



Kilogramm ist die Mengeneinheit an der Wasserstoff-Zapfsäule.

Text Anja Kummerow **Fotos** Mile Cindrić

Der Hoffnungsträger

Wasserstoff ist eine Zukunftstechnologie, um die Klimaziele zu erreichen. Stadt und Region gelten als Kompetenzzentrum: Viele Einrichtungen forschen, wie der Energieträger Verkehr und Industrie grüner machen kann. Beim Ausbau der Infrastruktur in Bayern kommt Nürnberg eine zentrale Rolle zu.

Der Schreck sitzt. 9,50 Euro zeigt die Zapfsäule pro Einheit an. Erst beim zweiten Mal Hinsehen wird deutlich, dass es sich um Kilo handelt, in denen abgerechnet wird. Insgesamt fünf Kilo passen in den Tank. Unter 50 Euro kostet eine Füllung, die normalerweise für rund 600 Kilometer reicht. So ausgestattet verlässt das Auto schnittig die Tankstelle: geräusch-, vor allem aber emissionsarm.

Peter Wasserscheid, Professor für Chemische Reaktionstechnik an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg, gehört zu den wenigen Menschen in Deutschland, die einen mit Wasserstoff betriebenen Pkw ihr eigen nennen dürfen. Nur rund 300 davon wurden im Jahr 2020 hierzulande neu zugelassen – bei insgesamt knapp drei Millionen Neuzulassungen. Dabei sei die Nachfrage deutlich größer, weiß Wasserscheid. Er musste ein-einhalb Jahre auf sein Fahrzeug warten.

Drei Anbieter gibt es auf dem Pkw-Markt – allesamt aus Fernost: Toyota, Hyundai und Kia. Sie teilen den Markt auch im Autoland Deutschland unter sich auf. Besser lässt sich fast nicht beschreiben, wie es um die Verbreitung der Technologie hierzulande noch bestellt ist – im Vergleich zu Japan, Südkorea oder auch China. Dabei gab es in den vergangenen 60 Jahren immer wieder Ansätze, die glauben machen konnten, dass der Durchbruch dieses Mal gelingt. Am Ende lösten sie sich jedoch – gewissermaßen – fast wieder in Luft auf.

Dieses Mal kann, ja muss es geradezu anders werden. Das Thema Wasserstoff hat sich ausgedehnt und eine breite Masse erreicht. Zahlreiche Wasserstoff-Initiativen wurden rund um den Globus auf den Weg gebracht – von verschiedenen Ländern, aber auch einzelnen Regionen. Schließlich müssen schnelle und vor allem saubere Lösungen her, um den Klimaschutz voranzutreiben und die von der EU-Kommission bis 2030 verordneten Ziele einhalten zu können. Auf der Agenda stehen die Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 sowie den Anteil an Energie aus erneuerbaren Quellen um mindestens 32 Prozent zu steigern. Dabei soll der leichte Wasserstoff, nachhaltig produziert, eine wichtige Rolle spielen. Noch vor der Bundesregierung mit ihrer nationalen Wasserstoff-Strategie legte der Freistaat Bayern Anfang des Jahres 2020 eine eigene auf.

Eine zentrale Rolle kommt dabei Nürnberg zu. Schon Monate zuvor siedelte die Landesregierung hier eine wichtige Schalt- und Schnittstelle an: das Zentrum Wasserstoff.Bayern, kurz H2.B. Zum einen wegen der in und um Nürnberg zahlreich vertretenen Automobilzulieferer, die von der Energiewende samt Wandel besonders stark betroffen sein werden. Auf rund 100 000 Arbeitsplätze beziffert Nürnbergs Wirtschafts- und Wissenschaftsreferent Michael Fraas die Bedeutung allein dieses Industriezweigs für die Region. „Die Wasserstofftechnologien bieten Chancen für Wachstum und Beschäftigung am

Wirtschaftsstandort Stadt und der Metropolregion Nürnberg.“ Firmen wie Schaeffler und Bosch haben sie längst erkannt.

Ein anderer Grund ist die hier vorhandene wissenschaftliche Kompetenz – allen voran um die beiden Professoren der FAU, Veronika Grimm und Peter Wasserscheid, die auch im Vorstand des Zentrums Wasserstoff.Bayern sitzen. So ist die Expertise von Grimm zu Energiemärkten unter anderem im Sachverständigenrat der Bundesregierung gefragt. Sie ist eine der fünf Wirtschaftsweisen. Bei den Forschungen Wasserscheids geht es um Möglichkeiten, Wasserstoff zu speichern (s. S. 22). Denn Wasserstoff ist nur dann dem Klima zuträglich, wenn er „grün“ ist – also aus regenerativen Stromquellen stammt.

Darin kumulieren im Wesentlichen das Problem und die Kernfragen, die über die Zukunft dieser Technologie entscheiden: Wird Wasserstoff eine solche Akzeptanz finden, dass die Umwandlung des Gases, die Speicherung und Transport erst ermöglicht, auch kosteneffizient ist? Wo lohnt sich der Einsatz von Wasserstoff für ein Land wie Deutschland, das – mangels Sonne und kontinuierlich starker Winde – immer mindestens die Hälfte des grün produzierten Wasserstoffs importieren müssen? Welche Infrastruktur ist dafür nötig?



Windräder wie hier in Mausdorf-Pirkach liefern Strom für Grünen Wasserstoff.

Um gemeinsam Antworten darauf zu finden, gehört zu den Hauptaufgaben des Wasserstoff-Zentrums, Wirtschaft und Politik zusammenzubringen, Wissenschaft mit Praxis zu vernetzen. Was das H2.B für ganz Bayern noch werden will, ist mit der Was-

serstoff-Initiative Metropolregion Nürnberg bereits seit 2019 Realität „im Kleinen“. Hierbei bringen die ENERGIEregion Nürnberg e.V. und die Fachforen der Metropolregion über 160 Wasserstoff-Protagonisten aus Nürnberg und der Region zusammen, um die Metropolregion bei der wasserstoffbasierten Energie- und Mobilitätswende möglichst weit vorne zu positionieren. Ziel ist laut Projektleiter Simon Reichenwallner von der ENERGIEregion, dass vor Ort wahrgenommen wird, was hier bereits an Wasserstoff-Kompetenzen vorhanden ist, die ebenso für Wertschöpfung sorgen könnten wie für zahlreiche neue Arbeitsplätze.

„Nürnberg“, so Wirtschafts- und Wissenschaftsreferent Fraas, „hat sich durch den erfolgreichen Ausbau von Forschung, Entwicklung und Netzwerkaktivitäten in den letzten Jahren bereits zu einer Kompetenzregion für Wasserstoff entwickelt.“ So konnte mit einer Kommunikations- und Regionalentwicklungsoffensive für die Wasserstoff-Metropolregion Nürnberg 2020 zudem Fördergeld vom Bayerischen Heimatministerium hierhergeholt werden.

Wie groß die Vielfalt an bayerischen Akteuren ist, die nicht nur Interesse am Thema haben, sondern bereits etwas dazu beitragen können, sorgte im H2.B dann doch für Überraschung. „Unter unseren mittlerweile über 180 Mitgliedern sind große Konzerne, gut aufgestellte Mittelständler ebenso wie Start-ups, aber auch Banken, die sich mit grünen Geldanlagen beschäftigen“, sagt Fabian Pfaffenberger, der die Öffentlichkeitsarbeit am H2.B leitet. „Zu den auffallendsten Akteuren gehört sicherlich die NürnbergMesse. Hier hatte man für das Thema schnell eine klare Vision.“ Diese heißt: „Hydrogen Dialogue“ – eine Veranstaltung, die sich den Austausch und Wissenstransfer rund um das Thema Wasserstoff zum Auftrag gemacht hat. Die ersten Begegnungen von Experten und Interessenten in Nürnberg im Jahr 2020 mussten aufgrund von Corona ins Netz verlagert werden – was dem Erfolg keinen Abbruch tat. Im Gegenteil. So wurde der zweite Kongress „Hydrogen Dialogue“ nur neun Monate später im Juni 2021 gleich auf zwei Tage ausgedehnt.

Neben Unternehmen und Verbänden sind beim „Hydrogen Dialogue“ auch die Kommunen stark vertreten. Schließlich kann Wasserstoff auch für sie künftig eine große Rolle spielen – bei der Bereitstellung von Energie etwa oder in der Mobilität. Dabei wird allerdings auch deutlich, dass Wasserstoff in dieser Dekade im Leben der meisten Menschen noch wenig bis gar nicht präsent sein wird.

Typen nach Farben



Grau

Gewinnung zu 100% aus fossilen Brennstoffen. Kohlendioxid (CO₂) wird in die Atmosphäre freigesetzt.



Blau

Gewinnung zu 100% aus fossilen Brennstoffen. CO₂ wird bei der Entstehung aufgefangen und gespeichert oder genutzt.



Grün

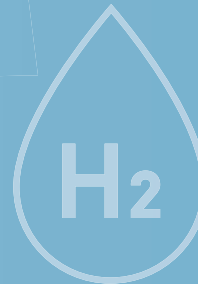
Gewinnung durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energien. O₂ entsteht als Nebenprodukt.



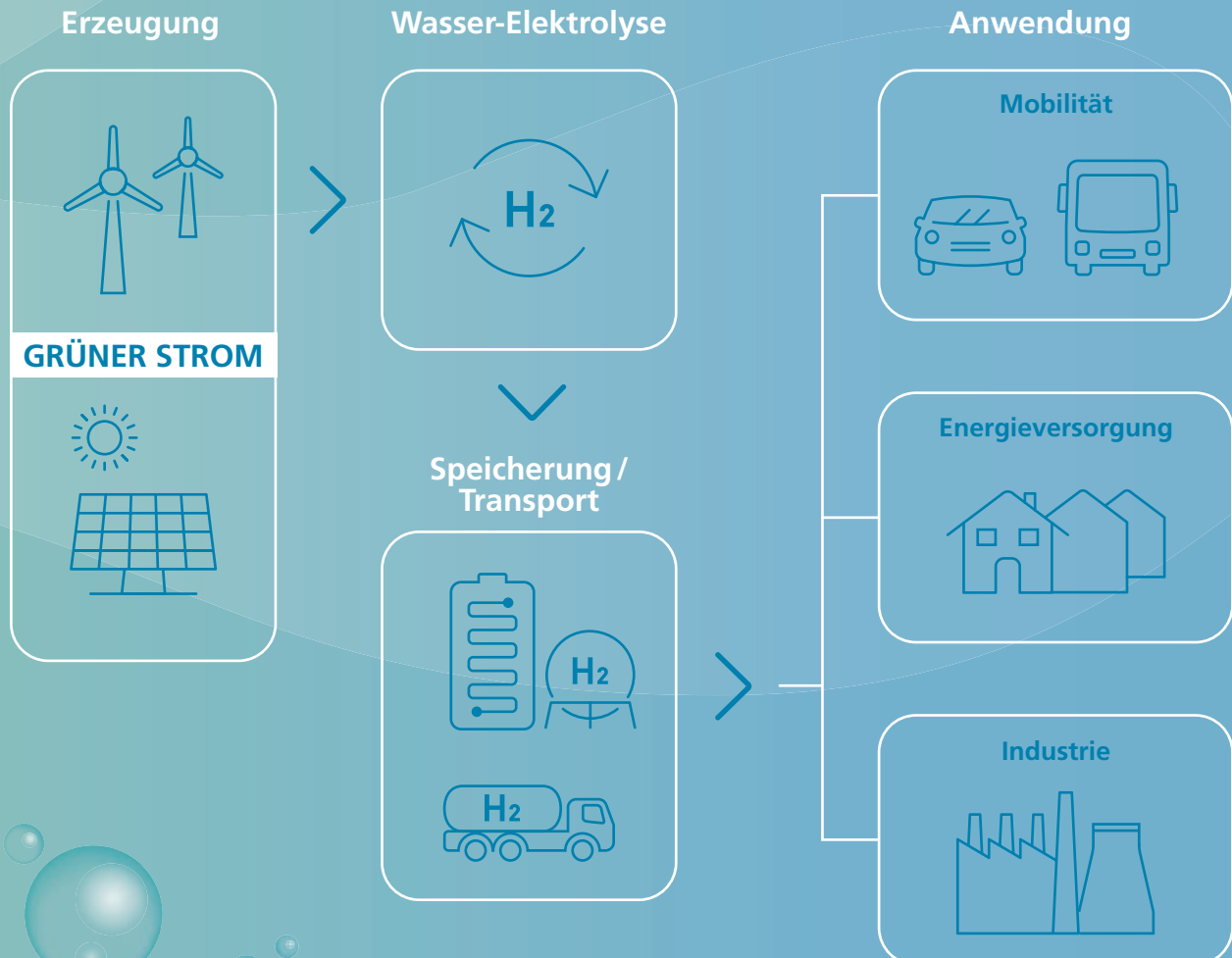
Türkis

Gewinnung durch thermische Spaltung von Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff, der weiter genutzt wird.

WASSERSTOFF



Was Grüner Wasserstoff kann





Teilausschnitt eines Elektrolyseurs mit Wasserstoff-Auslass.

„Bei der Wärmeversorgung wird das Thema Wasserstoff aktuell leider noch zu sehr im politischen Diskurs vernachlässigt“, heißt es bei der N-Ergie dazu. Dabei wäre es rein technisch jetzt schon möglich, 20 Prozent Wasserstoff der Erdgasversorgung beizumischen. Dennoch würden in Nürnberg bereits die Weichen für die Technologie gestellt – in dem bereits das Heizkraftwerk Sandreuth für die Nutzung von Wasserstoff fit gemacht wird. „Keine Technologie wird bei uns ausgeschlossen. Aber Brennstoffzellen und Wasserstoff sind noch keine Alternativen zu Elektrobussen“, sagt Elisabeth Seitzinger, Presssprecherin der Verkehr-Aktiengesellschaft VAG. Die ersten sieben E-Busse sind bereits im Einsatz, weitere 39 kommen 2021 dazu, bis 2023 weitere 46. Durchschnittlich zwölf bis 14 Jahre betrug die Verweildauer eines Busses bislang. Bis die nächste grundlegende Modernisierung der Flotte ansteht, vergehen also noch mindestens zehn Jahre. Dann könnte die Wasserstoff-Technologie so weit gedie-

hen sein, dass Brennstoffzellen-Busse in Frage kommen.

Dafür stehen die Verkehrsbetriebe neben anderen Herstellern auch in engem Kontakt mit dem Nürnberger Motorenwerk von MAN. Wo natürlich ebenfalls am Thema geforscht und entwickelt wird. Seit Oktober 2010 sogar im Wasserstoff-Campus, der auf dem Gelände des MAN-Dieselmotorenwerks in der Vogelweierstraße eingerichtet wurde. Hier gibt es ein Labor und Prüfstände, in und an denen Mitarbeiter der MAN Truck & Bus gemeinsam mit Wissenschaftlern und Studierenden der FAU sowie der Technischen Hochschule Nürnberg forschen und testen. Doch erst ab einem Gewicht von 20 Tonnen und einer Reichweite von 200 Kilometern gelten wasserstoffbetriebene Brummies den E-Trucks gegenüber gemeinhin im Vorteil.

Zu den Schwierigkeiten im Pkw-Bereich zählt zum einen die Ausbeute, Wirkungsgrad genannt. Dieser liegt im Pkw bei Benzin bei 20 Prozent und für Wasserstoff bei 27 Prozent. Bei Elektroautos hingegen sind es 65 Prozent der Energie, die sich in Fahrleistung verwandeln lassen. Die zweite große Hürde ist eben, wirklich genügend Wasserstoff auf „grüne“ Weise produzieren zu können. Noch aber werden weltweit 70 bis 80 Megatonnen, rund 90 Prozent des Wasserstoffs, „grau“ produziert – aus fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Öl. Ein Prozess, der viel umweltschädliches Kohlendioxid freisetzt.

Um den Energiehunger der Welt mit Wasserstoff aus nachhaltig produziertem Strom zu stillen, „müssten fünf Prozent der Sahara oder zehn Prozent Australiens mit Solarzellen bedeckt oder auf 1,5 Prozent der Fläche des Pazifischen Ozeans Offshore-Windanlagen aufgestellt sein“, weiß Peter Müller-Baum, Geschäftsführer der AG Power-to-X for Applications im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau. „Es gibt unendlich viele Anwendungen, für die unsere Mitglieder Lösungen haben“, sagt Müller-Baum. „Das können Maschinen zur Herstellung von Komponenten ebenso sein wie ganze Elektrolyseure. Bei den Maschinenbauern jedenfalls ist das Interesse groß, beim Thema Wasserstoff mitzuwirken.“

Für Siemens Energy kann es ein Milliardengeschäft werden. Dort, wo viele Maschinenbauer hinwollen, ist man in Erlangen bereits: mittendrin in der Produktion von Elektrolyseuren. Die Apparate spalten mittels des nachhaltig gewonnenen Stroms, der sich an der Natur und nicht an der Nachfrage orientieren muss, das Wasser auf: in Wasserstoff und Sauerstoff. „Beide Elemente können verwendet werden“,

beschreibt Natalia Westhäuser den Vorgang. Sie leitet bei Siemens Energy den Bereich Projects des New Energy Geschäfts.

„Power to Gas“ oder „Power to X“ (PtX) heißt der Vorgang. Vor allem Branchen, die für die Erzeugung ihrer Produkte viel Energie verbrauchen und damit auch viel CO₂ produzieren, könnten mit Hilfe von PtX künftig eine grüne Klimabilanz ausweisen: Raffinerien etwa, aber auch Glaserzeuger oder die Chemiebranche. Allen voran aber die Stahlindustrie, die allein in Deutschland jährlich rund 40 Millionen Tonnen CO₂ erzeugt.

Siemens Energy ist schon jetzt in der Lage, die komplette Wertschöpfungskette von Wasserstoff abzudecken: von der Stromerzeugung durch die Herstellung von Windturbinen über die Stromübertragung bis zur Verarbeitung mittels Elektrolyseuren und der Rückverstromung von H₂ mit wasserstofffähigen Gasturbinen. Die Deutsche Bahn will den wasserstoffbetriebenen Zug „Mireo“ von Siemens Mobility ab 2024 testen.

Die Elektrolyseure von Siemens Energy sind auch ein Beispiel dafür, wie schnell die Entwicklung vor-

ranschreitet: „Angefangen haben wir mit hundert Kilowatt. Alle vier bis fünf Jahre wird diese Leistung verzehnfacht“, so Westhäuser. Zehn bis hundert Megawatt Strom kann ein Elektrolyseur inzwischen umwandeln und bis zu zwei Tonnen Wasserstoff pro Stunde produzieren. „Ein Elektrolyseur produziert an einem Tag so viel Wasserstoff, um mit dem Auto zum Mond und zurück zu reisen“, macht sie die Leistung anschaulich.

Die Elektrolyseure stehen zum einen dort, wo der Strom etwa aus Windenergie günstig erzeugt werden kann wie in Chile, um das, was nicht sofort verbraucht wird, in Wasserstoff umzuwandeln. Und sie stehen bei den Kunden vor Ort, etwa bei Stadtwerken, wo Wasserstoff auch beitragen kann, die Netze zu stabilisieren, weil ein Elektrolyseur im Sekundenbereich hochfahren kann“, sagt Westhäuser.

Viele Studien sehen enormes Potenzial in der PtX-Technologie. Die Experten von Frontier Economics rechnen bis zum Jahr 2050 mit einer weltweiten Nachfrage von rund 20 000 Terawattstunden (TWh). Das ist die Hälfte des derzeitigen weltweiten Rohölmarktes. Zum Vergleich: 2019 hat Deutschland insgesamt 512 TWh verbraucht. Die dadurch ausgelös-



Siemens Energy arbeitet an der Zukunftstechnologie: Prozess- und Versorgungstechnik für den Elektrolyseur.

te Wertschöpfung beziffert die britische Beratungsfirma für Mikroökonomik für den ganzen Globus auf bis zu 2 000 Milliarden Euro. Pro Jahr. Eine Summe, die dem Bruttoinlandsprodukt der 120 ärmsten Länder der Welt entspricht. Das hätte auch gewaltige Auswirkungen auf den deutschen Arbeitsmarkt: Mit bis zu 470 000 Arbeitsplätzen rechnen Experten allein in Deutschland durch die PtX-Technologie.

Um diesen Schatz auch in Nürnberg, ja in ganz Bayern zu heben, sind erst einmal bedeutende Investitionen nötig. So hat der Freistaat ein Förderprogramm aufgelegt, mit dem der Ausbau von Wasserstofftankstellen vorangetrieben werden soll. „Wenn Wasserstoff eine ernsthafte Alternative auf der Straße werden soll, ist ein flächendeckendes Tankstellen-Netz der erste wichtige Schritt“, formuliert Simone Lang von Bayern Innovativ das Ziel für das flächenmäßig größte Bundesland der Republik. Bayern Innovativ ist Träger vieler Förderprogramme des Freistaates, unterstützt aber auch bei jenen des Bundes und der EU. 50 Millionen Euro will Bayern allein in den Ausbau der Infrastruktur mit Wasserstofftankstellen stecken. Rund 100 Wasserstoff-Tankstellen gibt es bislang in ganz Deutschland. So viele sollen es bald allein in Bayern für die Betankung von Lkw, Bussen oder Sonderfahrzeugen sein.

Nichts weniger als Vorreiter will der Freistaat bei grünem Wasserstoff sein. „Die Zeit ist jetzt reif“, sagt H₂-B-Sprecher Pfaffenberger. Die Chancen, die Wasserstoff-Technologie dieses Mal nachhaltig auf den Weg zu bringen, sind groß wie nie. ■



Im Zukunftsmuseum Nürnberg demonstriert ein Mitarbeiter ein Modell der Wasserstofftechnik.

„Das funktioniert wie eine Pfandflasche“

Bei Peter Wasserscheid ist der Name nahezu Berufung. Er beschäftigt sich damit, Wasserstoff an eine Flüssigkeit zu binden – und wieder davon zu scheiden. Sein Know-how ist sehr gefragt – als Professor der FAU, als Direktor des hiesigen Helmholtz-Instituts für Erneuerbare Energie, als Gründungsgesellschafter der Erlanger Firma Hydrogenious LOHC Technologies und nun auch als Vorstand des Zentrums Wasserstoff.Bayern.

Nürnberg Heute: Herr Professor Wasserscheid. Sie forschen intensiv an Speichermöglichkeiten von Wasserstoff und vor allem an der Technologie LOHC, was abgekürzt für liquid organic hydrogen carriers steht. Worum geht es dabei genau?

Wasserscheid: Diese Technologie bietet eine technische Möglichkeit, um Wasserstoff in einer sehr ähnlichen Form zu handhaben wie heute Öl oder Benzin. Die Grundidee der LOHC-Technik ist, die Infrastruktur des heutigen Kraftstoffsystems – also Tanks, Schiffe, Kesselwagen bis hin zu Tankstellen – in Zukunft für die Verteilung von Grünem Wasserstoff nutzen zu können. Das reduziert Kosten und hilft bei der schnelleren Umsetzung der Energiewende.

Warum sind Speicherung und Transport von Wasserstoff – im Gegensatz zu Öl und Benzin – so schwierig?

Wasserstoff als Element ist ein Gas und das leichteste Element, das das Periodensystem kennt. Die Dichte ist also sehr gering. Die Energiemenge, die sich in einem Liter Volumen bei 25 Grad Celsius und Normaldruck speichern lässt, ist 3 000 mal weniger als bei einem Liter Benzin. Deswegen muss man Wasserstoff, will man ihn technisch nutzen, volumetrisch dichter machen.



Gefragter Experte: Peter Wasserscheid.

Also so komprimieren wie Musik-Dateien mit Hilfe von MP3?

Es geht beim Wasserstoff darum, die Energiemenge pro Volumen zu steigern. Eine Möglichkeit dafür ist die Gasflasche, in die Wasserstoff mit hohem Druck gefüllt wird. Eine weitere ist die Verflüssigung bei sehr tiefen Temperaturen von kleiner minus 250 Grad Celsius. Und eine dritte Möglichkeit ist, den Wasserstoff an ein anderes Molekül chemisch zu binden und in dieser gebundenen Form zu handhaben. Dabei werden CO₂ und Stickstoff als Trägermoleküle betrachtet. Die Bindung an ölartige Flüssigkeiten ist besonders vorteilhaft, um reinen Wasserstoff für eine spätere Anwendung wieder bereitstellen zu können. Diese LOHC-Technologie funktioniert ein bisschen wie eine Pfandflasche. Der Produzent füllt den Wasserstoff in die Flüssigkeit ein und derjenige, der den Wasserstoff haben will, löst ihn aus der Flüssigkeit wieder heraus.

Wie bekommt man den Wasserstoff in die Flüssigkeit?

Das ist nicht so schwer. Wasserstoff kommt mit 30 Bar Druck – dem typischen Druck eines Elektrolyseurs...

...also knapp dem Vierfachen an Druck, den ein guter Espresso braucht.

Das kann man so sehen. Also der Elektrolyse-Produktwasserstoff steht unter ausreichend Druck zur Verfügung. Mit Hilfe eines Katalysators – kleine Keramikstückchen, sogenannten Pellets – wird er den in der wasserstoffarmen Flüssigkeit eingespeichert.

In einem ungefähr drei Meter hohen Apparat rieselt die ölhaltige Flüssigkeit durch das Bett aus den Keramikstückchen in Gegenwart des Wasserstoff-Drucks. Dadurch findet an der Oberfläche der Pellets die Umsetzung statt. Unten aus dem Reaktionsrohr läuft die Wasserstoff-beladene Flüssigkeit heraus. Beim Freisetzen findet der umgekehrte Prozess statt – dann aber mit einem niedrigeren Druck von drei bis vier Bar.

Als Problem von Wasserstoff gilt ja die erhöhte Brennbarkeit. Wird das durch die ölhaltige Flüssigkeit noch erhöht oder minimiert?

Die Flüssigkeit ist schwer entflammbar. Das gilt auch für den an die Flüssigkeit chemisch gebundenen Wasserstoff. Die LOHC-Technologie ist also eine sehr sichere Form der Wasserstoff-Bereitstellung, was insbesondere für die Lagerung und den Transport größerer Mengen sehr wichtig ist.

Wie viele Technologien „streiten“ um die Marktführerschaft?

Der globale Umstieg von fossilen Energieträgern auf nachhaltige Energieerzeugung ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, die hohe Investitionen erfordert. Der Umstieg muss zudem schnell realisiert werden, um die gewünschten Effekte für den Klimaschutz zu haben. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig und richtig, dass es mehr als eine Technologie gibt. Bei Wasserstoff selbst gibt es etwa eine Handvoll Technologien: Hochdruck-Wasserstoff für kurze Entfernungen und kleine Mengen. Oder Wasserstoff in Form von Methanol, Ammoniak oder eben LOHC. Ja – diese Technologien sind in Konkurrenz zueinander, ungefähr so wie im fossilen System Kohle, Gas und Benzin. Das eine wird vor allem für Kraftwerke eingesetzt, das andere für Haushalte, das dritte für die Mobilität. Auch bei Grünem Wasserstoff wird sich je nach Anwendung und abhängig von regionalen Voraussetzungen die eine oder andere Variante durchsetzen. Am Ende brauchen wir aber eine breite Technologiebasis und auch die Konkurrenz unter den Technologien, um ein stabiles und kostengünstiges System hinzubekommen.

Wo kommt LOHC denn schon zum Einsatz?

In verschiedenen technischen Demonstratoren. Die größte Anlage bauen Hydrogenious LOHC Technologies und Covestro gerade in Dormagen. Sie soll 2023 in Betrieb gehen und 1 800 Tonnen Wasserstoff jährlich in LOHC einspeichern – das reicht für mehr als 300 000 Pkw-Betankungen und mehr als 50 000 Busbetankungen.