

# Wasserstoff für Verbrenner

Warum Wasserstoff in einer komplizierten und teuren Brennstoffzelle einsetzen, wenn man ihn auch direkt in einem Verbrennungsmotor nutzen kann? Mehrere Unternehmen haben eine 20 Jahre alte Idee wiederbelebt und profitieren hierbei von den Fortschritten bei der Wasserstofftechnik in anderen Bereichen.

Text: Dirk Gulde / Fotos: BMW, Europäische Union/Claudio Centonze, imago images, Keyou



Wasserstoff im Verbrennungsmotor war da nicht mal was? Und ob! Um die Jahrtausende arbeitete BMW intensiv daran, Benzinmotoren für den Betrieb mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>) fit zu bekommen. Es entstanden Kleinserien mit umgerüsteten Limousinen der Siebener-Reihe, die unter anderem auf der Expo 2000 in Hannover als Shuttle-Taxis eingesetzt wurden. Trotz opti-

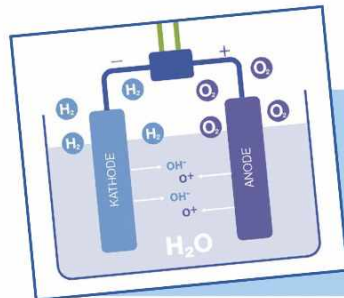
mistischer Prognosen ging der 750er ebenso wenig in Serie wie sein Nachfolger Hydrogen 7 auf Basis des 760i. Auch Mazda und MAN widmeten sich intensiv diesem Thema. Über das Versuchsstadium kam jedoch niemand hinaus.

Obwohl das Grundprinzip der Wasserstoffmotoren eigentlich genial ist. Anstatt fossile Energieträger aus Kohlenstoffbasis wie Benzin, Diesel oder Erdgas zu ver-

**In einem angepassten Motor lässt sich Wasserstoff ähnlich einfach wie Benzin verbrennen**

brennen und dabei CO<sub>2</sub> freisetzen, das zur Erderwärmung beiträgt, nutzt man Wasserstoff, der mit dem Sauerstoff aus der Umgebungsluft zu klarem Wasser verbrennt – harmlos für Mensch und Klima. Wird der benötigte Wasserstoff auch noch per Elektrolyse mit erneuerbarer Energie hergestellt, ginge für die Menschheit der Traum von einer CO<sub>2</sub>-neutralen Mobilität in Erfüllung.

Doch so einfach war es leider nicht, aus unterschiedlichen Gründen stampte BMW die Projekte ein. Einerseits haperte es am Tanksystem: Schon nach ein paar Tagen war der auf minus 250 Grad heruntergekühlte, flüssig getankte Wasserstoff seiner Behausung entwichen. Zum anderen fiel die Leistungsausbeute der Motoren mickrig aus. Obwohl mit dem 5,4-Liter-Zwölfzylinder ein mächti-



## Wasserstoffherstellung

Wird Gleichstrom durch Wasser geleitet, lässt sich H<sub>2</sub>O in seine beiden Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten. Das Verfahren nennt sich Elektrolyse. Hierbei sammelt sich Wasserstoff an der negativ geladenen Kathode an und kann abgesaugt werden. Stammt der Strom für die Elektrolyse aus regenerativen Quellen wie Wind- oder Sonnenenergie, entsteht dabei kein CO<sub>2</sub>. Nur so lässt sich Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger nutzen. Heute werden jedoch über 90 Prozent des Wasserstoffs noch nicht klimaneutral hergestellt. Der Weg zu echtem grünen Wasserstoff ist noch lang und teuer.

ger Motor zum Einsatz kam, ließen sich nur 150 kW entlocken – das schafft heute jeder bessere Vierzylinder. Sollte Wasserstoff Autos antreiben, dann ausschließlich per Brennstoffzelle, die Strom erzeugt und einen Elektromotor speist. Dachte man zumindest seitdem.

**Bosch lässt aufhorchen**  
Beim diesjährigen Wiener Motorenkongress widmete sich jedoch gleich zwei

Fachvorträge der Wasserstoffverbrennung. So zeigte Bosch einen modifizierten Serien-Vierzylinder mit zwei Litern Hubraum, der es im H<sub>2</sub>-Modus auf rund 160 kW bringt. Direkteinspritzung und Turbo-Aufladung hieven den Standardmotor auf die Werte des V12-Vorläufers von BMW. Ein herkömmlicher Katalysator ist durch das Fehlen von Kohlenstoff im Sprit nicht nötig, bei der Verbrennung kann

**Tanks zur Speicherung von gasförmigem H<sub>2</sub> mit 700 bar Druck**



Linde, Shell und Daimler geben gemeinsam Gas: Bis Ende des Jahres soll es 100 Wasserstofftankstellen in Deutschland geben, bis 2023 sogar 400. Derzeit sind es immerhin schon 84



N

neben Wasser lediglich Stickoxid (NOx) in nennenswerten Mengen entstehen. NOx bildet sich bei hohen Temperaturen, wenn die beiden Luftbestandteile Stickstoff und Sauerstoff miteinander reagieren.

Doch auch hier zeigt sich der Vorteil von Wasserstoff: Während Berlin zur Züchtung eine recht genau bemessene Portion Luft benötigt, bleibt Wasserstoff in einem sehr breiten Mengenverhältnis zündfähig. Wird der Wasserstoffmotor daher mager ausgelastet (wenig Wasserstoff auf viel Luft), verschiebt sich die Verbrennung in Temperaturbereiche, in denen kaum NOx entsteht. Kommt dann noch ein SCR-System zum Einsatz, lässt sich der Stickoxid-Ausstoß um die Nachweisbarkeitsgrenze drücken. Ein Abgas-Nachteil im Vergleich zur Brennstoffzelle oder zum Elektroauto wäre damit beseitigt.

#### Speicherproblem gelöst

Beim Tank profitiert die neue H<sub>2</sub>-Bewegung von der Pionierarbeit ihrer Brennstoffzellen-Kollegen: Die inzwischen serienreife Fuel-Cell-Autos speichern ihren Wasserstoff nicht flüssig, sondern gasförmig. Die Komprimierung auf 700 bar für den Tankvorgang kostet zwar Energie, das Gas lässt sich in Drucktanks aus neuen Verbundstoffen dichte ohne Selbstentzündung speichern.

Auch beim Tankstellennetz profitieren die H<sub>2</sub>-Anbieter von der Brennstoffzelle: Nachdem es bis vor Kurzem gerade einmal ein gutes Dutzend Tankstellen in Deutschland gab, können sich inzwischen ein

H<sub>2</sub>-Mobility genanntes Joint Venture von Shell, Linde und Drümler um den Aufbau einer Basisversorgung. Inzwischen sind 84 Zapfstellen eingerichtet. Bis Ende 2023 sollen es 400 sein.

Wie der Einstieg in die H<sub>2</sub>-Verbrennung auch ohne Tankstellen-Infrastruktur gelingen kann, zeigte die von ehemaligen BMW-Entwicklern gegründete Start-up Keyo mit seinem Wasserstoffmotor. Auf dem Wiener Motorsymposium stellte Keyo einen Motor für LKWs und Busse vor; Fahrzeuge, die jeden Tag in ihr Depot zurückkehren, können leicht aus einem zentralen Wasserstoffvorrat betankt werden. Keyo hat hierfür einen 7,8 Liter großen Deutz-Motor umgebaut, der es auf 210 kW und 1000 Nm Drehmoment bringt. Denkbar wäre die Kombination mit einem Hybridsystem, das Brennstoff damit beseitigt.



Mit dem Hydrogen 7 testete BMW bis 2009 die direkte Nutzung von Wasserstoff im Verbrennungsmotor. Der riesige Tank kündigt von den Problemen bei der Speicherung von H<sub>2</sub>.

## Grüner Wasserstoff

Bis 2050 will die EU den CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf null senken. In energiehungrigen Industrieanlagen sowie im Verkehr soll vermehrt grüner Wasserstoff zum Einsatz kommen, dessen Produktion die EU jetzt mit einem Milliardenprogramm fördert. Bis 2028 sollen jährlich eine Million Tonnen H<sub>2</sub> mit erneuerbarer Energie produziert werden, bis 2030 zehn Millionen Tonnen. Heute wird Wasserstoff überwiegend noch mit Erdgas hergestellt – ein CO<sub>2</sub>-intensiver Vorgang, bei dem der Wasserstoff keinen Klimabetrag leisten kann. Da die erneuerbare Energie in Europa jedoch auch für viele andere Anwendungen benötigt wird, kooperiert Deutschland auch mit Ländern wie Marokko, die mit ihrer vielen Sonnenstunden Wasserstoff-Elektrolyseanlagen zuverlässig per Solarstrom speisen können.



Anfang Juli 2020 stellte EU-Klimakommissar Frans Timmermans (Mitte) das H<sub>2</sub>-Förderprogramm vor.

Linienbusse, die in einem zentralen Depot betankt werden, benötigen keine öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen. Gut für die Luft: Außer klarem Wasser entstehen so gut wie keine Emissionen.



Zusammen mit Motorenhersteller Deutz hat das Start-up Keyo einen Lkw-Diesel auf Wasserstoff umgebaut.

# H<sub>2</sub>

## Wasserstoff soll zentrales Element der Energiewende werden. Im Verbrennungsmotor ließe er sich vergleichsweise einfach nutzen

energie speichert und zum Anfahren nutzt. So ließen sich rund 20 Prozent H<sub>2</sub> einsparen. Noch 2020 sollen zusammen mit Deutz Bus-Prototypen aufgebaut und in Pilotensitzen getestet werden. Den Umrüst-Aufwand hält Keyo für überschaubar und vergleicht ihn mit einem Endgütes-LKW.

Im Gegensatz zur Brennstoffzelle, deren Großserienfertigung noch auf sich warten lässt, kann Wasserstoff also in den seit Jahrzehnten bewährten Hubkolbenmo-

toren genutzt werden – ähnlich wie synthetische Kraftstoffe (e-Fuels), die sich mit regenerativer Energie ebenfalls CO<sub>2</sub>-neutral herstellen lassen.

Doch auch hier hat die direkte Wasserstoffverbrennung einen entscheidenden Vorteil: Bei der Produktion der e-Fuels heißt das Ausgangsmaterial nämlich ebenfalls H<sub>2</sub>, es folgen weitere, energieintensive Verarbeitungsprozesse, die den Wirkungsgrad der Gesamtkette drastisch mindern. Anders

ausgedrückt: Wird Wasserstoff direkt im Motor verbrannt, kommt ein Auto doppelt so weit wie ein per synthetischem Benzin oder Diesel angetriebener Bus.

**Politik fördert H<sub>2</sub>-Ausbau**  
Unabhängig, für welches Endprodukt Wasserstoff soll nach Willen der Politik so oder so zentraler Baustein einer CO<sub>2</sub>-armen Zukunft werden – in energieintensiven Industriezweigen ebenso wie im Mobilitätsbereich. Heute wird H<sub>2</sub> jedoch

noch überwiegend durch den Einsatz fossiler Energieträger hergestellt. Nach dem Vorbild von Deutschland stellt daher auch die EU hohe Fördergelder für den Aufbau einer CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserstoffproduktion bis 2030 in Europa zur Verfügung. Wenn bis dahin auch die Tankstellennetze, die angekündigte Mindestliche erreicht hat, liefern sich Wasserstoffverbräucher mit vergleichsweise geringem Aufwand auf die Straße bringen.