

FOTO: MARCUS MILLO/GETTY IMAGES

Hype oder Hoffnungsträger?

Grüner Wasserstoff

Grüner Wasserstoff gilt als Erdgas von morgen. Die aktuelle Energiekrise und die weltweiten Klimaschutzziele lassen einen Wasserstoff-Boom erwarten – doch der Turbogang ist noch lange nicht eingelegt

VON MONIQUE OPETZ

Grüner Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft: als alternativer Treibstoff in der Brennstoffzelle, in Form von E-Kerosin für den Flugverkehr oder als Erdgas-Ersatz für eine CO₂-freie Stahl- und Chemieindustrie. Bei seiner Verbrennung entstehen nur Wasserdampf und Energie, aber keine umweltschädlichen Emissionen. Insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Energiepreise aufgrund des russischen Angriffs auf die Ukraine ist grüner Wasserstoff als Alternative zu Öl und Gas heiß begehrt.

Grün und klimaneutral ist Wasserstoff dann, wenn für die Herstellung erneuerbare Energiequellen, wie Sonne oder Wind, genutzt werden. Er wird durch Elektrolyse gewonnen, eine Power-to-X-Technolo-

gie, bei der mittels elektrischer Energie Gase, Wärme oder flüssige Energieträger entstehen. Dabei werden Wassermoleküle in ihre Grundbestandteile Wasserstoff und

Sauerstoff aufgespalten. Der Sauerstoff landet anschließend in der Atmosphäre und der CO₂-neutrale, gasförmige Wasserstoff wird in bestehende Gasnetze eingespeist oder zu Methan aufbereitet. Überschüssige erneuerbare Energie ist in Form von grünem Wasserstoff also speicherbar und kann transportiert werden – zur Wärme- oder Stromerzeugung, in der Industrie oder für den Verkehr.



GREEN CHIPS

Neue Technologien für eine klimaneutrale Zukunft

Forschungseinrichtungen, Unternehmen, soziale Initiativen, Tüftler oder Erfinder versuchen den Klimawandel zu stoppen. Sie alle haben eines gemeinsam: Sie sind getrieben von modernsten Technologien. CHIP stellt sie in dieser Rubrik vor

Wasserstoffdorf im Testlauf

Ein Pilotprojekt, bei dem das bereits funktioniert, ist das Wasserstoffdorf Bitterfeld-Wolfen, das kürzlich den Innovationspreis der deutschen Gaswirtschaft für ein 1.400 Meter langes Verteilnetz für reinen Wasserstoff erhielt. Ein Team der



FOTO: PETERSCHREIBER/MEDIA/GETTY IMAGES

Windkraft ist
essentiell
Grüner Wasserstoff
ist nur mit dem
Ausbau erneuerbarer
Energiequellen
möglich

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig testet seit Mai 2019 mit der Mitteldeutschen Netzgesellschaft Gas mbH und der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH unter realen Bedingungen, wie Wasserstoff in Bitterfeld-Wolfen sicher, umweltverträglich und kostengünstig verteilt werden kann. Der Wasserstoff wird auf einer Testfläche von 12.000 Quadratkilometern transportiert und für Haushalte sowie Gewerbe eingesetzt.

Der Hintergrund: Die europäischen Gasnetzbetreiber wollen bis 2040 ein Wasserstoffnetz betreiben und dafür Teile der heutigen Infrastruktur umstellen oder weiterentwickeln. Eine wesentliche Erkenntnis auf dem Weg dorthin lieferte das Wasserstoffdorf bereits: Die vorhandene Erdgasinfrastruktur kann nach Anpassungen auch für Wasserstoff genutzt werden. Die Forschenden haben jedoch festgestellt, dass die in bisherigen Rohrleitungen verwendeten Kunststoffe teilweise an den Wasserstoff abgegeben werden. Das ist

insbesondere dann problematisch, wenn besonders reiner Wasserstoff notwendig ist, etwa für Brennstoffzellen. Welche Materialien sich für den Transport eignen und wie sie sich langfristig bewähren, ist bisher noch offen.

Wasserstoff-Fahrplan

Diese und weitere Aspekte für eine funktionierende Wasserstoffinfrastruktur hat die Bundesregierung in der Nationalen Wasserstoffstrategie festgehalten. Die Bundesregierung schätzt den Bedarf an Wasserstoff bis 2030 auf etwa 90 bis 110 Terrawattstunden. Dafür sind in Deutschland Produktionsanlagen und die dafür benötigten Offshore- und Onshore-Anlagen von bis zu fünf Gigawatt-Gesamtleistung geplant. Bis zu 14 Terrawattstunden grüner Wasserstoff sollen dann jährlich in Deutschland produziert werden – und dies im Idealfall kostengünstig.

Bis jetzt ist die Herstellung des grünen Wasserstoffs teuer und hängt entschei-



FOTO: OLLO/GETTY IMAGES

CO₂-Schleuder Stahlindustrie
Speziell in der Stahl- und Chemieindustrie können mit grünem Wasserstoff Treibhausgasemissionen reduziert werden.

dend mit dem Preis des dafür verwendeten Stroms zusammen. Neben der Herstellung muss Deutschland eine Infrastruktur, Verteilnetze und die dafür benötigten Technologien bereitstellen. Dazu zählt auch, die Industrie auf wasserstoffbasierte Produktionsprozesse umzustellen.

Internationale Kooperationen

Da Deutschland seinen Bedarf an grünem Wasserstoff nicht allein decken kann, setzt die Bundesregierung auf internationale Partnerschaften, etwa mit Australien und Afrika, um grünen Wasserstoff per Pipelines oder Container zu importieren. Ab 2023 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) vier deutsch-namibische Wasserstoff-Pilotprojekte, um beispielsweise Use-Cases für Wasserstoff-Anwendungen zu entwickeln – etwa Tankstellensysteme, Schwerlastverkehr, Wasserstoff-Speicherung oder die Meerwasser-Entsalzung.

Denn so gut die Bedingungen in südlichen Ländern sind, um Wind- und Solarenergie zu erzeugen, so problematisch sieht es mit der Verfügbarkeit von Wasser aus. Immerhin werden für die Herstellung von einem Kilogramm Wasserstoff neun Liter Wasser benötigt. Namibia ist das trockenste Land der Subsahara-Region. Lösungen zur Meerwasser-Entsalzung sind demnach mehr als gefragt. Eine Machbarkeitsstudie soll hier neue Ansätze erforschen. Laut BMBF zeigen Analysen, dass eine Meerwasserentsalzung die Gesamtkosten für Wasserstoff nur sehr gering beeinflusst.

Welche Wasserstoffarten gibt es?

Wasserstoff ist grundsätzlich farblos. Die Farbeinteilung bezieht sich auf die Herstellungsarten und die damit verbundene CO₂-Bilanz.

> **Grüner Wasserstoff** wird durch die Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen. Es entstehen keine schädlichen Treibhausgase, da grüner Wasserstoff CO₂-frei ist.

> **Blauer Wasserstoff** wird überwiegend aus Erdgas hergestellt. Er ist CO₂-neutral, da das bei der Herstellung entstandene CO₂ abgeschieden und unterirdisch gelagert wird (Carbon Capture and Storage).

> **Grauer Wasserstoff** ist bereits in der Chemieindustrie im Einsatz. Per Dampfreformierung entsteht unter Hitze Wasserstoff und CO₂ – mithilfe von fossilen Energiequellen. Pro Tonne Wasserstoff werden zehn Tonnen CO₂ in die Atmosphäre abgegeben.

> **Türkiser Wasserstoff** wird durch die thermische Spaltung von Methan gewonnen. Anstelle von CO₂ entsteht fester Kohlenstoff. Wenn die Wärme für den Hochtemperaturreaktor aus erneuerbaren Energiequellen stammt und der Kohlenstoff weiterverwendet werden würde, wäre türkiser Wasserstoff klimaneutral.



Wasserstoff-Tankstellen
Rund 100 H₂-Tankstellen gibt es derzeit in Deutschland

Dass internationale Partnerschaften diesen Namen auch verdienen, forderte Entwicklungsministerin Svenja Schulze bei der letzten UN-Klimakonferenz: Viele Entwicklungsländer böten zwar beste Produktionsbedingungen für grünen Wasserstoff, es müsse aber dafür gesorgt werden, dass diese nicht aus den Wertschöpfungsketten der Zukunft ausgeschlossen werden. Die Wasserstoffwirtschaft müsse gerechter werden als die fossile Wirtschaft, verlangte sie. Um die weltweiten Klimaziele zu erreichen, muss also nicht nur die Produktion, sondern auch der Einsatz von grünem Wasserstoff in Entwicklungsländern gefördert werden.

Niedrige Energieeffizienz

Eine der größten Anlagen zur Wasser-

stoffproduktion in Deutschland steht im bayerischen Wunsiedel. Sie kann bis zu 1.350 Tonnen grünen Wasserstoff pro Jahr herstellen, der an regionale Industrie- und Gewerbebetriebe geliefert werden soll, etwa an Transportunternehmen, Automobilzulieferer oder an die Glas- und Keramikindustrie. Auch weiterverarbeitet als Treibstoff soll der dort produzierte grüne Wasserstoff verwendet werden.

Die Anlage könnte 400 wasserstoffbetriebene Schwerlast-Lkw ein Jahr lang täglich mit klimaneutralem Treibstoff für 150 Kilometer versorgen. Vorausgesetzt, es gibt genügend Strom aus erneuerbaren Energiequellen, wie Solarparks und Windkraftanlagen. Denn ein Knackpunkt bei der Herstellung von Wasserstoff ist die niedrige Energieeffizienz: Für die Elektrolyse

wird sehr viel Energie benötigt, sodass die Anlagen im Vergleich sehr viel mehr Strom verbrauchen als sie Wasserstoff liefern. Die Bundesregierung geht jedoch davon aus, dass bei serienmäßig hergestellten Elektrolyseuren rund 70 Prozent der Energie, die für die Elektrolyse benötigt wird, auch in Wasserstoff gebunden wird. Der Haken: Diese Elektrolyseure sind aktuell noch nicht verfügbar.

H₂-Schwerlast-Lkw in der Schweiz

Ein Nachbarland, in dem bereits wasserstoffbetriebene Lastkraftwagen über die Straßen rollen, ist die Schweiz. 47 Lkw sind seit 2020 auf Schweizer Autobahnen unterwegs und machen den Güterverkehr dort ein Stück weit nachhaltiger. Vier Millionen Kilometer liegen bereits hinter ihnen. Möglich macht dies das Schweizer Unternehmen „H2Energy“, das ohne Förderprogramme und ohne staatliche Subventionen den Schwerlastverkehr allmählich umkrempelt. An der Umrüstung sind mehr als 20 Tankstellenbetreiber, Logistiker, Wasserstoffproduzenten und weitere Akteure beteiligt, die eigentlich Konkurrenten sind. Seit kurzem liefert der Firmenverbund auch Wasserstoff-Lkw für den deutschen Markt.

Wasserstoff tanken

Damit diese allerdings bei uns fahren können, muss das H₂-Tankstellennetz ausge-

Interview

> Wann kann grüner Wasserstoff in Deutschland fossile Energien ersetzen?

Wir werden den Einsatz von grünem Wasserstoff bereits in den nächsten zehn Jahren erleben. Die Nationale Wasserstoffstrategie strebt an, ab 2030 mit einer geplanten Zehn-Gigawatt Elektrolyseurkapazität eine Million Tonnen grünen Wasserstoff jährlich zu produzieren. Hier ist zunächst angedacht, den Wasserstoff in der Industrie einzusetzen, um die fossilen Energieträger allmählich zu ersetzen.

> Wie sieht es beim Verkehr aus?

Parallel dazu wird es wahrscheinlich Aktivitäten im Verkehr geben. Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden ja schon sehr lange diskutiert. Hier sprechen wir zunächst von Bussen, Schwerlastverkehr, Zügen



Prof. Dr. Peter Strasser, Leiter des Fachgebiets Elektrochemie und Elektrokatalyse an der Technischen Universität Berlin

und vielleicht auch SUVs. Ich selbst fahre einen Wasserstoff betriebenen SUV.

> An welcher Stelle hakt es noch, um grünen Wasserstoff zeitnah, etwa gegen die aktuelle Energiekrise, einzusetzen?

Uns fehlen unter anderem die passenden Endgeräte, um beispielsweise Wärme in der Industrie aus Wasserstoff statt aus Erdgas zu erzeugen. Es ist mit einem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbun-

den, diese Brenner von Erdgas auf Wasserstoff umzurüsten oder auszuwechseln. Das ist wie mit der Heizung zu Hause: Es gibt bereits Wasserstoffbasierte Heizungssysteme für Privatwohnungen, aber die sind teuer, und es ist natürlich nicht jeder bereit und in der Lage, sie diesen Winter auf die Schnelle auszuwechseln. Zudem müssen Infrastrukturen, insbesondere die Zuleitungen betrachtet werden. Es gibt in Deutschland glücklicherweise schon ein existierendes Netz mit Wasserstoff-Pipelines für die Industrie, was in Westdeutschland große Ballungszentren miteinander verbindet. Aber das müsste natürlich ausgebaut werden.

> Können wir in Deutschland genügend regenerativen Strom für die Herstellung von grünem Wasserstoff erzeugen?

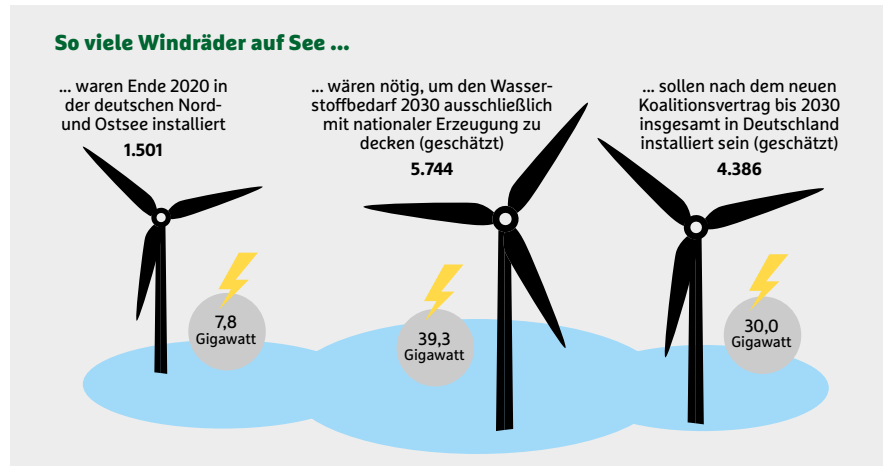
Die Bundesregierung hat sich im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie für

baut werden und genügend grüner Wasserstoff vorhanden sein. Pkw mit Brennstoffzelle können derzeit in Deutschland an rund 100 Wasserstoff-tankstellen betankt werden; ihre Anzahl soll sich bis 2030 verzehnfachen. Auch am Preis muss noch sich etwas ändern: Aktuell kostet ein Kilogramm Wasserstoff rund zwölf Euro. Ein 40-Tonner benötigt sieben Kilogramm für 100 Kilometer; ein Pkw ein Kilogramm. Dabei enthält ein Kilogramm Wasserstoff etwa so viel Energie wie drei Liter Diesel. Bei Schwerlasttransporten auf Wasserstoff zu setzen, erscheint in Anbetracht des CO₂-Ausstoßes sinnvoll. Der Verkehr ist für 20 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen verantwortlich – die Hälfte davon stammt von Nutzfahrzeugen, die schwerer als 26 Tonnen sind.

Tempo und Investitionen nötig

Trotz zahlreicher Initiativen, Pilotprojekte, Kooperationsvorhaben und internationaler Partnerschaften lässt der Turbo in Sachen grüner Wasserstoff noch auf sich warten. Eine aktuelle Studie von Forschenden des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) zeigt, dass grüner Wasserstoff weltweit bis mindestens Mitte der 2030er Jahre noch knapp sein wird.

Denn selbst wenn die Produktionskapazitäten so schnell wachsen würden wie Wind- und Solarenergie, bliebe die Ver-



sorgung mit grünem Wasserstoff kurzfristig knapp und langfristig unsicher. In ihrer Analyse konzentrierten sie sich auf die Elektrolysekapazitäten und nicht auf Anwendungen und Märkte für grünen Wasserstoff. Die aktuellen Geräte seien eher klein und werden noch einzeln hergestellt.

Die Studie prognostiziert, dass grüner Wasserstoff bis 2035 wahrscheinlich weniger als ein Prozent der Endenergie liefern werde. Die EU allerdings plant den Sprung über die Ein-Prozent-Marke bereits etwas früher, nämlich etwa 2030. Das Ziel der EU für 2030, 10 Millionen Tonnen grünen, in Europa hergestellten, Wasserstoff zu liefern, werde damit nicht zu erreichen sein.

Um den Wasserstoff-Durchbruch zu beschleunigen, ist demnach Tempo gefragt. Laut PIK-Analyse sind schnelle Investitionen in Wasserstoff-Versorgungsketten nötig, um die Elektrolyse-Kapazitäten zügig zu erhöhen. Zudem muss klar sein, dass grüner Wasserstoff die fossilen Energieträger nicht komplett ersetzen kann. Laut Umweltbundesamt solle Wasserstoff nur zum Einsatz kommen, wo es technisch nicht möglich sei, erneuerbare Energien direkt zu nutzen und keine effizientere Lösung verfügbar sei: Zum einen als Energieträger in der direkten Nutzung, beispielsweise in der Stahlindustrie, als auch um Methan, Benzin, Diesel oder Kerosin herzustellen. redaktion@chip.de

grünen, das heißt elektrolytisch hergestellten Wasserstoff entschieden. Das bedeutet, wir benötigen sehr viel mehr Photovoltaik- oder Windanlagen als wir bisher betreiben. Momentan diskutiert die Bundesregierung, wie wir die so erzeugte Strommenge erhöhen und dass wir insbesondere vermehrt auf Offshore setzen wollen. Windräder auf See können besonders lange pro Jahr grünen Strom erzeugen. Elektrolyseure an den Windrädern oder an zentraler Stelle würden den Wasserstoff erzeugen.

> Und Windräder an Land?

Auch an Land sollen die Flächen von momentan 0,5 auf zwei Prozent erhöht werden, um Windturbinen oder Photovoltaikanlagen zu installieren. Trotzdem wird das nicht ausreichen, um zukünftig unseren Wasserstoff-Bedarf in Deutschland zu decken. Die Bundesregierung plant

grünen Wasserstoff aus sonnenreichen Ländern zu importieren. Vertragsgespräche dazu laufen bereits.

> Sie und ihr Team haben eine neuartige alkalische Membran-Elektrolyse zur Gewinnung von grünem Wasserstoff entwickelt. Welche Vorteile bietet sie?

Allgemein kommt man bei der alkalischen Membran-Elektrolyse ohne die hochgefährliche Kalilauge aus, die in kommerziellen alkalischen Elektrolyse-Verfahren eingesetzt wird. Wir ersetzen sie durch eine Art Plastikfolie. Diese Membran übernimmt die Funktion der aggressiven Kalilauge. Ein alkalisches Milieu bietet den Vorteil, dass sich viele Elemente, vor allem unedle preiswerte Metalle, stabiler verhalten als in einem sauren Milieu. Bei der bereits existierenden, sauren Membran-Elektrolyse sind recht hohe Mengen an Platin und Iridium

nötig. Iridium ist eines der seltensten Metalle auf der Erde und es werden nur wenige Tonnen pro Jahr in auf der ganzen Welt davon produziert.

> Das Verfahren ist deutlich günstiger – der entscheidende Schritt Richtung Massenproduktion von grünem H₂?

Ja, das Verfahren hat den Vorteil, dass man unedle Metalle wie Nickel, Eisen oder Mangan einsetzen kann, die sich in dem alkalischen Milieu nicht auflösen und sogar zum Teil besser funktionieren als die Edelmetalle. Kombiniert mit den Katalysatorbeschichtungsverfahren und neuen Membranen unserer Projektpartner ist uns ein Zelldesign gelungen, welches der Massenproduktion von grünem Wasserstoff wichtige Impulse geben kann – vorausgesetzt, es gibt genügend regenerativen Strom für dessen Herstellung.