

PPS für die Wasserstoffmobilität

## Keine Schererei mit dem H<sub>2</sub>

Brennstoffzellen bieten sich für viele Bereiche im Verkehrssektor an. Insbesondere Schwerlasttransporte profitieren von der Technologie. Für die komplexen Antriebssysteme sind jedoch spezielle Materialien erforderlich. Eigens dafür entwickelte Compounds auf Polyphenylensulfidbasis bieten nicht nur die notwendige mechanische und chemische Beständigkeit, sondern sorgen auch für eine deutlich längere Laufzeit der Systeme.



Brennstoffzellensysteme bietet sich besonders für Transportfahrzeuge wie Schwerlast-Lkw an. © Adobe Stock; AA+W

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Quellen zu reduzieren, verbreiten sich weltweit immer stärker erneuerbare und umweltfreundliche Energielösungen. Eine davon ist die Nutzung von Wasserstoff als alternative Energieanwendungen. Weltweit wird mittlerweile massiv in entsprechende Technologien investiert. Wasserstoff ist das häufigste Element im Sonnensystem, aber auf der Erde kommt es nur in gebundener Form vor. Wasserstoff muss daher aus Molekü-

len mithilfe bestimmter Prozesse wie thermochemische und biochemische Umwandlung oder Wasserelektrolyse hergestellt werden.

Die weltweite Wasserstoffproduktion erreicht mittlerweile etwa 75 Mio. t pro Jahr, die fast vollständig aus Erdgas durch Dampfreformierung und Kohle durch Kohlevergasung hergestellt wird. Da der Wasserstoff aus fossilen Energieträgern hergestellt wird, spricht man von grauem Wasserstoff. Obwohl er als

Kraftstoff an seinem Verwendungsort sauber verbrennt, verlagert die Herstellung aus fossilen Rohstoffen ohne eine entsprechende Kohlenstoffabscheidung die entstehenden Emissionen lediglich. Um die Umweltvorteile von Wasserstoff voll auszuschöpfen, muss er daher durch Wasserelektrolyse unter Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen hergestellt werden. Dieser elektrochemische Prozess spaltet Wasser in sogenannten grünen Wasserstoff und Sauer-

stoff. Derzeit macht die Wasserelektrolyse jedoch weniger als 0,1 % der weltweiten Wasserstoffproduktion aus. Aus diesem Grund erwägen viele Regierungen auch den temporären Einsatz von blauem Wasserstoff, bei dem das bei der Herstellung freigesetzte CO<sub>2</sub> aufgefangen und anschließend unterirdisch gespeichert wird.

### Günstiger grüner Wasserstoff

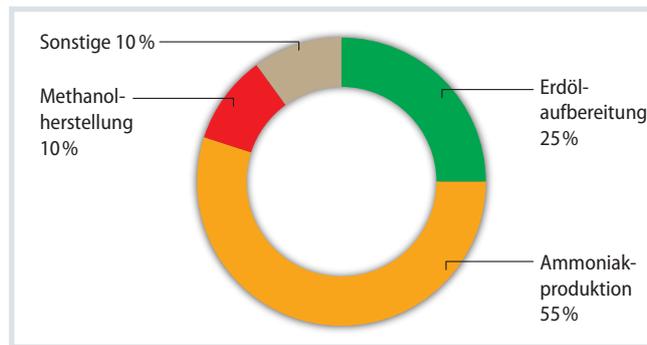
Die zukünftige globale Wachstumsrate von Wasserstoff wird von zwei Hauptfaktoren bestimmt: der Wettbewerbsfähigkeit seiner Produktionskosten und der Verfügbarkeit einer guten Infrastruktur. Gegenwärtig ist der Preis für grünen Wasserstoff zwei- bis dreimal so hoch wie der für grauen. Künftig werden Skaleneffekte, staatlich gesteuerte CO<sub>2</sub>-Preispolitiken und verbesserte Herstellungsprozesse das Kostendelta jedoch reduzieren und zu einer breiteren Nutzung von grünem Wasserstoff führen.

Seit Jahrzehnten wird Wasserstoff vor allem in der Chemie-, Raffinerie-, Agrar- und erdölverarbeitenden Industrie verwendet. Außerdem kommt er auch in der Lebensmittelerzeugung, Metallverarbeitung, Glasherstellung, beim Schweißen, als Reduzier- und Ätzmittel in der Elektronik oder zur Herstellung von Wasserstoffperoxid in der medizinischen Industrie zum Einsatz. Neuere Wasserstoffanwendungen wie Brennstoffzellen eröffnen neue Möglichkeiten in der Weltraumforschung, Luftfahrt, Schwerlastlogistik, dem öffentlichen Verkehr und bei Personenkraftwagen. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass diese Anwendungen derzeit weniger als 10 % des weltweiten Wasserstoffverbrauchs ausmachen (Bild 1).

### Hoher Druck und große Kälte

Viele dieser neuen Wasserstoffanwendungen werden im kommerziellen Maßstab unter sehr anspruchsvollen Bedingungen betrieben. Beispielsweise müssen die Tanks, die Wasserstoff für Brennstoffzellensysteme in einem Fahrzeug speichern, dauerhaft Drücke von 700 bar und höher aushalten. Andere Flüssigwasserstoffanwendungen arbeiten bei extremen kryogenen Temperaturen.

Die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff bietet viele Vorteile:



**Bild 1.** Globale Wasserstoffnutzung nach Industrien: Der Verkehrssektor spielt dabei bisher nur eine sehr untergeordnete Rolle. Quelle: DSM basierend auf Daten von Hydrogen Europe; Grafik: © Hanser

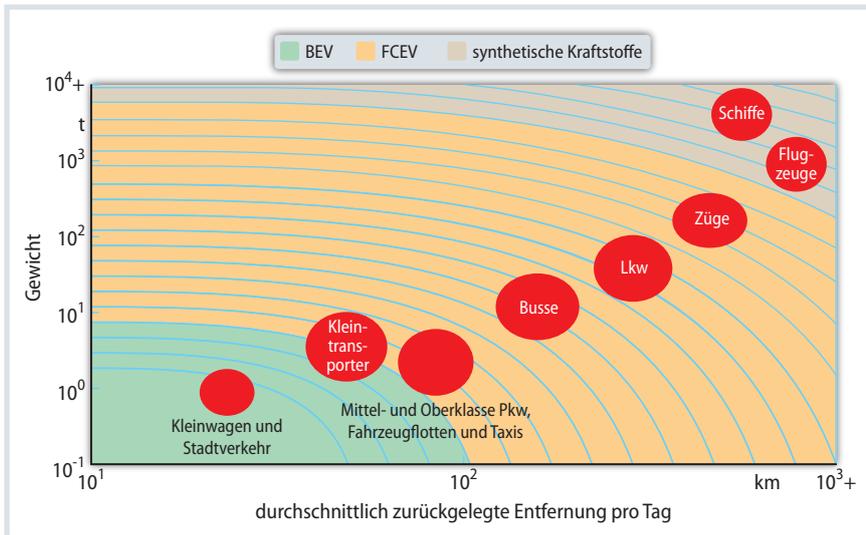
- unbegrenzte Versorgung
- Kann aus verschiedenen Quellen ohne CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hergestellt werden.
- einfacher Transport in großen Mengen
- Produktion von sauberem Strom oder Wärme direkt am Verbrauchsort
- Kann in großen Mengen über lange Zeiträume gelagert werden.

Die Bereitstellung von grünem Wasserstoff stellt jedoch noch eine große Hürde dar. Eine entscheidende Technologie zur Herstellung von emissionsarmem Wasserstoff aus erneuerbarem oder nuklearem Strom ist wie erwähnt die Elektrolyse. Die Kapazität für die dedizierte Wasserstoffproduktion durch Elektrolyse ist in letzter Zeit rasant gewachsen, angetrieben durch die wachsende Nachfrage nach grünem Wasserstoff. Sie lag weltweit bei 8 GW in 2021 und stieg 2022 auf 13,6 GW im Jahr. Voraussichtlich wird sie in diesem Jahr auf 21,4 GW und bis 2030 auf 61,3 GW wachsen [1]. Derzeit entfallen fast 85 % der gesamten Produktionskapazität auf Europa und China, aber in Zukunft werden Australien und die USA einen größeren Beitrag leisten.

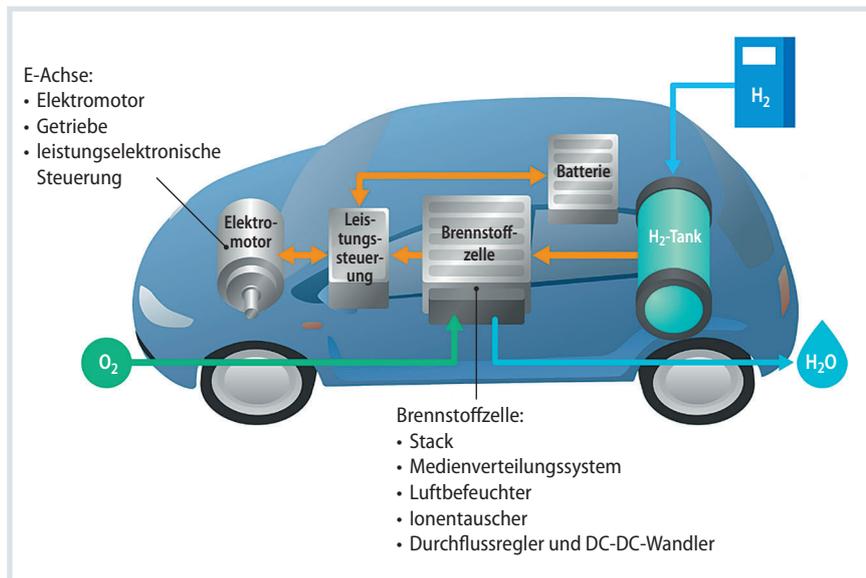
Viele Regierungen haben ihre Ambitionen zur Erhöhung der Wasserstoffkapazität deutlich erhöht:

- In den USA beinhaltet das überparteiliche Infrastrukturgesetz der Regierung von Präsident Joe Biden Zuschüsse für die Schaffung von Wasserstoff-Hubs und Anreize für den Bau von Infrastruktur für die Elektrolyse. Das US DOE Loan Program Office hat beispielsweise eine Kreditgarantie in Höhe von 504 Mio. USD für ein groß angelegtes Wasserstoffspeicherprojekt abgegeben. Auch das Inflationsminderungsgesetz bietet mehrere Steuergutschriften sowie Zuschüsse zur Unterstützung von Wasserstofftechnologien.
- In der EU genehmigte die Kommission Mittel in Höhe von 5,4 Mrd EUR zur Unterstützung ihres ersten wasserstoffbezogenen Projekts von gemeinsamem europäischem Interesse. Drei weitere solcher Projekte, die sich mit industriellen Anwendungen, Wasserstoffinfrastruktur und Mobilität befassen, sollen in naher Zukunft noch auf den Weg gebracht werden.
- In Deutschland wurde die H2Global-Initiative ins Leben gerufen, die analog zum CCFD-Ansatz (Carbon »

**eprotec**  
+ Swiss Quality melt pumps  
Investition in technischen Vorsprung und Produktivität.  
[www.eprotec-extrusion.com](http://www.eprotec-extrusion.com)



**Bild 2.** Erwartete zukünftige Verteilung der Antriebsarten auf die verschiedenen Verkehrssektoren: Elektrofahrzeuge werden vor allem bei Pkw, Brennstoffzellen eher bei Transportfahrzeugen eine große Rolle spielen. Quellen: Toyota, Hyundai, Daimler, Wiener Motorensymposium 2021; Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Überblick über ein vollständiges Brennstoffzellensystem Quelle: Stock Images; Grafik: © Hanser

Contracts for Difference) die Differenz zwischen Angebotspreisen (Produktion und Transport) und Nachfragepreisen durch Fördermittel des Bundes ausgleicht.

- Großbritannien hat ein Geschäftsmodell für kohlenstoffarmen Wasserstoff zur öffentlichen Konsultation vorgelegt. Das Geschäftsmodell basiert auf einem ähnlichen Ansatz wie CCfDs. Die Regierung will 2023 mit den ersten Projekten beginnen.

### Wasserstoff für Pkw oder Lkw?

Der Straßenverkehr trägt etwa 20 % zu den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus

Energie und zu 75 % zu den verkehrsspezifischen Emissionen bei. Die meisten Dekarbonisierungsbemühungen konzentrierten sich bisher hauptsächlich auf Elektrofahrzeuge (BEV) als Personenkraftwagen. Sie führten zu einer großen Verbraucherresonanz, wodurch der BEV-Markt 2022 ein Allzeithoch erreichte. Schwerlastanwendungen stellen jedoch eine größere Herausforderung für batterieelektrische Fahrzeuge dar. Allein in der EU sind mehr als 6 Millionen schwere Lkw auf den Straßen unterwegs, mit einer prognostizierten Wachstumsrate von mehr als 30 % bis 2050. Diese Fahrzeuge benötigen eine enorme Menge an Energie. Sollen sie alle mit Ökostrom betrie-

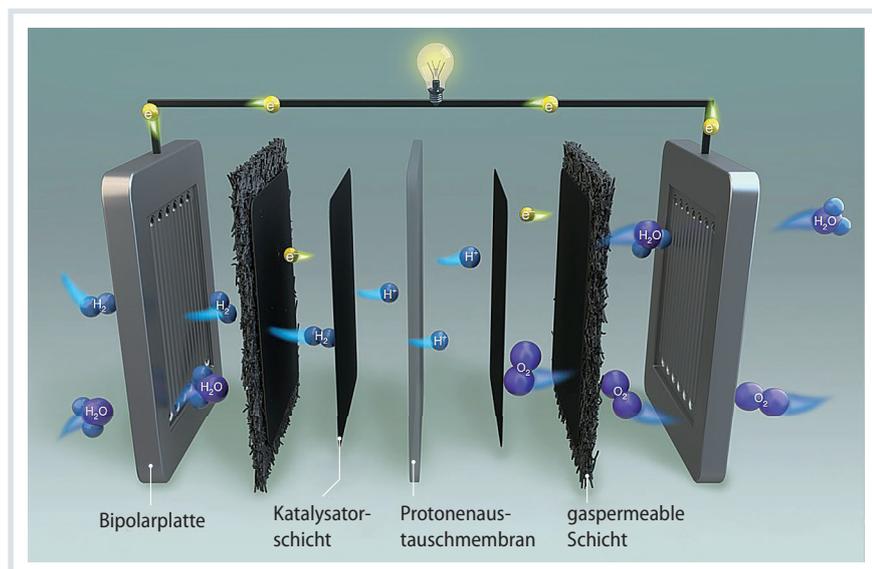
ben werden, ist ein enormer Ausbau der regenerativen Stromerzeugung in der EU erforderlich. Diese grüne Energie würde vollständig diesem Zweck gewidmet und könnte nicht in Haushalten oder Industrie verwendet werden. Der Energieverbrauch der gesamten Lkw in der EU lag 2020 bei etwa 640 TWh im Jahr. Die Herausforderung, den Straßenverkehr zu dekarbonisieren, ist somit enorm.

Während Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) eine große Chance für den kommerziellen Sektor darstellen, ist eine breite Einführung mit Problemen belastet. Aufgrund ihrer hohen Kosten sind sie in Bezug auf die Gesamtbetriebskosten weniger wettbewerbsfähig als BEV oder Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Dadurch sind sie für das Pkw-Segment weniger geeignet. Anders sieht es im kommerziellen Bereich aus. In diesem spielen eine schnelle Betankung und hohe Betriebszeiten eine wichtige Rolle. Deshalb gehen Experten von einer Kostenneutralität bis etwa 2025 für leichte Nutzfahrzeuge [2] und für schwere Diesel-Lkw bis 2031 [3] aus.

### Wasserstoffverbrennung im Auto

Neben Brennstoffzellen beschäftigt sich die Schwerlastwagenindustrie auch mit Wasserstoffverbrennungsmotoren. Ein entscheidender Nachteil bei diesen ist jedoch, dass weiterhin lokale NO<sub>x</sub>-Emissionen entstehen und daher eine sekundäre Behandlung der Abgase des Verbrennungsprozesses (SCR) erforderlich sein kann. Eine kurzfristige Markteinführung von Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor könnte jedoch zur Entwicklung einer Wasserstoffkraftstoffinfrastruktur beitragen und den Weg für die längerfristige Einführung von Brennstoffzellen-Lkw ebnen. Auf diese Weise sind Wasserstoffverbrennungsmotoren und Brennstoffzellen komplementäre Technologien, die beide die Wasserstoffwirtschaft vorantreiben.

Unter den verschiedenen Brennstoffzellenvarianten zieht gegenwärtig die Protonenaustauschmembranbrennstoffzelle (engl. Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) im Transportsektor große Aufmerksamkeit auf sich – insbesondere in Nutzfahrzeugen, die typischerweise mehr als 25 000 Betriebsstunden benötigen. Von den vielen Heraus-



**Bild 4.** Explosionsansicht einer einzelnen Zelle eines Stacks: Die Materialauswahl für die verschiedenen Bestandteile spielt eine sehr wichtige Rolle. Quelle: [4]; Grafik: © Hanser

forderungen auf Komponentenebene ist eine der kritischsten die Auswahl des richtigen Materials für die Komponenten, um die ständig steigenden Anforderungen an Leistungsdichte und Lebensdauer des Brennstoffzellensystems zu erfüllen. DSM Engineering Materials hat unter dem Namen Xytron ein Polyphenylensulfid (PPS) speziell für Brennstoffzellen entwickelt. Es verringert das Auslaugen von Ionen und des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC), ermöglicht eine ausgewogenere mechanische Leistung sowie eine höhere Integration des Brennstoffzellensystems und sorgt letztlich für höhere Leistungsdichten sowie längere Betriebszeiten der Brennstoffzelle.

### Brennstoffzelle vs. Elektromobilität

Brennstoffzellenfahrzeuge sind entscheidend für die Bereitstellung eines kohlenstoffarmen Verkehrs. Es wird erwartet, dass die Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen auf nahezu Null reduziert werden, sobald Wasserstoff mithilfe von Strom aus erneuerbaren Quellen wie Windkraftanlagen und Solarkollektoren hergestellt wird. Da die beiden kohlenstoffarmen Transportoptionen – FCEV und batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) – oft direkt miteinander verglichen werden, ist es wichtig sich zu verdeutlichen, dass Batterien Energiespeichergeräte und Brennstoffzellen Energieumwandlungsgeräte sind. Letztere verwenden

typischerweise Wasserstoff sowohl zur Energiespeicherung als auch zur Umwandlung. Diese beiden erneuerbaren Transportoptionen weisen einige deutliche Unterschiede auf. BEV übertreffen FCEV in puncto Energieeffizienz, die Ladeinfrastruktur sowohl an öffentlichen als auch privaten Standorten ist besser ausgebaut und sie verfügen über niedrigere Systemkosten.

Wasserstoff bietet hingegen mehrere Vorteile im Vergleich zu alternativen Kraftstoffen und BEV im Transportwesen:

- keine Emissionen beim Einsatz in Brennstoffzellen und begrenzte NOx-Emissionen beim Einsatz in Verbrennungsmotoren: Das ergibt einen deutlichen Vorteil gegenüber mineralölbasierten Kraftstoffen.
- wesentlich kürzere Betankungszeiten von etwa 3 min (vergleichbar mit Benzinbetankung): Das stellt gegenüber den langen Ladezeiten von BEV einen erheblichen Vorteil dar.
- längere Fahrstrecken ohne das zusätzliche Gewicht schwerer Batterien: Ein Schwerlast-Lkw der Klasse 8 benötigt für 500 km Reichweite ein Batteriepaket mit bis zu 1800 kWh, das bis zu 8 t wiegt.
- deutlich höhere Wetteranpassungsfähigkeit und geringere Entladekapazität bei Minusgraden: Die Leistung von FCEV bei  $-30\text{ °C}$  ist nachgewiesen.

Diese Unterschiede bestimmen weitgehend, für welche Anwendungen sich die Technologien am besten eignen. »

## Entdecke die Welt grenzenloser Produktentwicklung

**INNEO ermöglicht es Ihnen, Beeindruckendes zu erschaffen!**

Mit unserem großartigen Spektrum für ineinandergreifende CAD/PLM/IoT-Lösungen in allen Phasen und mit allen Beteiligten erhöhen Sie Ihre Effizienz. **Steigern Sie Ihre Innovationskraft!**

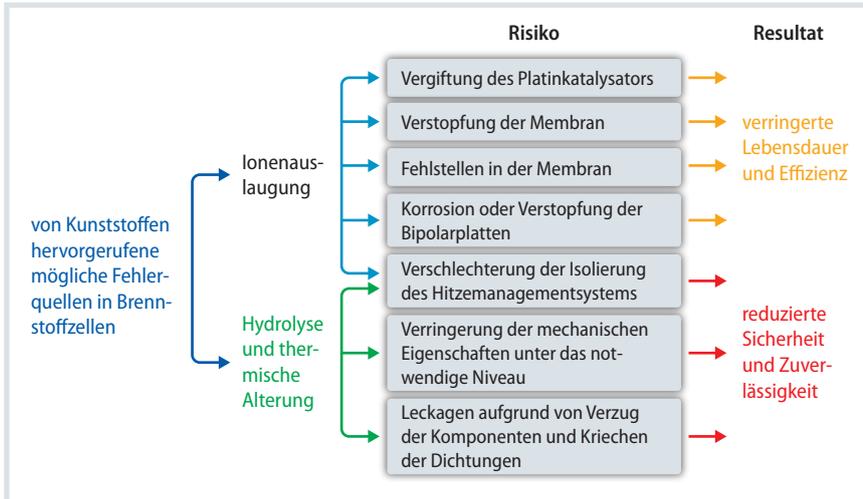


**Jetzt mehr erfahren:**

[www.inneo.de/pe](http://www.inneo.de/pe)



**INNEO**<sup>®</sup>  
That's IT.



**Bild 5.** Potenzielle Defekte in Brennstoffzelle aufgrund einer falschen Kunststoffauswahl: Gerade das Auslaugen von Ionen und die Auswaschung der organischen Kohlenstoffmoleküle stellt ein großes Problem dar. Quelle: DSM; Grafik: © Hanser

BEV erweisen sich als sinnvolle Alternative für Pkw, während FCEV eher für Nutzfahrzeuge geeignet sind (**Bild 2**).

### Passende Materialien auswählen

Ein typisches Brennstoffzellenantriebssystem besteht aus Hochdruckwassertank (mit bis zu 700 bar), einem Brennstoffzellen-Stack, einem zusätzlichen Hochvolt-Lithiumionen-Batteriepack, einer integrierten E-Achse, einem integrierten peripheren Teilsystem, beispielsweise einem Medienverteiler, einer integrierten Isolierplatte, einem Wasserabscheider, einem Luftbefeuchter, einem Ionenaustauscher, Ventilen und weiteren Komponenten (**Bild 3**).

Im Gegensatz zu BEV, die vollständig auf die Leistung von Lithiumionenbatterien angewiesen sind, tragen FCEV ein elektrochemisches Stromerzeugungssystem: den Brennstoffzellen-Stack (BZ), der Wasserstoff und Sauerstoff in Strom umwandelt (**Bild 4**). Wärme und Wasser sind die einzigen Nebenprodukte bei diesem Prozess. Der BZ-Stack als Herzstück des Antriebsstrangs besteht aus Hunderten von Einzelzellen und verschiedenen Komponenten aus Kunststoff oder Metall. Es ist ein sehr ausgeklügeltes Gerät, weshalb externe Kontamination, wie Ionenkontamination und organische Moleküle, seine Haltbarkeit und Effizienz ernsthaft gefährden können. Eine sorgfältige und wohlüberlegte Materialauswahl für den Bau des BZ-Stacks und seines Systems ist deshalb ein

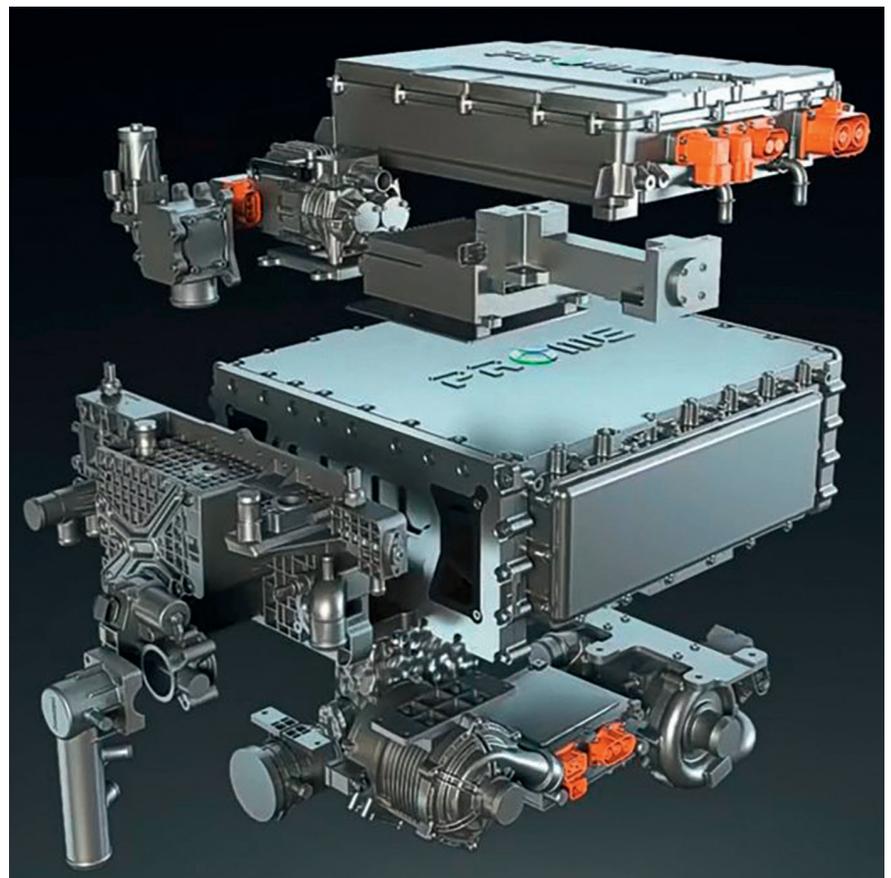
wesentlicher Bestandteil des Entwicklungs- und Herstellungsprozesses.

PEMFC-Systeme arbeiten unter rauen Bedingungen mit Temperaturen von 80 bis 110 °C, bei mildem bis mittlerem Säuregehalt und vollständig feuchten Bedingungen. Verschiedene Materialien

wie Metalle, Gummi und Thermoplaste werden verwendet, um solche Brennstoffzellensysteme zu bauen. Technische Kunststoffe werden häufig aufgrund ihrer einfachen Verarbeitbarkeit, ihres geringen Gewichts und ihrer intrinsischen elektrischen Isolationseigenschaften ausgewählt. Es gibt eine Vielzahl an technischen Kunststoffen, die verwendet werden können.

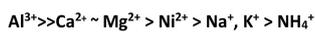
### Risiken einer unsachgemäßen Materialauswahl

Für Brennstoffzellensysteme von Nutzfahrzeugen, die für den Langzeitbetrieb in rauen Arbeitsumgebungen ausgelegt sind, ist die Materialauswahl noch einmal schwieriger. Wichtige Kriterien sind: eine sehr geringe Auswaschung von Ionen und organischer Kohlenstoffmoleküle, eine ausgezeichnete Hydrolyse-, Chemikalien- und mechanische Kriechbeständigkeit sowie eine hohe Dimensionsstabilität. Eine falsche Materialauswahl kann zu katastrophalen Ausfällen der Brennstoffzelle führen (**Bild 5**). Folgende Probleme können auftreten:



**Bild 6.** Für sein Brennstoffzellensystem SHPT Prome P4H nutzt der chinesische Hersteller SHPT ein PPS von DSM. © SHPT

- Ausgelaugte Ionen, Anionengifte und Kationen, insbesondere hochvalente Metallionen, zeigen eine viel höhere Affinität zu Sulfonsäuregruppen (-SO<sub>3</sub>H) als Protonen. Das verringert die Leistungsabgabe des Stacks erheblich. Studien zeigen, dass bereits 5 ppm Al<sup>3+</sup>-Verunreinigungen in der Membran zu einer vollständigen Funktionsstörung der Zelle führen können. In Versuchen konnte DSM folgende Einstufung der Metallkationen im Hinblick auf ihre Affinität zur Sulfonsäuregruppe feststellen:



Das Auslaugen von Ionen im Wärmemanagementsystem beschleunigt auch die Korrosion metallischer Bipolarplatten und verringert das elektrische Isolationsniveau des Fahrzeugs.

- Eine starke Auswaschung der organischen Kohlenstoffmoleküle (TOC), die den Katalysator maskieren und die Gasdispersionschicht (GDL) blockieren, führt zu einer erheblichen Verringerung der exponierten Oberfläche des reaktiven Katalysators und einer geringeren Gasübertragungseffizienz.
- Auch kommt es teilweise zu Verformungen von Bauteilen aufgrund von hydrolytischem Materialabbau und zu einer Verringerung der mechanischen Kriechfestigkeit aufgrund der reduzierten Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>). Das geschieht meistens bei Polyamid-Compounds (PA) und führt schließlich zu Medienleckagen. Dadurch wird die Ausgangsleistung des Stacks verringert und instabil.

Unter verschiedenen Materiallösungen hat sich PPS als der geeignetste Werkstoffkandidat für Brennstoffzellen herausgestellt. Es verfügt über eine sehr gute chemische und hydrolytische Beständigkeit, eine geringe Ionenauswaschung, eine sehr gute mechanische Beständigkeit und eine hervorragende elektrische Isolationseigenschaft in Heißwasserbedingungen. Die von

DSM entwickelten PPS-Compounds unterdrücken das Ionenauslaugen des Materials und verfügen über eine deutlich verbesserte Langzeithydrolysebeständigkeit. DSM hat außerdem mit Xytron G4080HRE ein schlagzähmodifiziertes Compound entwickelt. Es besitzt eine verbesserte Duktilität mit nur geringen Abstrichen bei E-Modul und Festigkeit im Vergleich zum vorherigen PPS-GF40-Compound Xytron G4080HR. Die Xytron-PPS-Compounds von DSM verfügen über eine geringere Ionenauswaschung, eine hohe hydrolytische und chemische Beständigkeit, eine sehr gute

mechanische Kriechfestigkeit und ausgewogene mechanische Eigenschaften. Sie übertreffen dadurch vergleichbare PPS-Compounds (**Tabelle**).

### Vorhersage des Materialverhaltens

Durch systematische wissenschaftliche Studien hat DSM mehr als 10 000 Materialmessdaten von Brennstoffzellenbetriebsbedingungen gesammelt. Daraus konnte DSM zwei Vorhersagemodelle entwickeln: Das erste berechnet die mechanische Retention des Materials in Wasser und »



## On the road together towards sustainability: a new story

An engineering polymer with reduced environmental impact made of recycled polyamide and featuring excellent technical performance. A safe and certified product according to the latest regulations: this is Renycle®.

**What about you? What will your Renycle® story be?**



[www.radicigroup.com](http://www.radicigroup.com)

	Xytron G4080HR (PPS-GF40)	Xytron G4080HRE (schlagzäh-modifiziertes PPS-GF40)	PA66-GF35 (hitze-stabilisiert)	PPA6T-GF35	PA9T-GF30	PEEK-GF30	PPSU
Ionen-auslaugung (bei 90 °C in destilliertem Wasser)	+	+	-	○	○	+	+
TOC-Auswaschung	+	+	-	△	△	+	+
Rückhaltevermögen (bei 95 °C in Wasser)	+	+	-	○	○	+	+
Rückhaltevermögen (in heißem Wasser/Glykol)	+	+	-	○	○	+	+
Glasübergangstemperatur (trocken)	90 °C	90 °C	≈65 °C	≈147 °C	≈127 °C	≈155 °C	>180 °C
Glasübergangstemperatur (bei 90 °C in Wasser)	90 °C	90 °C	<-10 °C	≈65 °C	≈70 °C	≈155 °C	>180 °C
Wasseraufnahme [Gew.-%]	<0,5 %	<0,5 %	≈6,1 %	≈4,0 %	≈2,1 %	<0,5 %	<0,5 %
Dimensionsstabilität (im Betrieb)	+	+	-	△	○	+	+
Kriechbeständigkeit (in heißem Wasser)	+	+	-	△	△	+	○
Verarbeitbarkeit	+	+	-	△	○	△	△
Oberflächengüte (nach Formgebung)	+	+	-	△	○	△	+
Oberflächengüte (nach längerem Betrieb)	+	+	-	△	○	+	+
elektrische Isolationseigenschaften (im Betrieb)	+	+	-	○	○	+	+
Preis	○	○	+	○	○	-	-

Leistungsindikator

-
△
○
+

schlecht → gut

**Tabelle.** Vergleich verschiedener Polymere in den für Brennstoffzellen üblichen Arbeitsbedingungen Quelle: DSM

## Info

### Text

**Dipl.-Ing. Yu Bin** ist Global System Expert E-Mobility bei DSM Engineering Materials; bin.yu@dsm.com

**Dr. Bert Keestra** arbeitet als Global System Expert Tanks and Containers bei DSM Engineering Materials; bert.keestra@dsm.com

**Dr. Tamim P. Sidiki** ist Global Marketing Director Mobility bei DSM Engineering Materials; tamim.sidiki@dsm.com

### Service

[www.dsm.com](http://www.dsm.com)

### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

Wasserglykolmischungen über einen langen Zeitraum, was eine präzise Vorhersage der Materialeistung über 80 000 h ermöglicht. Das zweite ist ein Modell zur Vorhersage der Zellpolarisationskurve und prognostiziert die Brennstoffzelleneffizienz bei Ionen- und TOC-Auslaugung im Laufe der Zeit. Dieses grundlegende Wissen ermöglichte es DSM, seine Produkte für Brennstoffzellen deutlich zu verbessern. Sie übertreffen dadurch andere vergleichbare Polymere in Bezug auf Hydrolysebeständigkeit, Ionen- und TOC-Auswaschung, langfristiges mechanisches Kriechen, Ermüdung und Dimensionsstabilität.

Die entwickelten PPS werden bereits von verschiedenen Unternehmen für ihre Brennstoffzellensysteme verwendet. Zum Beispiel wählte SHPT, ein chinesischer Hersteller von Brennstoffzellenantriebssträngen, Xytron G4080HRE für seine neueste Brennstoffzellenplattform Prome P4H aus (**Bild 6**).

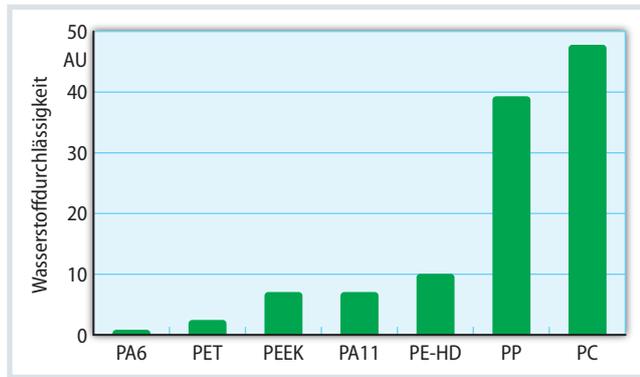
Auch die Wasserstoffspeicherung ist ein wichtiges Element des wasserstoffbetriebenen Antriebsstrangs. Die gewichtsbezogene Energiedichte (J/kg)

von Wasserstoff ist höher als die von Normalbenzin, aber aufgrund seines gasförmigen Charakters bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck hat es eine sehr geringe volumenbezogene Energiedichte.

### Die Schwierigkeiten der H<sub>2</sub>-Speicherung

Die Industrie hat mehrere Optionen untersucht, um diese Herausforderung zu bewältigen und eine mit vollelektrischen sowie benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen vergleichbare Reichweite zu gewährleisten. Über die Lösung, den Wasserstoff zu komprimieren und in einem Druckbehälter zu speichern, scheint sich nun ein Konsens anzubahnen. Um das Gewicht des Druckbehälters zu reduzieren, wird ein sogenannter Typ-IV-Druckbehälter gegenüber einem aus Stahl oder aus einem Stahl-Aluminium-Composite-Hybrid (Typ I–III) bevorzugt. Typ-IV-Druckbehälter werden hergestellt aus einer thermoplastischen Auskleidung, um die Barriereigenschaften zu steuern, und einer duroplastischen Verbundschicht auf Kohlefaserbasis, um

**Bild 7.** Wasserstoffpermeation verschiedener Materialien: PA6 erreicht im Vergleich die besten Werte. Quelle: DSM; Grafik: © Hanser



dem hohen Druck standzuhalten. Sowohl PA als auch PE werden bei der Herstellung solcher Auskleidungen als Polymermaterialien betrachtet. Bei PA sind die am häufigsten in Betracht gezogenen Materialien PA6- und PA11-Compounds.

#### PA6, PA11 oder doch lieber PE?

Beim intrinsischen Permeationsverhalten ist PA6 PE-HD um den Faktor 10 und PA11 um den Faktor 7 überlegen (**Bild 7**). Auch schlagzähmodifizierte PA6-Compounds, wie Akulon Fuel Lock von DSM, kommen auf eine deutlich bessere Barriereleistung als PA11 und PE-HD. Bei Analysen des Permeationsverhalten mit molekularen Simulationen zeigte sich, dass sehr wahrscheinlich der Unterschied mit der Löslich-

keit des Wasserstoffs in den Polymermaterialien skaliert und die Löslichkeit mit der Konzentration oder Dichte von Amidbindungen, oder deren Fehlen im Fall von PE-HD, in den Polymerketten.

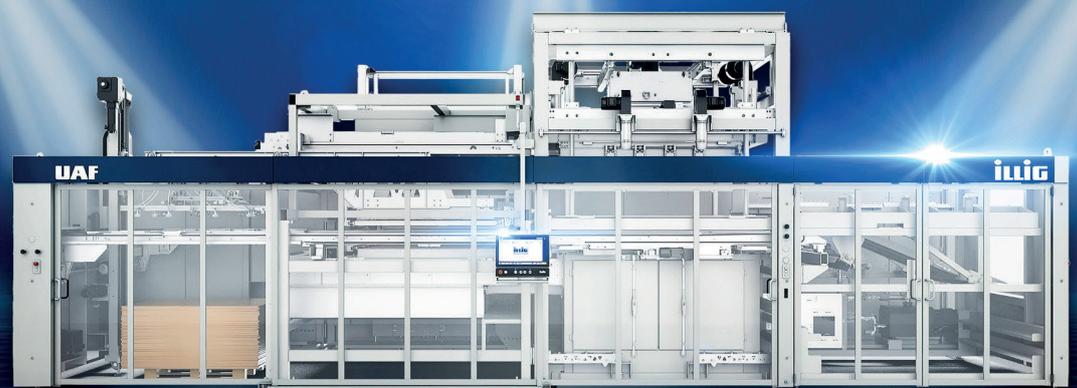
#### Zusammenfassung

Die Herstellung und Nutzung von grünem Wasserstoff bieten eine neue Möglichkeit emissionsfreier Energie und einer möglichst geringen Umweltbelastung. Das trägt zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Gesellschaft bei. Die PEMFC-Technologie kann eine Antwort für den Verkehrssektor sein. Sie ist nicht auf den Automobilssektor beschränkt, sondern kann auf Gabelstapler, Flugzeuge, Züge, Boote und Drohnen angewendet werden. Zusammen mit

der Produktion und Speicherung von grünem Wasserstoff bildet das eine Technologieplattform mit enormen Möglichkeiten. Viele Länder treiben bereits ehrgeizige Wasserstoffpläne voran.

Um diese neuen Herausforderungen anzugehen, hat DSM sein Polymerportfolio speziell für den Wasserstoffbereich erweitert. Das Ergebnis sind die Xytron-PPS für Brennstoffzellensysteme und die Akulon-Fuel-Lock-Familie für die Wasserstoffspeicherung bei hohen Drücken. Ziel ist es, die Entwicklung zuverlässiger Brennstoffzellenantriebe für den gewerblichen Verkehr und die Wasserstoffherzeugung aus der Elektrolyse zu unterstützen. Die Xytron-PPS-Reihe umfasst Produkte mit ausgewogener mechanischer Leistung, sehr langer Ionen- und TOC-Auswaschung, superhydrolytischer Beständigkeit, sehr guter mechanischer Kriech- und Ermüdungsleistung nach Alterung und sehr guten elektrischen Isolationseigenschaften unter den Betriebsbedingungen von Brennstoffzellen. Akulon Fuel Lock bietet die niedrigste Wasserstoffpermeation aller getesteten Materialien und gleichzeitig eine sehr gute mechanische Leistung, auch bei niedrigen Temperaturen. Zusammen decken die Produktreihen das gesamte Wasserstoffsystem in Verkehrsanwendungen ab. ■

**WELT-  
PREMIERE  
DER  
UAF**



#### Platten-Thermoformmaschine

- ! Automatisch verstellbare Spannrahmen/Formflächen
- ! Kurze Taktzeiten durch Vorheizung
- ! Maschinengrößen für gängige Plattenformate

**illig**  
illig.com