutschen Firmen sind MAN und Daimler als Hersteller sowie die Firmen Quantron und Clean Logistics als Umrüster zu nennen. Die Anschaffungskosten für einen Brennstoffzellen-Lkw sind derzeit noch um den Faktor drei bis vier höher als für einen konventionellen Lkw. Brennstoffzellen-Busse sind bereits am Markt verfügbar und ihr Einsatz ist erprobt, jedoch liegen die Anschaffungskosten noch deutlich über jenen für konventionelle Busse mit Dieselantrieb.

Die Dichte an Wasserstofftankstellen im Nordwesten bzw. in Deutschland ist noch zu gering, um einem Markthochlauf Rechnung zu tragen. Zudem richtet sich das Tank-

⁹ <https://h2.live/> (September 2021)

¹⁰ NOW GmbH: Saubere Mobilität in Deutschland - Kennzahlen und Projekte (Januar 2021)

Angebot bisher in erster Linie an Brennstoffzellen-Pkw. Der Neubau einer Wasserstofftankstelle ist außerdem sehr teuer, so dass eine Investition ohne gesicherte Abnahme nicht wirtschaftlich ist. Deshalb hat auch H2-Mobility¹¹ seine Anforderungen an Tankstellenstandorte geschärft. Zum einen bedarf es eines Nachfragekonzeptes durch den potenziellen Tankstellenbetreiber, welches Mindestabnahmemengen beinhalten muss und zum anderen muss eine Absicherung über ein Co-Investment in Form eines Abnahmevertrages vorliegen. Darüber hinaus werden ausschließlich Shell, Total und OMV als Partner akzeptiert.

Die Brennstoffzellen-Fahrzeuge stellen auch neue Anforderungen an die Fachkräfte in den Unternehmen und vor allem an die Werkstattmitarbeiterinnen und -mitarbeiter. Zur Instandhaltung und Reparatur der Brennstoffzellen-Fahrzeuge müssen diese zusätzlich qualifiziert werden, um die technischen (bspw. hinsichtlich der bestehenden Hochvoltanforderungen der Fahrzeugkomponenten) und kraftstoffbedingten Anpassungen vornehmen zu können.¹²

Wer sind die Akteure?

Um den Markthochlauf für Wasserstoff-Anwendungen in der Mobilität/Logistik voranzutreiben, müssen zunächst die Bedarfe von Logistikern, Flottenbetreibern, der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft, von Verkehrsbetrieben, Abfallwirtschaftsbetrieben sowie Verladern etc. ermittelt werden. Handelsübliche Bedarfe können dann von den Herstellern von Brennstoffzellen-Fahrzeugen gedeckt werden. Bei spezifischen Bedarfen können neben Ingenieursdienstleistern vor allem Fahrzeug-Umrüster oder Anlagenbauer für spezielle Anlagen und Antriebe Lösungen bieten.

¹¹ Die H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co.KG ist verantwortlich für den flächendeckenden Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland und wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) durch das Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert.

¹² AG 3 des H2.N.O.N. Factsheet Speditionsverkehr