

Wasserstoff ist das einfachste Element auf der Erde und trägt die Ordnungszahl 1 im Periodensystem. Damit ist das Wasserstoffatom auch das kleinste Element vom Durchmesser her. Wenn es im Fahrzeug mitgeführt wird, sind Gastanks und Leitungen nicht nur gefordert, möglichst dicht zu sein, sondern auch dem hohen Verdichtungsdruck von rund 700 bar standzuhalten. Die aktuellen FC-Fahrzeuge Honda Clarity FC (nur in USA), Hyundai Nexo und Toyota Mirai benötigen einen derart hohen Verdichtungsdruck, um Treibstoff für eine ausreichende Reichweite mitzuführen. Rund 5 kg H<sub>2</sub> nehmen die aufwändigen Composit-Gastanks auf. Pro 100 km verbrauchen die Fahrzeuge rund 1 kg H<sub>2</sub>.

## Herstellung/Ökologie

Wasserstoff lässt sich mit verschiedenen Prozessen herstellen: Als Abfallprodukt der chemischen Industrie kann er wiederverwendet oder durch Elektrolyse mit elektrischer Energie aus Wasser hergestellt werden. Weitere Möglichkeiten wie biologische oder photochemische Herstellungsverfahren sind denkbar, aber noch nicht ausgereift.

Um die Mobilität CO<sub>2</sub>-arm darzustellen, muss die elektrische Energie zwingend aus regenerativen Prozessen stammen. Wind-, Wasser- und Sonnenkraftwerke sind die einzigen vernünftigen Energielieferanten, um die Elektrolyse, deren Wirkungsgrad rund 70% beträgt, umweltfreundlich darzustellen. Um das Gas anschließend auf den nötigen Speicherdruck zu bringen, wird ebenfalls Energie aufgewendet, der Gesamtwirkungsgrad sinkt.

## Energiegehalt/Betankung

1 kg H<sub>2</sub> enthält die chemische Energie von 33 kWh. Im Vergleich zu Rohöl mit 11.6 kWh, Diesel und Benzin von je rund 12 kWh und Methan/CNG von ca. 11.7 kWh pro kg ist H<sub>2</sub> hochenergetisch. Um 1 kg Wasserstoff vom Umgebungsdruck auf die 900 bar Speicherdruck zu bringen, sind 2.5 bis 4.4 kWh Energie notwendig. Dadurch reduziert sich der CO<sub>2</sub>-Vorteil weiter (ausser die Energie stammt aus regenerativen Quellen).

Auch der Transport von der Produktion bis zur Tankstelle erfolgt in der Schweiz per Lastwagen, da kein Pipelinennetz vorhanden ist (wie beim Erdgas). Die Betankung der drei genannten Pw gestaltet sich einfach und ist inert kürzester Zeit vollzogen (rund 5 Minuten). Für Nutzfahrzeuge wird ein Druckniveau von 350 bar gefahren. Beim Nutzfahrzeug ist mehr Einbauvolumen für die Wasserstoffgastanks vorhanden. Die von Hyundai produzierten und von der Auto AG gewarteten Brennstoffzellenlastwagen sind aktuell auf hiesigen Strassen erfolgreich im Einsatz.

Nebst der Energieumwandlung in der Brennstoffzelle zu elektrischer Energie wurden und werden auch weiterhin



Um H<sub>2</sub> im Fahrzeug zu transportieren, müssen Compound-Gastanks verbaut werden.

Versuche gefahren, den Wasserstoff ähnlich wie CNG gasförmig einem Verbrennungsmotor einzublauen. Dies funktioniert problemlos. Allerdings benötigen die Fahrzeuge aufgrund des geringeren Wirkungsgrades des Verbrenners gegenüber dem Brennstoffzellenfahrzeug etwas mehr Wasserstoff pro 100 km Fahrstrecke und müssen ein etwas größeres Speichervolumen aufweisen. Die Mitnahme des Treibstoffes in flüssiger Form wurde wieder verworfen: BMW hat vor rund 30 Jahren H<sub>2</sub> mittels Tankroboter in Kryotanks eingefüllt, der auf rund -250°C gekühlt werden muss.

## Eigenschaften/Werkstatt

Wasserstoff ist bei Raumtemperatur gasförmig. Tritt bei einem Wasserstofffahrzeug das Gas aus, verflüchtigt es sich rasch nach oben, da es eine deutlich geringere Dichte besitzt als Luft. H<sub>2</sub> ist nicht selbstentzündlich, nicht giftig, geruchlos sowie farblos und schadet der Umwelt bei handelsüblichen Mengen nicht. Trotzdem werden in den Werkstätten Wasserstoffsensoren an der Decke verbaut und alle elektrischen Anlagen funkenfrei ausgeführt, damit keine Verpuffung stattfinden kann.

Bei Arbeiten an Wasserstofffahrzeugen gelten ähnliche Regeln wie bei CNG-



Signalwort:	Gefahr
Gefahrenhinweis(e):	H220: Extrem entzündbares Gas. H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
Sicherheitshinweise Allgemeines:	Kein(e).
Prävention:	P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen. P377: Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann. P381: Bei Undichtigkeit alle Zündquellen entfernen.
Lagerung:	P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
Entsorgung:	Kein(e).

Wasserstoff wird an der Tankstelle gasförmig mit über 700 bar Druck (Pw, Nfz 350 bar) in die Gasflaschen des Fahrzeuges überströmt. H<sub>2</sub> ist leicht entzündbar und dehnt sich bei Erwärmung stark aus. Die Verdichtung findet vor dem Tankvorgang in die Mitteldruck- und Hochdruckspeicher (500 und 900 bar) der Tankstelle statt. Beim Tankvorgang wird der Wasserstoff in das Fahrzeug überströmt (Druckdifferenz) und muss beim 700-bar-System noch auf -40 °C gekühlt werden

oder LNG-Fahrzeugen. Erst wenn die Gasbehälter und das Leitungssystem entleert sind, dürfen Leitungen gelöst oder gasführende Komponenten gewechselt werden. Ausserdem müssen die Gastanks bei jeder Wartung auf optische Beschädigungen untersucht werden. Da es sich um Composit-Tanks, einem Verbund von Aluminium (Typ 3) als gasdichter Inliner oder Kunststoff (Typ 4) und Kohlefaser-Verbundwerkstoffen, um die Festigkeit gegenüber dem Gasdruck, aber auch bei einem Unfall die Kräfte von aussen möglichst aufzunehmen. Diese Art von Tanks können optisch auf Beschädigungen geprüft werden. Nach einem Unfall sollten die Tanks allerdings geröntgt werden, um Faserbrüche des CFK entdecken zu können.

## Potential

Um die Mobilität künftig zu defossilieren und dekarbonisieren, ist H<sub>2</sub> aufgrund seiner Speicherfähigkeit optimal. Allerdings fehlt nicht nur in Europa der regenerativ erzeugte Überschussstrom, der die suboptimale Wirkungsgradkette bei der Erzeugung durch Elektrolyse wettmacht. H<sub>2</sub> hat aber viel Potential für die Zukunft und gehört je nach Einsatzzweck zusammen mit BEV zu den wichtigsten alternativen Antrieben.