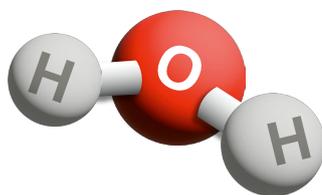


# Bringt der Wasserstoff-Verbrennungsmotor den Durchbruch?

Es ist unbestritten, dass zur Erreichung der ambitionierten Klimaziele auch Traktoren, Baumaschinen und Lastwagen ihren Schadstoff-Ausstoss reduzieren müssen. Anders als bei Personenkraftwagen stösst der Elektroantrieb bei schweren Nutzfahrzeugen jedoch schnell an Grenzen. Wasserstoff ( $H_2$ ) rückt vermehrt als alternative Antriebstechnologie in den Fokus.

Die in der Landwirtschaft und auf der Baustelle geforderten hohen Leistungen können nur mit enorm grossen und schweren Batterien bereitgestellt werden. Zudem müssen Traktoren und Baumaschinen oft stundenlang auch an Orten ohne Ladeinfrastruktur eingesetzt werden können. Seit mehreren Jahren experimentieren Hersteller daher mit Fahrzeugen, die ihre Antriebsenergie aus Wasserstoff-Brennstoffzellen beziehen. In der Brennstoffzelle wird durch die Umkehrung der Elektrolyse elektrischer Strom aus Wasserstoff gewonnen, der einen Elektromotor antreibt. Bei einem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeug handelt es sich also im Grunde genommen um ein Elektrofahrzeug.



## Brennstoffzellen-Technologie ist komplex und teuer

Die Krux: Die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie ist komplex und teuer und es gibt kaum technische Gemeinsamkeiten mit konventionellen Diesel- oder Benzinmotoren. JCB aber auch Hersteller wie Deutz oder VM Motori (Stellantis Group) tüfteln darum intensiv an Motoren, welche Wasserstoff direkt verbrennen können. Ein solcher Wasserstoff-Verbrennungsmotor unterscheidet sich lediglich hinsichtlich Ansaugsystem, Verbrennungssteuerung und Abgasnachbehandlung von einem konventionellen Diesel- oder Benzinmotor. Im Brennraum ereignet sich die aus dem Chemieunterricht bekannte Knallgasexplosion, für die ein Zündgemisch mit mindestens 18 Prozent Wasserstoffanteil benötigt wird. Als Abbauprodukte entstehen lediglich Wasserdampf und Stickoxide ( $NO_x$ ). Der Schmierölverbrauch verursacht geringe Spuren von Kohlendioxid, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffen.

### Lagerung und Transport von Wasserstoff sind anspruchsvoll

Die Wasserstoffspeicherung erfolgt im gasförmigen oder flüssigen Zustand. Wasserstoff ist unter Umgebungsbedingungen gasförmig und lässt sich nach dem Verdichten bei hohem Druck in einem Wasserstofftank speichern. Bei Fahrzeugen hat sich ein Druckniveau von 350 bar für Nutzfahrzeuge und 700 bar für PKW durchgesetzt. Eine Alternative stellt die Verflüssigung von Wasserstoff dar. Flüssigwasserstoff (LH<sub>2</sub>) besitzt eine wesentlich höhere Dichte bei einem deutlich kleineren Volumen und eignet sich daher für den Transport von grossen Mengen über lange Distanzen. Der flüssige Wasserstoff muss allerdings auf -253°C heruntergekühlt und in massiv isolierten Tanks gelagert werden, da er sonst wieder in die gasförmige Phase übergeht.

### Wie wird Wasserstoff hergestellt?

Die Dampfreformierung ist das zurzeit gängigste grossindustrielle Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus kohlestoffhaltigen Ressourcen wie Erdgas und Biogas. Durch Zugabe von Wasserdampf bei einer

Temperatur zwischen 450 und 500 °C und einem Druck zwischen 25 und 30 bar erfolgt die Spaltung der langkettigen Kohlenwasserstoffe zu Methan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. Um reinen Wasserstoff zu erhalten, bringt man das Methan anschliessend bei gleichbleibendem Druck und einer Temperatur zwischen 800 und 900 °C mit Wasser zur Reaktion. Die Nebenprodukte Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Methan werden am Schluss herausgefilitert. Bereits rund 70 Prozent des weltweit hergestellten Wasserstoffs stammen aus der Dampfreformierung, da dieses Verfahren vergleichsweise kostengünstig ist. Alternativ zu fossilen Brennstoffen kann man für die Dampfreformierung auch Biogas nutzen. Auf diese Weise lässt sich die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz des Prozesses verbessern.

### Herstellung entscheidet über Umweltbilanz

Die Gesamtbilanz der Emissionen ist beim Wasserstoffantrieb stark von der Art abhängig, wie der Wasserstoff hergestellt wird (siehe Seite 17). Für die Produktion braucht es Ener-

gie. 95 Prozent des Wasserstoffs wird heute mit fossilen Energieträgern produziert (vor allem Erdgas, aber auch Kohle) und nur 5 Prozent mit erneuerbaren Energien. Wenn Wasserstoff mit erneuerbaren Energien hergestellt wird, ist die Bilanz (CO<sub>2</sub>-equivalente Emissionen) ähnlich gut wie bei E-Autos mit Strom aus erneuerbaren Energien. Wird der Wasserstoff mit Erdgas hergestellt, ist die Bilanz eher mit einem Diesel-PKW vergleichbar. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass die von dieser Antriebsart gebotenen Leistungen mit einem Batteriefahrzeug nicht erreicht werden können.

### Schweizer H<sub>2</sub>-Tankstellennetz wächst

Im Förderverein H<sub>2</sub> Mobilität Schweiz haben sich Firmen wie Agrola AG, AVIA Vereinigung, Coop Mineralöl AG, fenaco Genossenschaft und Migrol AG mit dem Ziel zusammengeschlossen, in der Schweiz ein flächendeckendes Netz an Wasserstofftankstellen aufzubauen. Für die Landwirtschaft stellen sich neben der Verfügbarkeit aber weitere Fragen beim Wasserstoffeinsatz.

## H<sub>2</sub> Tankstellen und Produktion in der Schweiz

350 bar und 700 bar

### H<sub>2</sub>-Tankstellen eröffnet

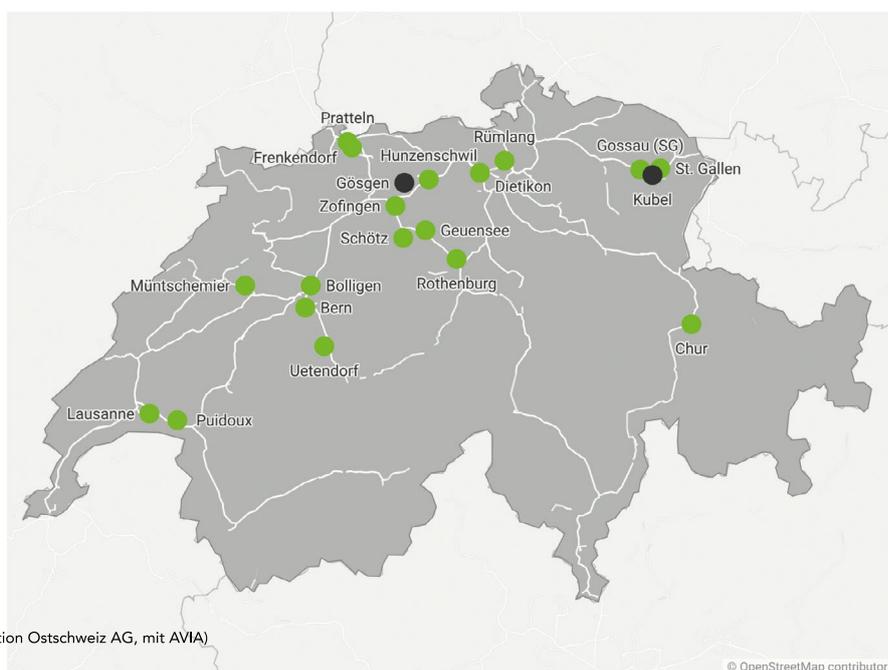
Bern	Coop
Chur	Coop
Dietikon	Coop
Frenkendorf	Coop
Geuensee	AVIA
Grauholz	Socar
Hunzenschwil	Coop
Lausanne/Crissier	Coop
Müntschemier	Schwab-Guillod
Pratteln	AVIA
Puidoux	AVIA
Rothenburg	Agrola
Rümlang	AVIA
Schötz	Agrola
St. Gallen	AVIA
St. Gallen/Gossau	AVIA (350 bar)
Uetendorf *	Oeltrans AG
Zofingen	Agrola

### H<sub>2</sub>-Tankstellen in Realisierung

Egerkingen	Coop (in Planung)
------------	-------------------

### H<sub>2</sub>-Produktion

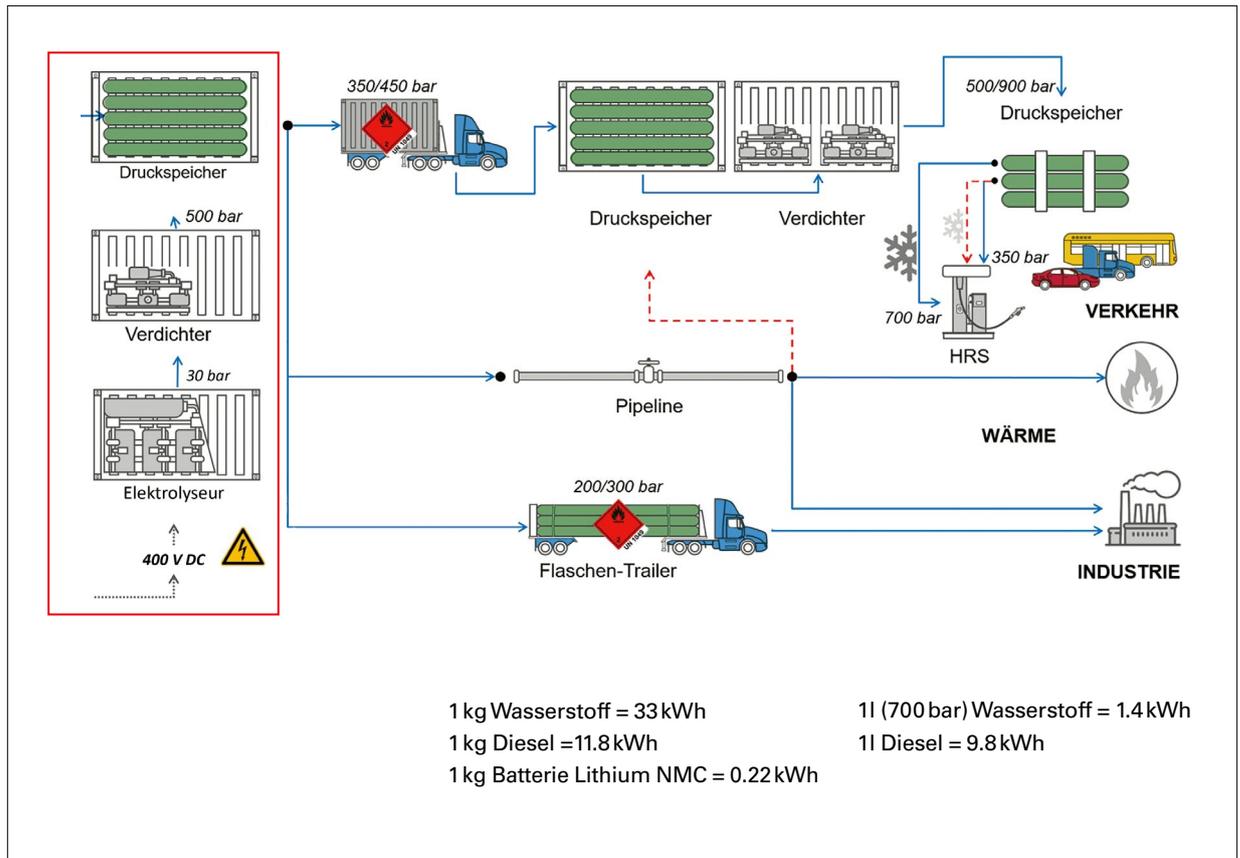
Kubel St. Gallen	in Betrieb (Wasserstoff-Produktion Ostschweiz AG, mit AVIA)
Niedergösgen	in Betrieb (Hydrospider)



\* noch nicht von HHM genehmigt und freigegeben

Erstellt mit Datawrapper

Stand Januar 2025, Quelle: www.h2mobilitaet.ch



Die Lieferkette von Wasserstoff von der Produktion bis zu den Verbrauchern.

Etwa, wie der Wasserstoff auf einem Betrieb gelagert wird. Ein Wasserstofftank hat höhere Anforderungen in Bezug auf die Sicherheit, was zu erheblichen Initialkosten führt, die sich nur bei einer grösseren Fahrzeugflotte amortisieren lassen. Es ist daher denkbar, dass Landwirtschaftsbetriebe für die Wasserstoffversorgung mit regionalen Transportunternehmen kooperieren. Der eingangs erwähnte britische Baumaschinenhersteller JCB hat zudem kürzlich eine mobile

Wasserstoff-Betankungsanlage vorgestellt, die einen einfachen Transport von Wasserstoff zu den Maschinen auf der Baustelle oder auf dem Feld ermöglicht.

**Zwei Beispiele für Wasserstoff-Verbrennungsmotoren**

**VM Motori R753-H2**

Der auch am Agrama-Stand von Agrotec gezeigte Wasserstoffmotor R753-H2 von VM Motori (Stellantis Group) basiert auf dem 2,2-Liter-Dreizylinder-Reihenmotor R753 des gleichen Unternehmens, welcher in aktuellen Serienfahrzeugen verwendet wird. Es braucht daher kaum Anpassungen am Antriebsstrang und auch Wartung, Fehlersuche, Service und das Betanken unterscheiden sich nur minimal. Die wichtigsten Änderungen betreffen Einspritzdüsen, Common-Rail, Kolben, Zündkerzen, Zündspule und Druckregler. Mit

**Wasserstoff-Brennstoffzelle vs. Wasserstoff-Verbrennungsmotor**

Wasserstoff-Brennstoffzelle	Wasserstoff-Verbrennungsmotor
+ Kein Lärm	+ Einsatz anstelle eines konventionellen Dieselmotors
+ Keine umweltschädlichen Abgase	+ Keine neue Fahrzeugplattform nötig
+ Keine CO <sub>2</sub> -Emissionen	+ Bekannte Komponenten
+ Höherer Wirkungsgrad	
- Benötigt neue Fahrzeugplattformen	- Lärm eines Verbrennungsmotors
- Benötigt Batterie	- NOx-Emissionen
	- Geringerer Wirkungsgrad

**Die verschiedenen Wasserstoffklassifikationen**

Weiss	Weisser Wasserstoff ist natürlicher Wasserstoff, der oft in Verbindung mit fossilen Kohlenwasserstoffen und Helium vorkommt und z. B. durch Fracking gefördert werden kann. Heute noch sehr selten.
Grün	Wasserstoff aus der Elektrolyse, deren Strom aus erneuerbaren Energien (Sonne, Wasser, ...) stammt. Wasserstoff aus Biomasse oder Biomethan, der weniger als 3g CO <sub>2</sub> /kg Wasserstoff ausstösst.). Er eignet sich aufgrund seiner guten Ökobilanz für den Einsatz in Fahrzeugen.
Rosa	Kohlenstoffarmer Wasserstoff (z. B. Elektrolyse mit nuklearer Energie)
Gelb	Wasserstoff durch Elektrolyse mit einem Energiemix
Grau	Wasserstoff, der durch die Verdampfung von Methan oder durch Elektrolyse mit Strom aus Gas hergestellt wird
Blau	Wie grau, aber die CO <sub>2</sub> -Emissionen werden aufgefangen
Braun	Wasserstoff aus Braunkohle hergestellt, sehr hohe CO <sub>2</sub> -Emissionen
Schwarz	Aus Kohle hergestellter Wasserstoff, sehr hohe CO <sub>2</sub> -Emissionen
Türkis	Wasserstoff, der durch die Pyrolyse von Methan gewonnen wird

einer Leistung von 62 kW und einem Spitzendrehmoment von 270 Nm wird die Leistung des H<sub>2</sub>-ICE-Motors etwa 10 Prozent höher sein als jene des Dieselmotors, aus dem er hervorgegangen ist. Der Motor wird die Abgasnormen EURO VI E und STAGE V erfüllen. Die Serienproduktion ist für 2026 geplant.

**Deutz TCG 7.8 H<sub>2</sub>**

Der TCG 7.8 H<sub>2</sub> von Deutz basiert zu 75 Prozent auf dem etablierten Dieselmotor TCD 7.8.

Dank dem erprobten Triebwerk und der Serienreife sind sowohl eine hohe Servicefreundlichkeit wie auch eine gute Teileversorgung gewährleistet. Mechanikerinnen und Mechaniker benötigen keine Umschulung, sondern lediglich eine kurze Einführung in die neuen H<sub>2</sub> Komponenten. Der Sechszylindermotor, der mit 220 kW-Leistung ist nicht nur CO<sub>2</sub>-neutral, sondern auch sehr leise. Er eignet sich nach Angaben des Her-

stellers grundsätzlich für alle heutigen Anwendungen. Einen ersten Auftrag über eine Kleinserie von 100 H<sub>2</sub>-Gensets, die mit dem TCG 7.8 H<sub>2</sub> angetrieben werden, hat Deutz kürzlich aus China erhalten. ■

*Damien Jaquet  
Emanuel Scheidegger*