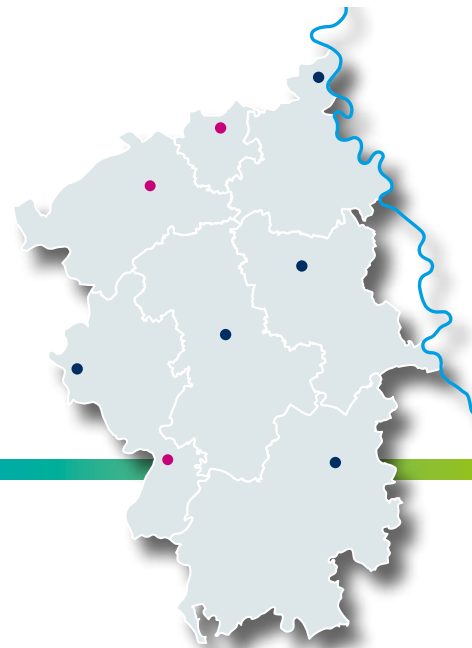


Die Wasserstoffzeitung für das Rheinische Revier

H₂REVIER

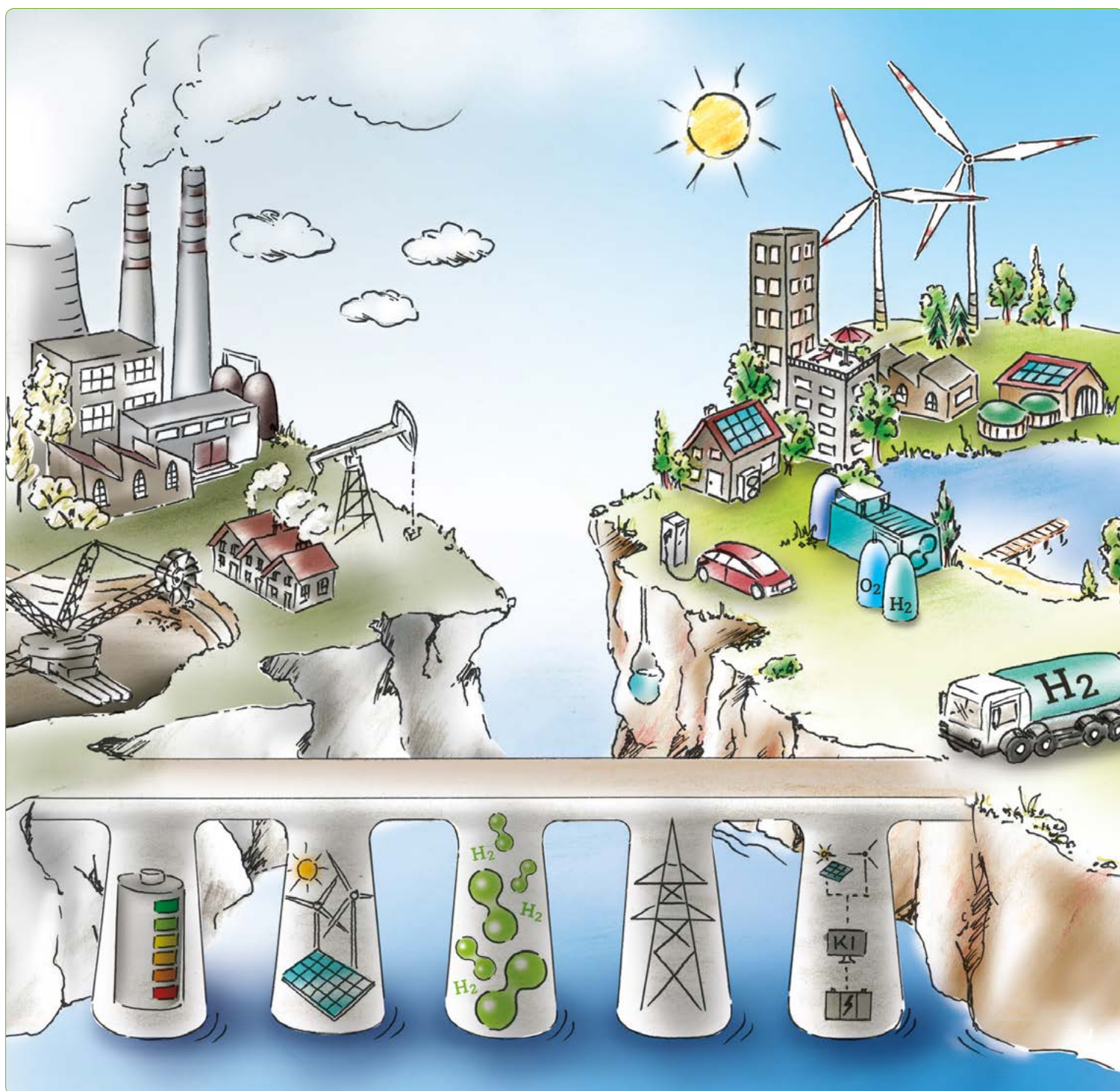


SEITE 16

Interview: Strukturwandel
erfordert auch einen
Kulturwandel.

SEITE 28

HyHeat: Klimafreundliche
Metallverarbeitung
,made in Simmerath‘.



INHALT

Einleitung

Grußwort	S. 3
----------	------

Wer sind wir?

Gemeinsam Zukunft gestalten	S. 4
Auf einer Wellenlänge mit Atomen	S. 6
Das Beste aus zwei Welten	S. 8
Herausforderung: Lastflexibilität	S. 10

Blick in die Wissenschaft

Die Vision eines großen Kreislaufs	S. 12
Interview: Die Brücke, die bleibt: Wasserstoff als Pfeiler	S. 16
Die Rolle des Wasserstoffs im Energiesystem der Zukunft	S. 20
So sieht infrastruktur-kompatibel aus	S. 22
2-in-1-Energiewandler	S. 24
Orange ist das andere Grün	S. 26

Blick ins Revier

3. Demovorhaben	S. 28
HyHeat: Mit Wasserstoff zur klimafreundlicheren Metallverarbeitung	
Ein Vielfraß und Ausbeuter	S. 31
Die Gralssuche der Membranforscher	S. 34

Zu guter Letzt

FAQ: Wasserstoff	S. 36
Kreuzworträtsel	S. 38
Aktuelle Stellen	S. 39
Impressum	S. 39

Zur besseren Lesbarkeit wird ab Seite 4 das generische Maskulinum verwendet. Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.



Hier geht's zu den Vorhaben

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Wir leben in einer Zeit hoher Dynamik. Permanenter Wandel und Veränderungen kennzeichnen unsere globalisierte Welt. Kaum eine Region in Deutschland weiß das besser als unsere Kohleregionen. Der vorgezogene [Kohleausstieg im Rheinischen Revier](#) beschleunigt den umfassenden [Strukturwandel](#) mit Fokus auf die Entwicklung neuer wirtschaftlicher Perspektiven und nachhaltiger Zukunftsmodelle. Das Rheinische Revier steht sinnbildlich für den Wandel: einst Zentrum der Kohleverstromung, heute eine Region der Transformation. Hier greifen Forschung und Anwendung ineinander, und es entstehen Lösungen, die aus Wissen Wertschöpfung machen.



Das [Helmholtz-Cluster Wasserstoff \(HC-H2\)](#) im Rheinischen Revier zeigt, wie solche Lösungen konkret aussehen können – mit Technologien, die in Deutschland entwickelt werden und weltweit einsetzbar sind. Hier kommt Wasserstoff als Schlüsseltechnologie ins Spiel. [Wasserstoff und Energieträger, die aus Wasserstoff hergestellt werden](#), können als kosteneffiziente Stromspeicher im industriellen Maßstab dienen und damit Versorgungssicherheit ermöglichen.

Die Umstellung auf nachhaltigere Prozesse und Energiesysteme bietet enorme Chancen – gerade auch, um sich als Region zukunftsfit und wirtschaftlich stark aufzustellen. Mit Innovationen für klimafreundlichere Prozesse erhalten wir unseren Industriestandort. Ohne sie ist eine Produktion in Deutschland langfristig nur schwer zu halten. Und wir schaffen eine Möglichkeit, mit Exporten dieser nachhaltigen Produktionstechnologien neue Märkte zu erschließen. Mit solchen Innovationen ‚made in Germany‘ werden Klimaschutz und Wirtschaftsstärke vereint.

Als [Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt \(BMFTR\)](#) unterstützen wir diesen Weg tatkräftig. Denn wir schaffen Grundlagen für Innovationsprozesse und gestalten Rahmenbedingungen, die dazu beitragen, dass aus Ideen Technologien werden, die in den Alltag wirken: in Unternehmen, in Infrastrukturen, in den internationalen Wettbewerb. Forschung entfaltet ihre Kraft, wenn sie in ständiger Rückkopplung zu den Herausforderungen der Anwendung steht. Dies gelingt im Helmholtz-Cluster Wasserstoff!

Ich bin beeindruckt sowohl vom Engagement und von der Initiative der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als auch von den vielen Unternehmen aus der Region, die sich auf den Weg gemacht haben, um neue Ideen für zukunftsweisende Geschäftsfelder und Wissenschaft miteinander zu verknüpfen.

Hierbei wird sich das BMFTR weiter engagieren. Denn das Helmholtz-Cluster Wasserstoff leistet einen großen Beitrag zum Gelingen des Strukturwandels im Rheinischen Revier: einer Region, die über Jahrzehnte die Energieversorgung weit über ihre Grenzen hinaus gesichert hat, und die sich nun auf den Weg macht, Energietechnologien von morgen für die Welt bereitzustellen.

Gemeinsam werden wir weiter erfolgreich an der Zukunft für das Rheinische Revier arbeiten.

Matthias Hauer

Parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Gemeinsam Zukunft gestalten

Die Gründungsphase des Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) am Forschungszentrum Jülich ist abgeschlossen. Prof. Peter Wasserscheid hat die Rolle des Direktors für den Institutsbereich Reaktionstechnik für die Chemische Wasserstoffspeicherung (INW-3) übernommen. Damit sind die vier wissenschaftlichen Institutsbereiche des INW mit namhaften Forscherpersönlichkeiten an der Spitze besetzt.

Das [INW](#) bildet den organisatorischen und wissenschaftlichen Kern des [Helmholtz-Clusters Wasserstoff \(HC-H2\)](#). Das HC-H2 ist das größte Strukturwandelprojekt im Rheinischen Revier und besteht aus vielfältigen Kooperationen. Ein Beispiel: [HyHeat](#) auf den Seiten 28 bis 30.

„Das INW hat die Startbahn hinter sich gelassen, den Steigflug erfolgreich absolviert und peilt jetzt seine wichtigen Ziele an“, sagt [Prof. Peter Jansens](#), der im Vorstand des Forschungszentrums für den Energiebereich zuständig ist. „Wir sind sehr froh, dass wir mit Peter Wasserscheid den Gründungsdirektor des INW für diesen sehr wichtigen Forschungsbereich gewinnen konnten. Das INW-3 verknüpft am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft die Oberflächen- und Katalysatorforschung mit der Prozess- und Anlagentechnik.“

Von Anfang an dabei

Peter Wasserscheid ist der Mann der ersten Stunde am INW. Mit ihm als Gründungsdirektor und Leiter der Abteilung für Demonstrationsvorhaben (INW-D) wurde das Institut [Ende 2021 aus der Taufe gehoben](#). Die Übernahme der Leitung des INW-3 bedeutet für ihn jetzt eine Rückbesinnung auf den Schwerpunkt seiner wissenschaft-

lichen Arbeit: das Entwerfen von leistungsfähigen Reaktoren für die chemische Wasserstoffspeicherung.

„Diese Aufgabe ist spannender denn je. Beim Binden von Wasserstoff an [Trägermoleküle](#) wird Wärme frei und Volumen reduziert. Beim Freisetzen von Wasserstoff ist es umgekehrt. Damit die Wasserstoffspeicherung leistungsdicht, kostengünstig und effektiv wird, müssen die Umwandlungsapparate optimal gestaltet werden. Sie sind das Herz der chemischen Wasserstoffspeicherung. Es geht beispielsweise darum, aus dem Reaktorvolumen einer Schuhschachtel so schnell wie möglich eine möglichst große Wasserstoffmenge freizusetzen. Das reizt mich enorm.“

Fokus auf starke Zusammenarbeit innerhalb des Instituts

Das Führungsteam des INW am Forschungszentrum Jülich ist nun vollständig besetzt. Gemeinsam mit Prof. Hans-Georg Steinrück („Katalytische Grenzflächen“, INW-1), Prof. Regina Palkovits („Katalysatormaterialien“, INW-2), Prof. Andreas Peschel („Prozess- und Anlagentechnik“, INW-4), und Dr. Susanne Spörler („Infrastruktur und wissenschaftliche Koordination“, INW-I) startet das Institut in die

nächste Phase. „Wir nehmen gemeinsam Fahrt auf, um die anspruchsvollen wissenschaftlichen und technologischen Ziele unseres Instituts zu erreichen. Die besten Erkenntnisse und Lösungen wollen wir zur Umsetzung bringen, um unseren Beitrag für den Strukturwandel im Rheinischen Revier zu leisten“, so Peter Wasserscheid.

Dem Thema Technologiedemonstration, für das Peter Wasserscheid bisher als Leiter des INW-D verantwortlich war, will er auch weiter eng verbunden bleiben. „Wir richten das INW-D neu aus und legen dort den zukünftigen Schwerpunkt auf die Entwicklung von Geschäftsmodellen und Anwendungsszenarien für [innovative Wasserstoff-Technologien im Rheinischen Revier](#). Die technologischen Konzepte kommen dabei aus allen wissenschaftlichen Bereichen des INW und aus anderen Bereichen des Forschungszentrums Jülich. Natürlich erwarten wir auch weiterhin viele hochinteressante Vorschläge für Demonstratoren von den Unternehmen, Kommunen und akademischen Einrichtungen des Rheinischen Reviers.“

Auf den folgenden Seiten geben wir detaillierte Einblicke in unsere Bereiche: Zu Beginn erklären wir, wie Röntgenstrahlen dabei helfen, die „Magie“ der Moleküle zu verstehen. >>>



Das INW im Netz

Regina Palkovits

„Mich motiviert, dass unsere Forschung Antworten auf entscheidende Energiefragen liefert. Möglich wird das durch ein starkes Umfeld mit innovativen Partnern – hier ist das Ganze mehr als die Summe der Teile.“

Susanne Spörler

„Unser Standort im Brainergy Park steht für Verbundenheit mit dem Revier – und zugleich für den Anspruch, nicht einfach nur bestehenden Spuren zu folgen. Mich treibt die Idee an, neue Impulse zu setzen und neue Wege zu finden, die uns sicher in die Zukunft bringen.“

Peter Wasserscheid

„Das Rheinische Revier ist für mich der perfekte Ort für die Energie der Zukunft: Tradition in der Energieversorgung, viele innovative Unternehmen und exzellente Forschungszentren schaffen ein ideales Entwicklungsumfeld für den klimafreundlichen Wandel.“

Hans-Georg Steinrück

„In Jülich kann ich skalenübergreifend arbeiten: Mikroskopische Beobachtungen prägen makroskopische Entwicklungen. Diese Verbindung macht unsere Forschung für mich besonders spannend.“

Andreas Peschel

„Mich reizt die enge Verzahnung von Forschung und Anwendung. An Wasserstoffspeichern zu arbeiten – mitten im Strukturwandel des Rheinischen Reviers –, ist für mich besondere Motivation.“



Auf einer Wellenlänge mit Atomen

Es ist fast genau 130 Jahre her, dass Wilhelm Conrad Röntgen etwas entdeckt hat, was er gar nicht gesucht hatte: **die Röntgenstrahlung**. Er machte wenige Wochen später das erste Röntgenbild der Menschheitsgeschichte – zu sehen sind die Knochen der Hand seiner Frau Anna Bertha samt Ehering. 1901 erhielt er für seine Entdeckung den **ersten Nobelpreis für Physik**.

Seine Röntgenstrahlung ermöglicht nicht nur, dass Ärzte Knochenbrüche sehen und Gepäck an Flughäfen durchleuchtet wird. Röntgenstrahlen sind auch ein perfektes Werkzeug, um die Sehnsucht zu stillen, die Goethes Faust umtreibt, nämlich „**dass ich erkenne, was die Welt im Innersten zusammenhält**“.

Die atomare Ebene sichtbar machen

„Röntgenstrahlen sind ideal, um zu verstehen, was auf molekularer und atomarer Ebene passiert“, sagt Dr. Peter Walter, Abteilungsleiter am **Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW)** in Jülich, wo er ein Röntgenlabor für den Institutsbe-

reich INW-1 „Katalytische Grenzflächen“ aufbaut. Das INW-1 unter der Leitung von Prof. Hans-Georg Steinrück erforscht, was an diesen Grenzflächen passiert. „Röntgenstrahlen haben genau die richtige Wellenlänge, um zu zeigen, ob sich auf molekularer und atomarer Ebene etwas verändert hat. Und sie zerstören die Strukturen nicht, die wir mit ihnen beleuchten“, beschreibt Peter Walter.

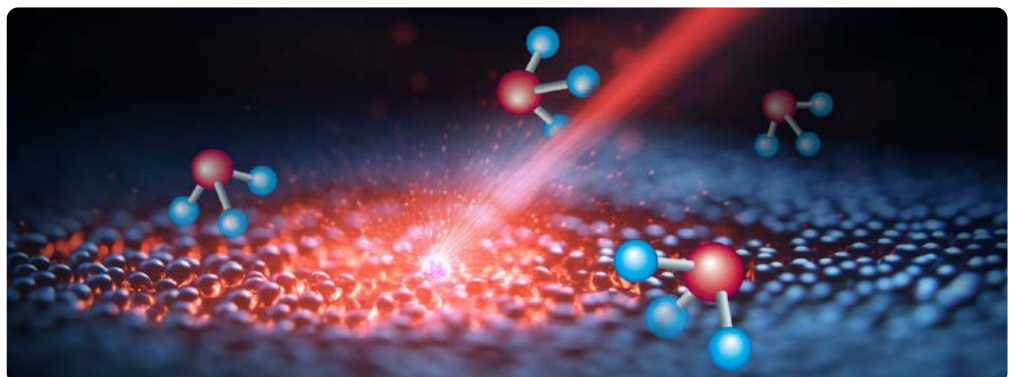
Heiratsvermittler und Scheidungsanwälte

Auf der katalytischen Grenzfläche passiert die „Magie“ der sogenannten **heterogenen Katalyse** (Seite 8). Heterogen bedeutet, dass der Katalysator als abtrennbarer und damit wiederverwertbarer Festkörper vorliegt, die Reaktanden wie beispielsweise Wasserstoff (H_2) und Stickstoff (N_2) sind gasförmig. Die Grenzfläche ist die Kontaktzone zwischen Katalysatoren und reagierenden Stoffen. Dort docken Moleküle an, deren

Bindungen damit gelockert oder neu angeordnet werden, sodass Reaktionen schneller oder bei geringerer Temperatur ablaufen.

Das ist wichtig, um das schwer speicherbare Gas Wasserstoff handhabbarer zu machen, z. B. durch Reaktion mit Stickstoff zu Ammoniak (NH_3). Wasserstoff in seiner natürlichen Form hat ein sehr großes Volumen. Die gleiche Menge Wasserstoff als Ammoniak gespeichert hat ein 1.300- bis 1.500-mal geringeres Volumen. Um Stickstoff und Wasserstoff zu verheiraten, ist ein metallischer Katalysator notwendig. **Prof. Regina Palkovits**, die in Jülich den Institutsbereich INW-2 „Katalysatormaterialien“ leitet, nennt Katalysatoren „Heiratsvermittler und Scheidungsanwälte der Moleküle“.

Das, was während dieser „Magie“ zwischen den Molekülen des Wasserstoffs, Stickstoffs und des Katalysators passiert, will das INW-1 besser verstehen. Dort fragt man sich z. B., wie die Reaktion beschleunigt oder intensiviert werden kann – oder gebremst,





„Röntgenstrahlen sind ideal, um zu verstehen, was auf molekularer und atomarer Ebene passiert.“

Dr. Peter Walter,
Abteilungsleiter am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW-1),
Forschungszentrum Jülich

weil die Intensität zu hoch ist. „Warum verliert ein Katalysator seine Aktivität und was können wir dagegen tun?“, beschreibt Dr. Jimun Yoo, Teamleiter am INW-1, eine der Fragen. Liegt der Reaktand auf der Grenzfläche und blockiert er so mehr Bindungsplätze, als wenn er stünde, stellt sich die Frage, wie sich dies ändern ließe.



Dr. Jimun Yoo

Röntgenstrahlen, deren Wellenlänge so hoch ist wie ein Wasserstoffatom groß, zeigen, ob sich die Position des Atoms geändert hat. Denn dann hat sich der Reflexionswinkel der Strahlen verändert. Eine sogenannte Beamline kann das messen. Ein solches Labor entsteht in den kommenden Jahren in Jülich.

„Wir müssen kleinste Veränderungen sehen“, sagt Jimun Yoo. Künftig auch im eigenen Röntgenlabor, derzeit an [Synchrotron-Anlagen in Hamburg](#) oder Grenoble. Ein Synchrotron, ein Teilchenbeschleuniger mit extrem heller Lichtquelle, liefert viele Photonen für hochaufgelöste Momentaufnahmen der katalytischen Grenzfläche. Photonen sind die masselosen Bauteile des Lichts, in denen Energie gespeichert ist. Arbeitszeit an einem Syn-

chrotron ist für freie Forschung kostenfrei, aber nicht unbeschränkt verfügbar. „Es ist für uns perfekt geeignet, weil es uns ermöglicht, eine hochaufgelöste Momentaufnahme von der katalytischen Grenzfläche zu machen“, erklärt Jimun Yoo.

Das Bild zusammensetzen

Die Synchrotron-Zeit muss gut vorbereitet werden. Dabei hilft in Zukunft das im Aufbau befindliche Röntgenlabor. „Wir brauchen bei uns mehr Zeit für ein Bild, weil unsere Quelle weniger Photonen verschießt als das Synchrotron. Das versetzt uns in die Lage, Langzeituntersuchungen zu machen, mit denen wir besser verstehen, wie wir Katalysatoren langlebiger machen können“, sagt Jimun Yoo. Wichtig sind beide Zeitskalen: Langzeitbeobachtung und Momentaufnahme. „Das ganze Bild ergibt sich nie mit nur einem Experiment, sondern erst wenn wir die Ergebnisse zusammenbringen.“

Bis zur Fertigstellung der Beamline in Jülich dauert es noch. „Wenn sie eingerichtet ist, haben wir Möglichkeiten, die es außerhalb von Großforschungsanlagen wie einem Synchrotron nur sehr selten gibt“, ordnet Peter Walter ein. Im Forschungszentrum bereits in Betrieb ist ein multifunktionales

Röntgendiffraktometer. Das ist sozusagen das Schweizer Taschenmesser unter den Forschungs-Röntgengeräten. Es ermöglicht viele Messmethoden, ist aber nicht so hochauflösend wie ein Synchrotron. Letzteres schießt in 0,4 Sekunden genauso viele Photonen auf das Ziel wie ein Röntgendiffraktometer in 20 Minuten. Der Effekt: Statt der Detailaufnahme ermöglicht es Rückschlüsse auf Veränderungen im Verlauf der Reaktion. „So gewinnen wir wertvolle Daten zur Reaktion auf der Grenzfläche. Das bringt uns schon heute ein großes Stück voran“, sagt Hans-Georg Steinrück.



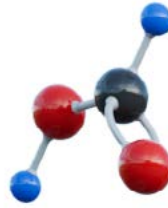
Prof. Hans-Georg Steinrück

[Röntgenstrahlen helfen, Moleküle zu entschlüsseln. Jetzt folgen unsere Katalyse-Experten, die wichtige Rückschlüsse aus der Anordnung von Molekülen ziehen. >>>](#)



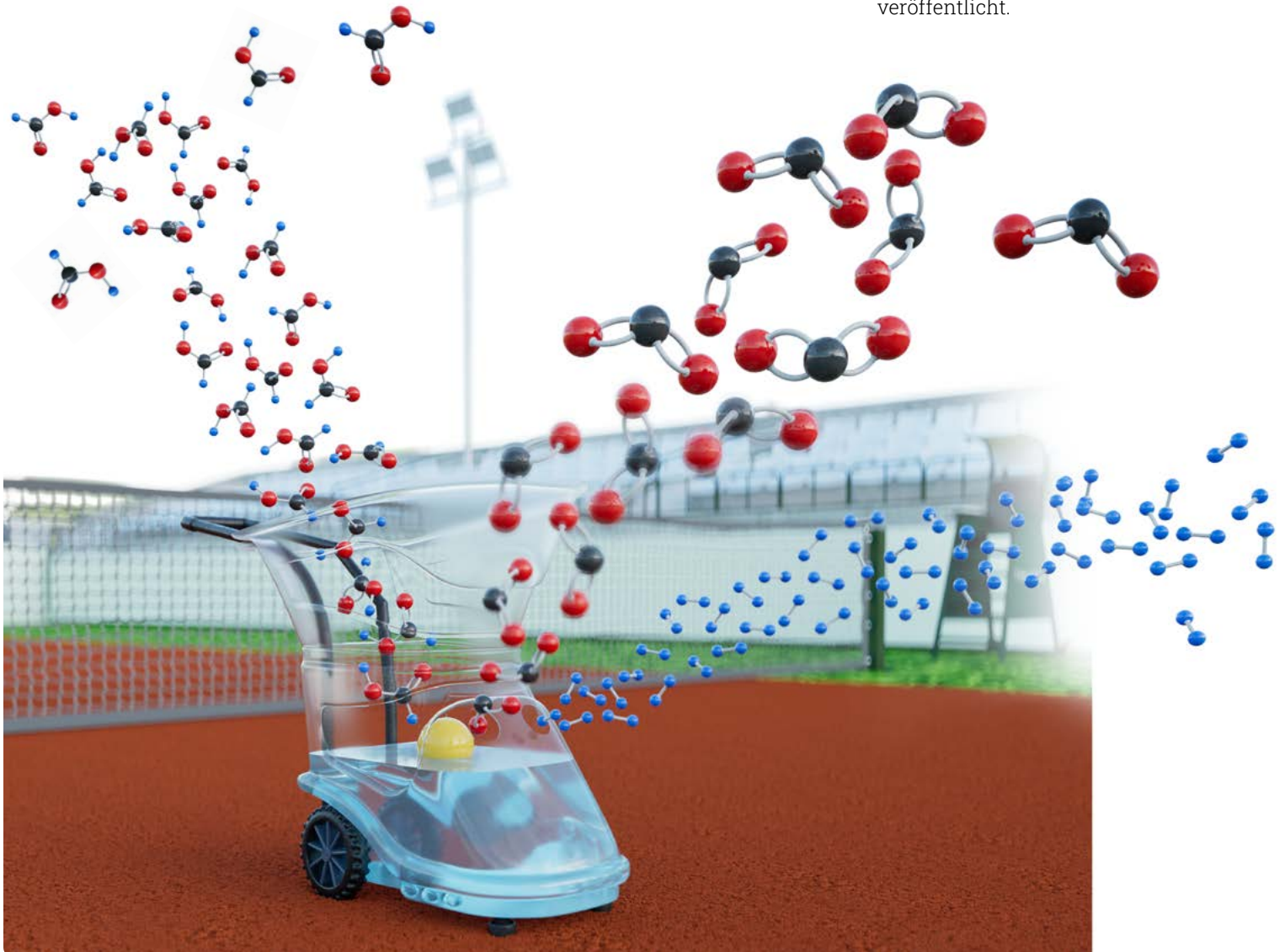
Hier werden Moleküle geröntgt

Das Beste aus zwei Welten



Ein Team des Forschungszentrums Jülich und der RWTH Aachen hat einen neuartigen Ansatz für einen Katalysator entwickelt, der die Vorteile der beiden meistgenutzten Katalysemethoden kombiniert. Der neue Katalysator-Ansatz basiert auf dem Metall Iridium und erreichte im Labor eine fünfmal höhere Aktivität als bisherige Referenzsysteme bei gleichzeitig hoher Stabilität über mehrere Tage. Die Vorteile beider Katalysemethoden – hohe Aktivität oder langfristige Stabilität – galten bislang als schwer vereinbar.

Die gewonnenen Ergebnisse können dazu beitragen, die Effizienz des hochaktiven, aber teuren Katalysatormaterials Iridium weiter zu steigern und damit den Einsatz von grünem Wasserstoff als klimafreundlichem Energiespeicher entscheidend voranzubringen. Das Team hat seine Ergebnisse im renommierten Journal [„EES Catalysis“](#) der Royal Society of Chemistry veröffentlicht.





Katalysatoren für die Wasserstoffwirtschaft

Grüner Wasserstoff spielt als Energiespeicher eine wichtige Rolle im klimafreundlichen Energiesystem der Zukunft. Damit er genutzt werden kann, muss er effizient gespeichert, transportiert und bei Bedarf wieder freigesetzt werden. Eine zentrale Herausforderung dabei ist, dass das leichtflüchtige Gas so einfach wie möglich nutzbar ist. **Trägersubstanzen** wie Ammoniak, Methanol, Ameisensäure und verwandte Moleküle kommen dafür infrage. Damit der Wasserstoff in diese Moleküle eingebunden und aus ihnen wieder herausgelöst werden kann, sind Katalysatoren notwendig: Sie beschleunigen die notwendigen Reaktionen oder machen sie überhaupt erst möglich beziehungsweise wirtschaftlich attraktiv.



Prof. Regina Palkovits



Homogene und heterogene Katalyse: eine Synthese zweier Prinzipien

Die Neuheit des Jülich-Aachener Ansatzes liegt in der Kombination zweier Katalysewelten: der homogenen und der heterogenen Katalyse. Eine homogene Katalyse findet statt, wenn der Katalysator und das reagierende Element, der sogenannte Reaktand, in der gleichen Phase vorliegen. Beispielsweise sind beide gasförmig oder flüssig. Bei der heterogenen Katalyse ist der Katalysator ein Feststoff und das mit ihm reagierende Element liegt gasförmig oder flüssig vor. Die Vorteile der heterogenen Katalyse sind, dass Katalysator und

Reaktand sauber und einfach voneinander getrennt werden können. Das reduziert die Kosten. Homogene Katalyse hat dagegen das Potenzial, aktiver und selektiver zu sein, weil alle Atome des Katalysatormaterials aktiv sein können. Zudem lässt sich der Katalysator präzise gestalten – seine Struktur und chemische Umgebung können gezielt für eine bestimmte Reaktionsmaßgeschneidert werden. In einem Festkörper dagegen sind die Atome innerhalb des Nanopartikels inaktiv, da sie nicht mit den Reaktanden in Berührung kommen.

Normalerweise hat das Team aus dem **Bereich Katalysatormaterialien (INW-2)** des Jülicher Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft und des **Aachener Lehrstuhls für Heterogene Katalyse und Technische Chemie** die heterogene Katalyse als Schwerpunkt. „Mit dem neuen Katalysator haben wir versucht, das Beste aus der anderen Welt, also der homogenen Katalyse, für unsere Welt zu nutzen“, beschreibt Prof. Regina Palkovits, die den Aachener Lehrstuhl und das Jülicher Institut leitet.

Sehr aktiv und gut abtrennbar

Eine zentrale Rolle spielt dabei das Molekül Terpyridin, das Metallatome wie beispielsweise Iridium fest an sich bindet. Für das Forscherteam aus Jülich und Aachen war entscheidend, die Terpyridin-Struktur, die Iridium sehr stabil binden kann, in ein Polymer zu integrieren. Ein Polymer ist eine chemische Verbindung, die aus vielen kleinen, sich wiederholenden Bausteinen besteht. Das Resultat ist ein sogenannter Solid Molecular Catalyst (SMC), also ein fester, molekular definierter Katalysator. „So kann das Iridium wie in der heterogenen Katalyse vom Reaktanden abgetrennt werden, in diesem Fall als Bestandteil des Terpyridin-Polymers“, erklärt Keanu Birkelbach,

der Erstautor dieser Veröffentlichung. „Gleichzeitig bildet jedes Iridiumatom im SMC ein katalytisch aktives Zentrum, wie es in der homogenen Katalyse der Fall ist.“ Dieses Zusammenkommen von höherer Aktivität und besserer Abtrennbarkeit ist neu. Das Iridium kann effizienter eingesetzt und zudem wiederverwertet werden. Angesichts seines hohen Weltmarktpreises ergibt sich so ein großes Einsparpotenzial. Iridium ist aktuell rund 50 Prozent teurer als Gold.



Keanu Birkelbach



Nächste Schritte: Skalierung und Materialalternativen

Weitere Schritte können laut dem Wissenschaftler Keanu Birkelbach das Hochskalieren des Reaktors über den Labormaßstab hinaus sein sowie das Ersetzen des teuren Iridiums mit einem günstigeren katalytisch aktiven Metall. Zudem könnten weitere Wasserstoff-Trägermoleküle getestet werden. Im Labor hatte das Team mithilfe des molekular definierten Iridium-Katalysators Wasserstoff aus Ameisensäure freigesetzt.

Nicht nur Katalysatoren müssen langlebig und flexibel sein, sondern das gesamte System. >>>



Hier geht's zur Publikation



Herausforderung: Lastflexibilität

Unser Name ist eine Herausforderung: Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft. Wer ihn vorträgt, braucht danach wegen der Länge eine Atempause. Aber es hätte noch länger kommen müssen, denn ein wesentliches Wort fehlt: lastflexibel.

Lastflexibilität ist wichtig für unsere klimafreundliche Energiezukunft. Sonne und Wind liefern zwar sauberen Strom, aber nicht immer dann, wenn wir ihn gerade brauchen. Im Gegensatz zu Erdgas lassen sie sich nicht einfach hoch- oder runterregulieren. Deshalb muss das Energiesystem lastflexibel werden – also so reagieren können, dass sich Energieerzeugung und Energieverbrauch weiterhin aneinander anpassen, obwohl der zukünftige Input schwanken kann. Einen Teil der Schwankungen, die die Erneuerbaren mit sich bringen, können wir mit Speichertechnologien auffangen. Batterien und Wasserstoffspeicher ergänzen sich als Pufferspeicher gut. Aber damit das System den schwankenden Input in einen stabilen Output umwandeln kann, brauchen wir noch mehr Innovation.

„Lastflexibilität ist dabei eine zentrale Voraussetzung, um erneuerbare Energien effizient und kostengünstig in das Energiesystem zu integrieren“, sagt Dr. Sarah Deutz,

die am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft im Bereich Prozess- und Anlagentechnik (INW-4) das Expertenteam „Neue Methoden der Prozesssynthese“ leitet. Denn trotz der Pufferspeicher müssen Anlagen, in denen beispielsweise Ammoniak synthetisiert wird, wechselnde Lasten und Drücke verkraften. „Das bringt viele Herausforderungen mit sich. Gleichzeitig kann Lastflexibilität dazu beitragen, dass wir die Kosten für grünen Ammoniak oder grünes Methanol senken, weil wir günstigen erneuerbaren Strom optimal nutzen können.“

Die schwierige Balance: Kosten vs. Klima

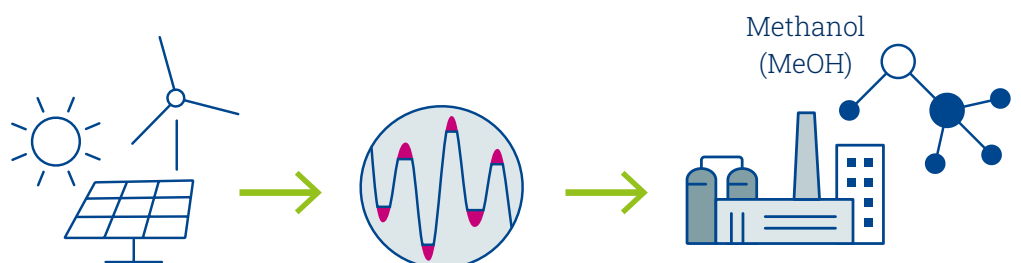
Sarah Deutz redet von Zielkonflikten. Ein Beispiel: In Westafrika könnte eine Wasserstoff-Produktion, die auf einer Elektrolyse aus erneuerbaren Energien basiert, gut funktionieren, weil dort günstiger, konstanter Ökostrom und genug Fläche vorhanden sind. Doch wenn die Elektrolyse – also die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mithilfe von Strom – dazu führt, dass Wasser für die Landwirtschaft fehlt, ist der Preis zu hoch.

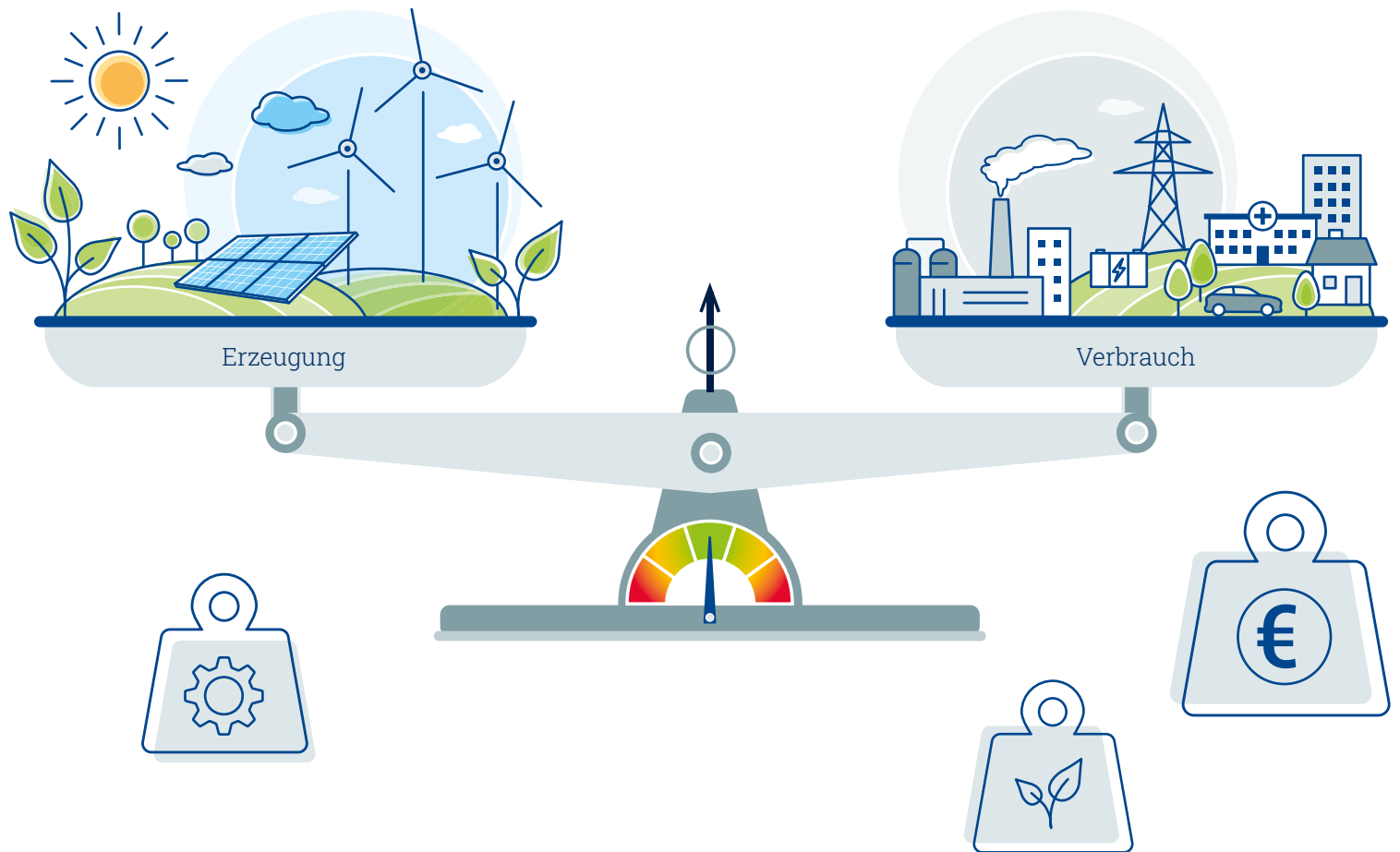
Außerdem kann Lastflexibilität zu einem höheren technischen Anspruch und steigenden Materialkosten führen. „Eine Energiewende, die technisch möglich ist, aber so teuer wird, dass sie sich nur wenige leisten können, wird nicht funktionieren“, beschreibt Sarah Deutz einen entscheidenden Zielkonflikt.

Belastungsprobe für Maschinen und Materialien

Für das Material bedeutet Lastflexibilität besondere Herausforderungen. Denn das Auto, das regelmäßig mit Tempomat und 110 Sachen rollt, hat trotz höherer Laufleistung einen geringeren Materialverschleiß als eines, das ständig gebremst und beschleunigt wird. Bei Energiewandlern – das sind Geräte, die Strom in chemische Energie umwandeln oder umgekehrt – ist das genauso. „Regelmäßige Lastwechsel beanspruchen Konstruktion und Materialien stärker als ein gleichmäßiger Betrieb“, erklärt Sarah Deutz.

Ein Beispiel zeigt, wie wichtig Lastflexibilität für die künftige Wasserstoffwirtschaft wird: Methanol, CH_3OH . In einem kom-





plexen Verfahren, der Methanol-Synthese, reagieren drei Wasserstoff-Moleküle (3 H_2) mit einem Kohlenstoffdioxid-Molekül (CO_2) zu Methanol und Wasser (H_2O). Methanol ist eine einfach zu speichernde, leicht flüchtige Flüssigkeit, die längst gut bekannt ist. Der darin enthaltene Wasserstoff ist so viel kompakter und leichter zu transportieren: Ein Liter Methanol entspricht 1.100 Litern gasförmigem Wasserstoff. Methanol ist zudem ein wichtiger Zwischenschritt bei der Herstellung von **Dimethylether** (Seite 12).

also flexibel fahrbar sein, genauso wie der Reaktor, in dem das erhitzte Gasgemisch danach mithilfe eines Katalysators zu Methanol reagiert. Dann wird das Methanol gekühlt, sodass es als Flüssigkeit kondensiert. Zum Schluss wird das rohe Methanol in einer Destillationsanlage gereinigt.



Dr. Sarah Deutz

Grüne Schwankungen

Der Weg zu grünem Methanol hat es in sich. Es basiert auf grünem Wasserstoff und damit auf grünem Strom. „Da die Menge an grünem Strom fluktuiert, ist ein flexibler Betrieb des **Elektrolyseurs** erforderlich. Das beschleunigt die Alterungsprozesse der Materialien“, erklärt Sarah Deutz. Für die folgenden Prozesse auf dem Weg zu Methanol gilt das genauso. Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid werden gemischt und stark verdichtet. Der Kompressor muss

Alle Schritte bis hierhin unterliegen den vom grünen Strom verursachten Schwankungen. „Wir müssen hier abwägen, in welchem Maß wir Stromschwankungen mitfahren. Häufige Lastwechsel können die Alterungsprozesse beschleunigen. Es kann daher sinnvoll sein, den Elektrolyseur bei sehr geringer Last abzuschalten, um das Material zu schonen. Jede Anlage braucht hier ihre eigene Balance. Deshalb planen wir Lastflexibilität von Anfang an standortbezogen“, sagt Sarah Deutz.

Chemische Wasserstoffträger wie Methanol sind sehr günstige Speicher und ermöglichen damit, die lastflexible Produktion vom Verbrauch zu entkoppeln. „Methanol ist gut in großen Mengen speicherbar. Für die auf Methanol aufbauenden Prozesse können wir uns große Methanol-speicher denken, die es ermöglichen, die folgenden Prozesse mit gleichbleibender Last zu fahren“, erklärt Sarah Deutz einen weiteren Vorteil von chemischen Wasserstoffspeichern wie Methanol oder Ammoniak: Sie entschärfen das komplexe Thema Lastflexibilität und ermöglichen eine günstigere Energiewende.

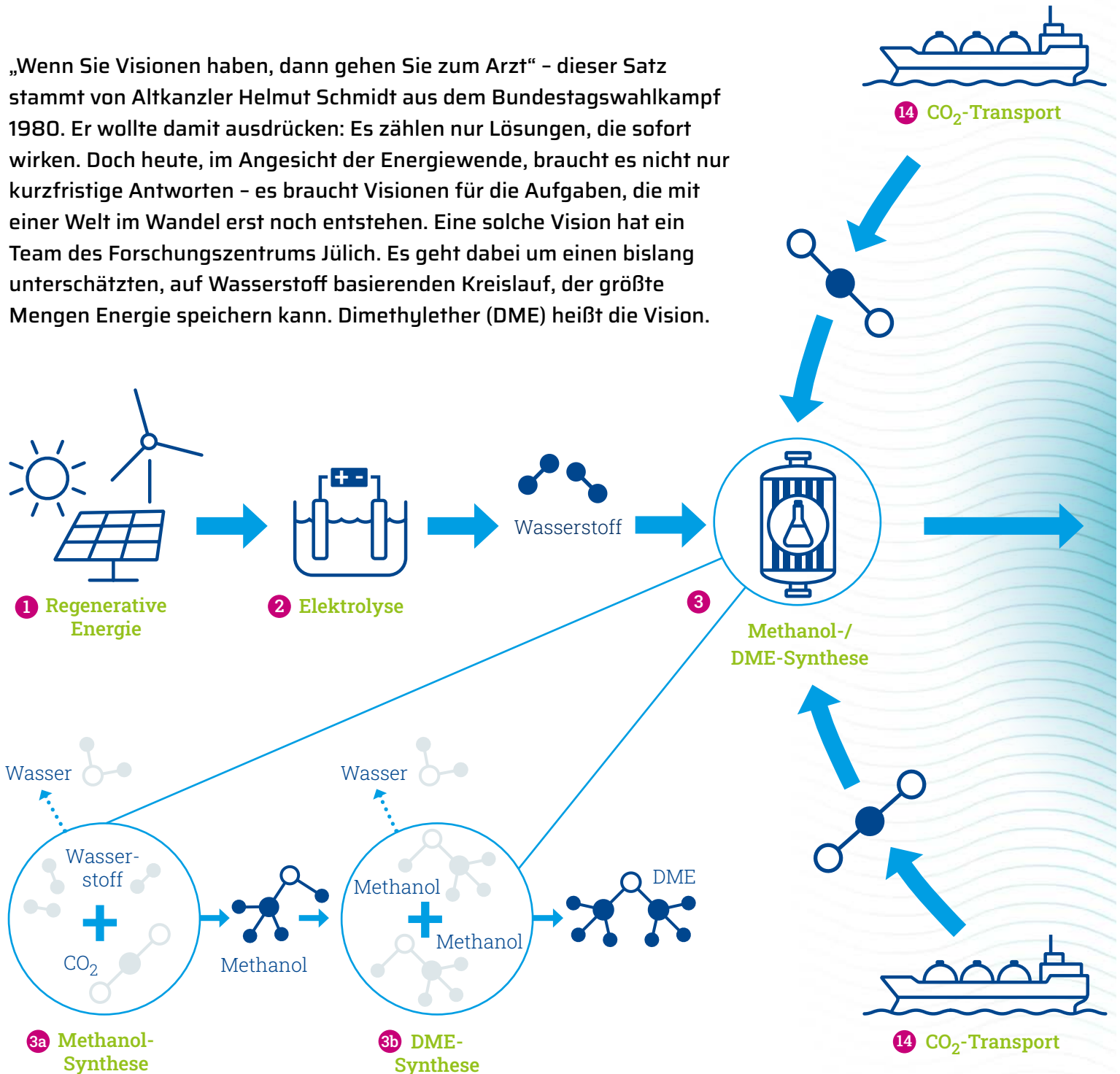
Ein weiterer Speicher ist Dimethylether (DME). Wie genau und warum, zeigen wir auf der nächsten Seite. >>>

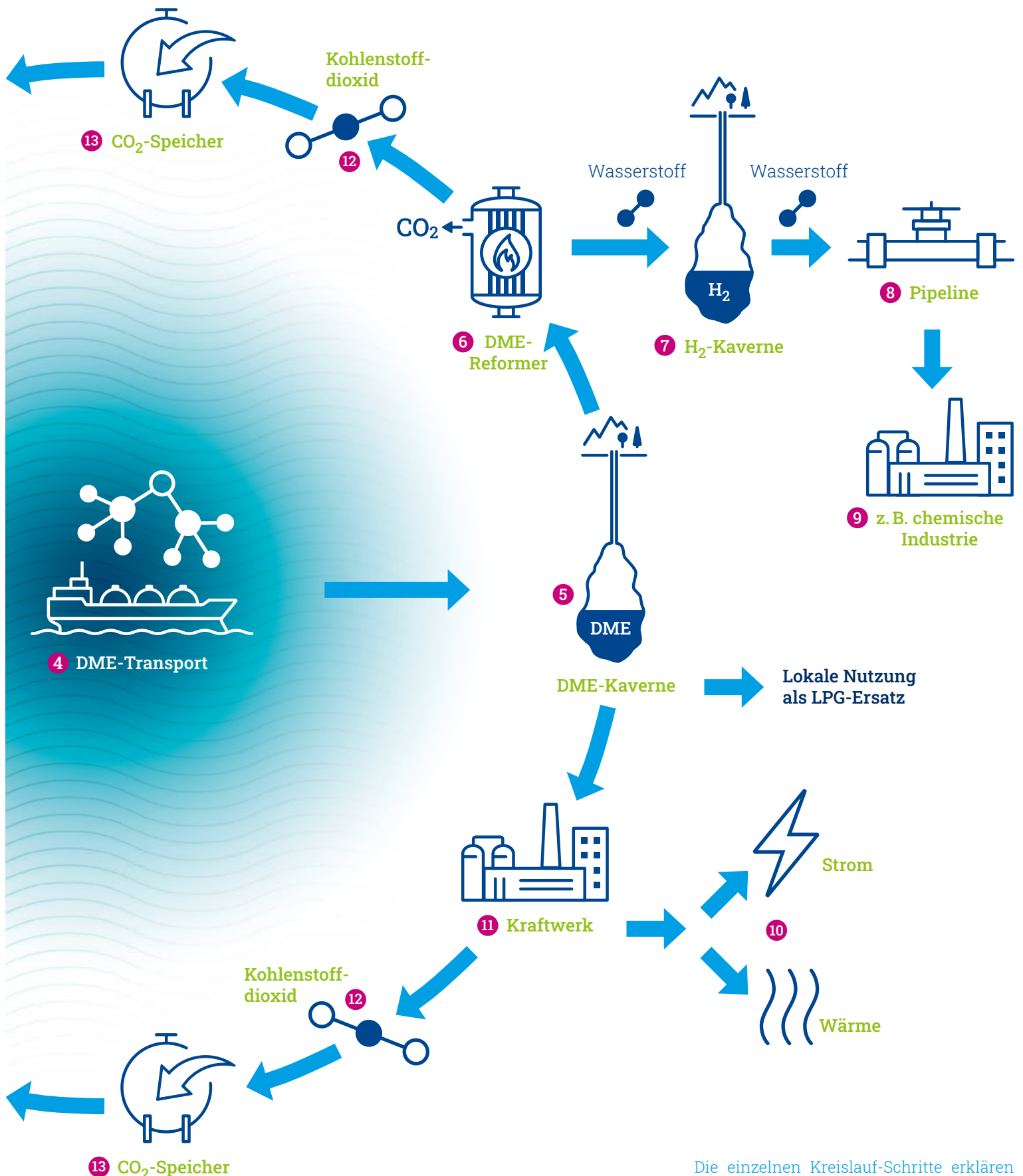


Mehr über das INW-4

Die Vision eines großen Kreislaufs

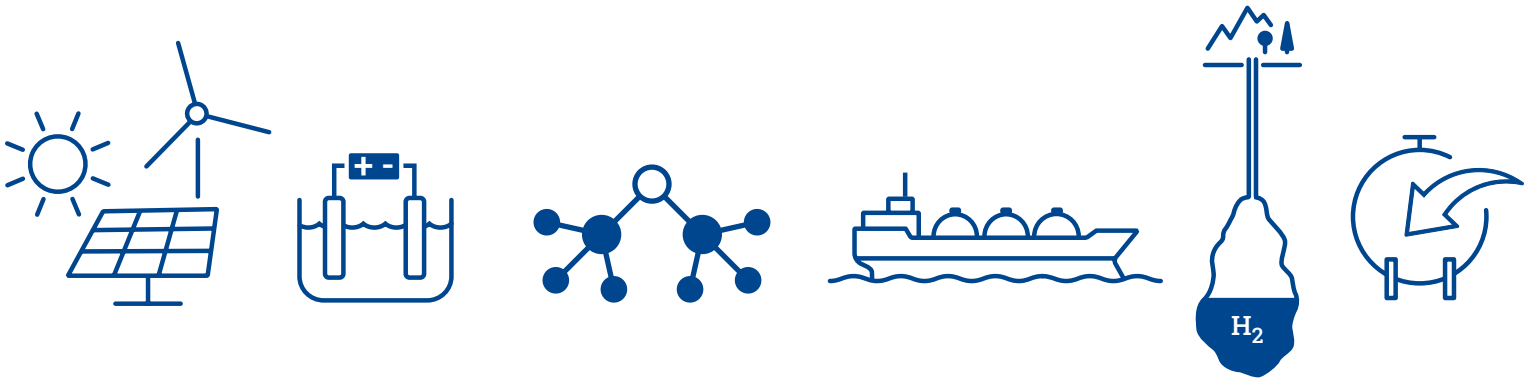
„Wenn Sie Visionen haben, dann gehen Sie zum Arzt“ – dieser Satz stammt von Altkanzler Helmut Schmidt aus dem Bundestagswahlkampf 1980. Er wollte damit ausdrücken: Es zählen nur Lösungen, die sofort wirken. Doch heute, im Angesicht der Energiewende, braucht es nicht nur kurzfristige Antworten – es braucht Visionen für die Aufgaben, die mit einer Welt im Wandel erst noch entstehen. Eine solche Vision hat ein Team des Forschungszentrums Jülich. Es geht dabei um einen bislang unterschätzten, auf Wasserstoff basierenden Kreislauf, der größte Mengen Energie speichern kann. Dimethylether (DME) heißt die Vision.





Die einzelnen Kreislauf-Schritte erklären wir auf der folgenden Doppelseite. >>>

BLICK IN DIE WISSENSCHAFT



Das Beispiel der Batterie zeigt, wie weit Visionen tragen können. Anfang der 1990er Jahre kamen Lithium-Ionen-Akkus erstmals auf den Markt – zu **horrenden Preisen zwischen 3.000 und 8.000 US-Dollar** pro Kilowattstunde. Wer damals behauptet hätte, dass der Preis bis 2025 **unter 100 Euro** fällt, dem wäre wohl tatsächlich ein Arztbesuch empfohlen worden. Heute sind Akkus ein Grundpfeiler der Energiewende – und sie werden kontinuierlich weiterentwickelt.

Es endet allerdings nicht mit der Batterie. Denn die Welt im Wandel braucht neue, besser skalierbare Lösungen, die da funktionieren, wo Batteriespeicher zu klein sind. Der weltweite Primärenergiebedarf wächst – **in den Jahren 2000 bis 2025 um 50 Prozent**. Dazu kommt das gigantische Vorhaben der Defossilisierung, das Umstellen auf eine Energiewirtschaft, die ohne den Ausstoß von Treibhausgasen in die Atmosphäre auskommt. Heute **decken fossile Energien noch rund 80 Prozent des Primärenergiebedarfs** ab. Die große Anstrengung liegt also noch vor den Menschen.

Bekannt aus der Spraydose

Am Forschungszentrum Jülich arbeitet das Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) an einer Idee, die ebenso ambitioniert wie vielversprechend ist: Es will **Dimethylether (DME)** als Wasserstoff-Trägermolekül der Zukunft etablieren. DME ist leicht zu verflüssigen, sicher lagerbar, nicht toxisch und in bestehende Infrastrukturen integrierbar – zum Beispiel in Tanklager, Pipelines und Schiffe. Bereits

heute findet er als Treibmittel in Spraydosen (Deodorant) Anwendung: In der Dose ist er flüssig, beim Sprühen verdampft er und verteilt den Wirkstoff.

In einer **vielbeachteten Studie** („Dimethylether/CO₂ – a hitherto underestimated H₂ storage cycle“, auf Deutsch „Dimethylether/Kohlenstoffdioxid (CO₂) – ein bislang unterschätzter Wasserstoff-Speicherzyklus“) untersuchte ein Forschungsteam um Prof. Peter Wasserscheid die Rolle von DME in einem möglichen Energiekreislauf. Das Besondere: DME kann effizient als Energiespeicher genutzt werden und anschließend wieder in Wasserstoff zurückverwandelt werden. So entsteht ein Kreislauf – gespeist aus grünem Strom, mit dem grüner Wasserstoff hergestellt wird. Und mit CO₂ als ständig wiederverwertetem Bestandteil, der nicht in die Atmosphäre gelangt, sondern im Kreis geführt wird.



Philipp Morsch, Teamleiter im von Prof. Andreas Peschel verantworteten Institutsbereich für Prozess- und Anlagentechnik, kennt die Größe der Aufgabe: „Der Weg dahin ist noch lang und einige Fragen müssen noch beantwortet werden. Aber wir sehen jetzt schon, dass er möglich und sinnvoll sein kann. Der Schlüssel ist die leichte Handhabbarkeit von DME.“ Denn grund-

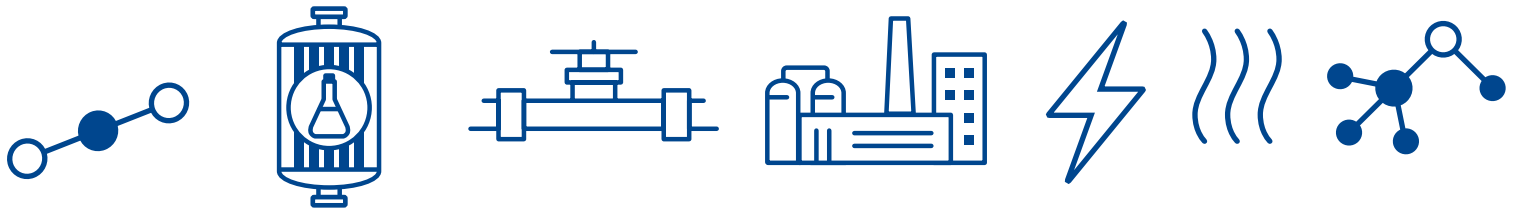
sätzlich könnte jede Infrastruktur, die CO₂ lagern oder transportieren soll, auch für DME genutzt werden. Beide sind bei geringem Druck flüssig. CO₂ benötigt dazu ein Temperaturniveau von –20 Grad Celsius, DME hingegen nur Raumtemperatur. Damit eröffnen sich enorme Potenziale für Logistik, Speicherung und Rückführung. Dass DME und CO₂ so gut miteinander kompatibel sind, ist der Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit.

So funktioniert der Kreislauf

Der Kreislauf beginnt mit grünem Strom **1**, meist aus Wind- oder Sonnenkraft. Dieser treibt die Elektrolyse **2** an: Wasser wird in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Da der Strom grün ist, ist auch der Wasserstoff klimaneutral. In einer ersten Synthesestufe **3** entsteht Methanol **3a** – ein etablierter Prozess, der allerdings heute noch meist auf fossilen Rohstoffen basiert. Ziel ist, künftig grünes Methanol aus grünem Wasserstoff und abgetrenntem CO₂ zu gewinnen.

Im zweiten Schritt wird Methanol in einer bekannten Reaktion zu DME umgewandelt. Dabei verbinden sich zwei Methanol-Moleküle zu CH₃OCH₃ (Strukturformel DME) und spalten Wasser ab. Diese Reaktion **3b** ist chemisch einfach umzusetzen, gut verstanden – und industriell schon lange Praxis.

Der produzierte DME wird dann per Schiff transportiert **4**. Da er sich ähnlich wie CO₂ verhält, ist keine gesonderte Infra-



struktur notwendig. Zielort sind beispielsweise unterirdische Salzkavernen **5**, wie sie heute bereits zur Speicherung von Erdgas genutzt werden. Gleichzeitig entstehen [erste Wasserstoff-Kavernen](#). „In einer DME-Kaverne kann das 14-Fache an Energie gespeichert werden im Vergleich zu einer Wasserstoff-Kaverne“, sagt Philipp Morsch. Und: DME ist – anders als Methanol oder Ammoniak – nicht giftig.

Der Import von DME per Schiff klingt zunächst aufwendig, ist aber wirtschaftlich bereits für andere wasserstoffbasierte Moleküle erprobt – etwa im Ammoniakhandel. Der Grund: In sonnen- und windreichen Regionen kann grüner Wasserstoff wesentlich günstiger produziert werden als in Deutschland. Der Preis für grünen Strom und damit der für grünen Wasserstoff dominiert den Preis für Ammoniak, Methanol oder DME. Gas wird auch im fossilen Energiesystem importiert. „Auch das Erdgas in unseren Kavernen stammt nicht aus Deutschland, sondern kommt per Pipeline oder Schiff“, sagt Philipp Morsch.

DME als strategisches Backup

Nach der Speicherung in einer Kaverne sind zwei Wege denkbar: Im ersten Szenario wird der DME in einem Reformer **6** wieder in Wasserstoff und CO₂ aufgespalten. Der Wasserstoff lässt sich danach in einer separaten Wasserstoff-Kaverne **7** zwischenlagern und bei Bedarf über eine Pipeline **8** zur Nutzung **9** weiterleiten – etwa für Brennstoffzellen, Gaskraftwerke oder die chemische Industrie. Besonders

effektiv kann die Kombination aus DME-Kaverne, Reformer und Wasserstoff-Kaverne sein. „Die DME-Kaverne wäre so ein strategisches Backup für die Wasserstoff-Kaverne. Denn eine DME-Kaverne enthält so viel Wasserstoff wie 14 Wasserstoff-Kavernen“, beschreibt der Jülicher Forscher.

„Denkbar ist auch die lokale Nutzung von DME als LPG-(Flüssiggas-)Ersatz in Tanks beim Endkunden. Die Anforderungen, die LPG und DME an Lagerung und Verbrauch stellen, sind weitgehend identisch. LPG, also Propan- oder Butangas, kommt meistens in Regionen zum Einsatz, in denen die Anbindung an das Erdgasnetz lückenhaft ist.

Laut dem Deutschen Verband Flüssiggas (DVFG) heizen rund 650.000 Haushalte in Deutschland mit Flüssiggas.

Der zweite Weg wäre die direkte Nutzung des DME für die **10** Strom- und/oder Wärmeerzeugung, etwa in einem Gaskraftwerk **11** mit integrierter CO₂-Abtrennung, das speziell dafür ausgelegt ist. „Eine solche Nutzung gibt es zwar noch nicht, weil es den DME-Kreislauf noch nicht gibt. Aber jemand, der ein Gaskraftwerk bauen kann, der könnte auch ein DME-Kraftwerk bauen“, sagt Philipp Morsch.

Beide Varianten haben den Vorteil, dass sie entweder mit dem Reformer oder dem Kraftwerk über sogenannte Punktquellen für CO₂ verfügen – also Orte **12**, an denen das entstehende CO₂ konzentriert aufgefangen und zurückgeführt werden kann. Der Kreislauf kann so geschlossen werden: Das CO₂ wird gespeichert **13**, verschifft

14 und zurück zur Synthese **3** gebracht. Dort beginnt der Zyklus mit der DME-Synthese **3b** über den Zwischenschritt Methanol **3a** erneut.

Am Anfang steht die Idee

Die Vision vom DME-Kreislauf basiert auf bekannten Prozessen, nutzbarer Infrastruktur und einem klaren Ziel: große Energiemengen sicher, effizient und klimaneutral speichern. „Wir stehen noch nicht kurz davor, diesen Kreislauf aufzubauen“, sagt Philipp Morsch über den Stand der Forschung und der Technik. Beispielsweise bei der Anpassung der grünen Methanol-Synthese an das schwankende Aufkommen an grünem Strom müssen noch Erfahrungen gesammelt und Wissen geschaffen werden (Seite 10). Und die Kavernen-Bauer und -Betreiber fangen gerade an, in ihrer Planung Platz für Wasserstoff zu machen. DME ist für sie allenfalls eine ferne Vision. Das muss kein Nachteil sein, solange Menschen mit konkreten Visionen für die Energie der Zukunft nicht zum Arzt gehen, sondern Wege in die Wirklichkeit suchen.

[DME und andere Moleküle sind in Zukunft \(als ein Pfeiler der Energiewende\) unverzichtbar. Das sagt Prof. Peter Jansens im folgenden Interview.](#) >>>



Hier geht's zur Jülicher Energieforschung

Die Brücke, die bleibt: Wasserstoff als Pfeiler

Wasserstoff war lange das Zauberwort der Energiewende – inzwischen wird er kritisch gesehen. Für [Prof. Peter Jansens](#), Vorstandsmitglied des Forschungszentrums Jülich, ist er unverzichtbar: nicht als Allheilmittel, sondern als tragender Pfeiler einer nachhaltigen Energie-Ökonomie. Im Interview spricht er über neue Denkweisen in der Forschung, die Stärken unserer Region, europäische Allianzen und darüber, warum Wasserstoff eine nachhaltige Brückentechnologie ist.

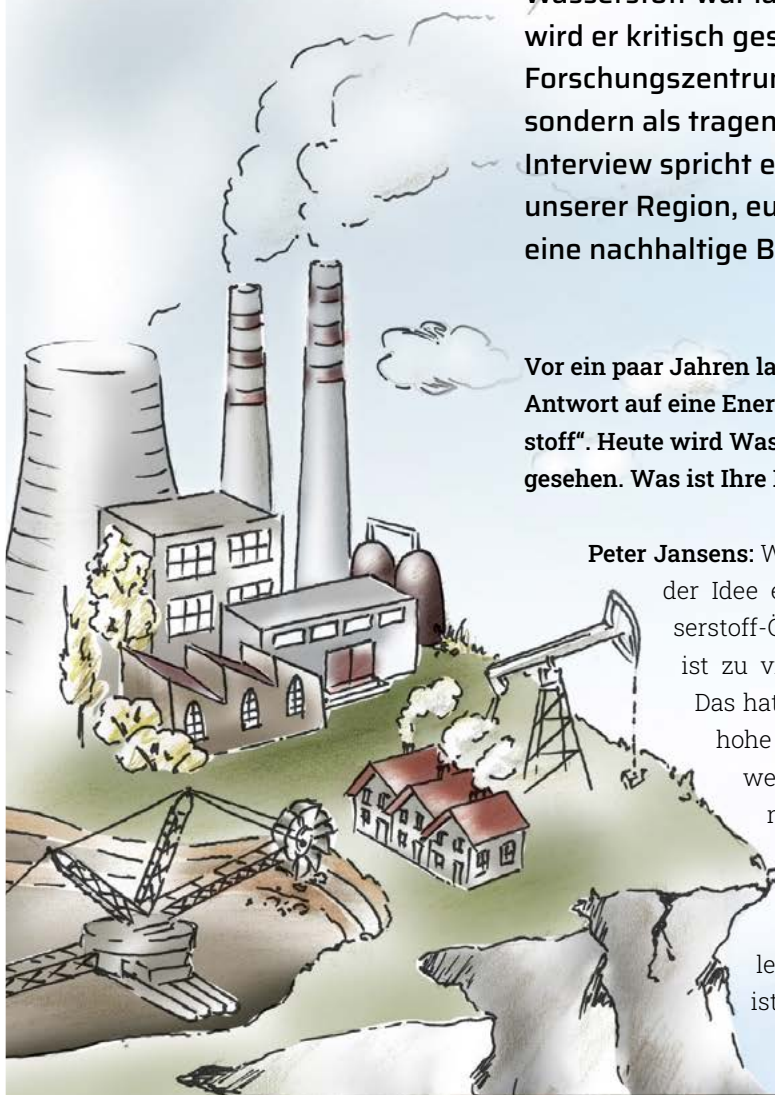
Vor ein paar Jahren lautete gefühlt jede Antwort auf eine Energiefrage „Wasserstoff“. Heute wird Wasserstoff oft kritisch gesehen. Was ist Ihre Position?

Peter Jansens: Wir müssen weg von der Idee einer eigenen Wasserstoff-Ökonomie. Darüber ist zu viel geredet worden. Das hat möglicherweise zu hohe Erwartungen geweckt. Das Ziel ist eine nachhaltige Energie-Ökonomie, bei der Wasserstoff eine der tragenden Säulen ist. Entscheidend ist nicht, wie viel Was-

serstoff als Teil der Lösung kostet, sondern wie teuer Endprodukte wie Stahl, Zement, Autos oder Strom werden. Einzelne Teile der Wertschöpfungskette können teurer werden, die Gesamtkette bleibt aber oft hochwertiger oder sogar günstiger – und damit konkurrenzfähig.

Welche Innovation aus dem Bereich Energietechnologie ist aus Ihrer Sicht besonders wichtig?

Peter Jansens: Ich will da nicht mit einer Innovation antworten, sondern mit einer neuen Denkweise. Was mich hier in Jülich sehr inspiriert, ist das veränderte Selbstbild. Wir arbeiten mit daran, Beiträge für



„Dieser Strukturwandel erfordert auch einen Kulturwandel.“

Prof. Dr. Ir. Peter Jansens,

Mitglied des Vorstands des Forschungszentrums Jülich



die Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen zu leisten. Als ich studiert und promoviert habe, waren wir die Generation, die mit starker Grundlagenforschung alles effizienter machen wollte. Nicht falsch verstehen: Das ist heute unverändert wichtig. Wir forschen heute sowohl an grundlegenden wissenschaftlichen Fragen als auch an Antworten auf gesellschaftliche Herausforderungen. Das [Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft \(HC-H2\)](#) macht beides. Das Cluster war einer der Gründe für meine Bewerbung in Jülich.

Inwiefern?

Peter Jansens: Ich erinnere mich an einen Tag vor vier Jahren, als ich im [Brainergy Park](#) war – dort, wo das Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft entstehen sollte. Das war vor meinem Start beim [Forschungszentrum](#). Damals stand im Park nur ein Container und ich habe dort sechs enthusiastische Pionierinnen und Pioniere getroffen. Heute wird dort Strukturwandel greifbar, weil lokale Lösungen für globale

Herausforderungen entstehen. Dieser Ansatz motiviert mich enorm – er ist so wichtig wie wissenschaftliche Exzellenz. Wasserstoff ist dafür unverzichtbar. Wir hier vor Ort können mit innovativen Wasserstoff-Technologien, die wir in der Anwendung demonstrieren, unmittelbar einen Beitrag leisten.

Sind wir zu kritisch mit Blick auf das eigene Vermögen?

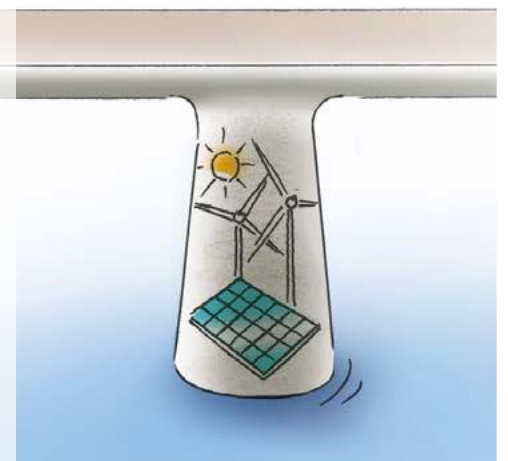
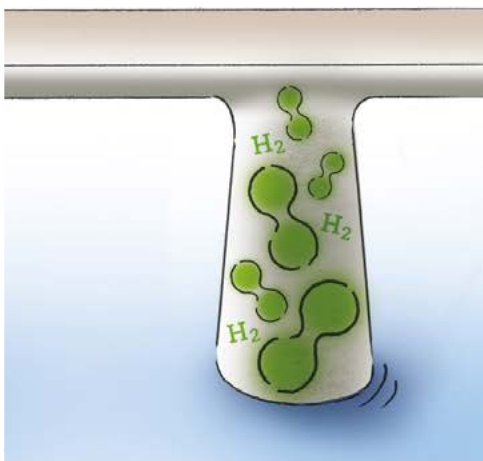
Peter Jansens: Deutschland ist extrem stark in der Entwicklung komplexer Technologien wie Elektrolyseure, Photovoltaik oder Batteriespeicher. Firmen wie Bosch, Siemens oder [Neuman & Esser](#) sind weltweit führend. Wasserstoff-Technologien bestehen nie aus nur einer Komponente, sondern sind Teil eines komplexen Systems. Sie sind einer von mehreren Pfeilern unseres künftigen Energiesystems. Diese Komplexität nutzbar zu machen – darin ist Deutschland stark.

Trotzdem kritisieren vermeintliche Experten oft, Wasserstoff sei zu ineffizient und teuer und könne wenig beitragen.

Peter Jansens: Wenn wir die erneuerbaren Energien weiter ausbauen, bleiben Wasserstoff und seine Derivate unverzichtbar. [Methanol](#) und [Ammoniak](#) sind zwei dieser Derivate, also Moleküle, die auf Wasserstoff aufbauen. Sie sind etabliert – als Rohstoff für die Industrie, Energiespeicher oder Transportmedium. Stoffe wie Methyl-tert-butylether oder flüssige organische Was-

serstoffträger, sogenannte LOHC, (beides sind große Trägermoleküle, in die Wasserstoff eingelagert und später daraus freigesetzt werden kann) haben Potenzial für die Speicherung und den Transport von Energie. Wasserstoff wird nicht überall dominiert, aber mit Sicherheit in Deutschland sehr wichtig sein. Der Westen in Deutschland zum Beispiel hat stets mehr Energie verbraucht als erzeugt. Gleichzeitig ist er technologisch stark. Deshalb brauchen wir Energie-Importe, mit denen wir unsere Bedarfe abdecken. Wasserstoffträger können hier eine wichtige Rolle spielen. Spanien oder Frankreich können mehr Energie selbst herstellen, Deutschland dagegen Lösungen für Speicherung und Transport entwickeln. Deshalb brauchen wir europäische Lösungen: Deutschland braucht Europa für Importe, Europa Deutschland für Technologien.

In diesem Jahr meldete das Forschungszentrum, dass der [Campus in Jülich die Ziele für das Einsparen der CO₂-Emissionen](#), die für 2030 angepeilt waren, schon erreicht hat. Inwiefern leistet das einen Beitrag für die Gesellschaft?





Peter Jansens: Für uns ist es einfacher, neue Technologien zu demonstrieren. Wir investieren stark und liegen vor dem Zeitplan. Darauf sind wir zu Recht stolz. Aber wir zeigen nicht nur Dinge, die bei uns funktionieren. Konzepte wie Wärmeintegration sind übertragbar – z. B. die Abwärme des Supercomputers JUPITER für andere Anwendungen. Es gibt genug großindustrielle Prozesse, deren Abwärme nach dem bei uns gezeigten Prinzip genutzt werden kann. Wir entwickeln und demonstrieren intelligente Energiesteuerung für Gebäude. Dafür ist unser Living Lab Energy Campus als Reallabor da, in dem wir zeigen, wie in Zukunft Energieversorgungssysteme in andere Prozesse integriert werden können.

Eine weitere Mitteilung aus Jülich lautete, dass Golfplätze mehr Flächen beanspruchen als Photovoltaik-Anlagen. Was folgt aus dieser Erkenntnis?

Peter Jansens: Unsere Systemanalyse-Experten zeigen die Folgen von Entscheidungen. Das Ergebnis richtet sich nicht gegen Golfplätze, sondern verdeutlicht: [Energie wird teurer, wenn wir keine Windräder und Photovoltaik in unserer Sichtweite wollen](#). Je weniger wir selbst erzeugen, desto mehr müssen wir importieren. Das erhöht unsere ökonomische und geopolitische Abhängigkeit, vor allem von

Staaten, die fossile Energie exportieren. Wir können außerdem nicht erwarten, dass Spanien überall für uns Photovoltaik-Anlagen baut, weil wir sie nicht bei uns haben wollen. Die Analysen zeigen anschaulich, welche Kompromisse nötig sind. Weniger Anlagen bei uns bedeuten höhere Energiekosten. Deswegen bin ich davon überzeugt, dass ein europäisches System, in das die Staaten ihre Stärken einbringen, stabiler, unabhängiger und günstiger ist.

Welche Schlagzeilen möchten Sie in Zukunft gerne lesen?

Peter Jansens: Zum Beispiel, dass wir mehr Demonstratoren im Rheinischen Revier aufgebaut haben – wie am [Krankenhaus Erkelenz](#), wo wir zeigen, wie ein großer Verbraucher mit Wasserstoff versorgt werden kann. Ich möchte Schlagzeilen über Lösungen für Bauernhöfe oder Industrieunternehmen lesen und für große Transportmittel wie Schiffe, Züge und Lkw. Und dass wir mit unseren Ergebnissen zur Akzeptanz neuer Technologien beitragen.

Ganz generell: Welchen Blick haben Sie als Niederländer auf Deutschland?

Peter Jansens: Deutschland war immer stark in Wissenschaft und Technologie. In

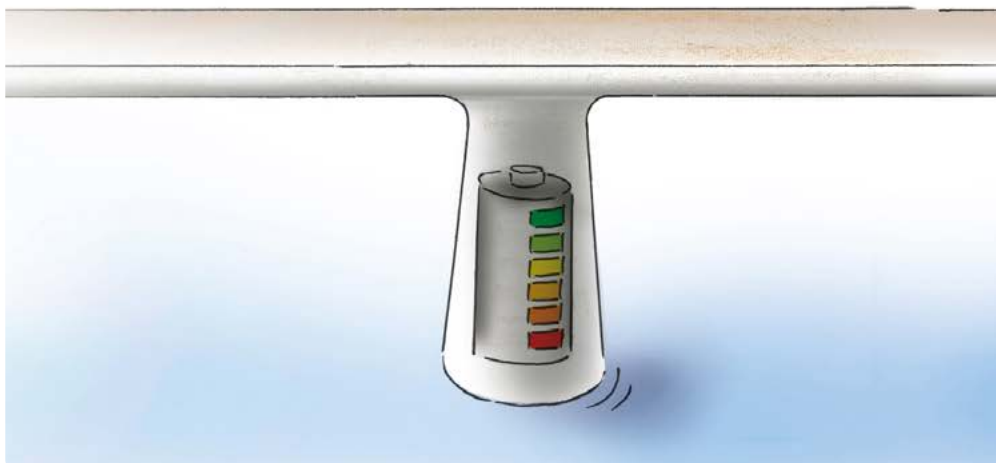
der Energiewende ist es gut unterwegs, weil es viel Wissen hat und mit Entschlossenheit und Mut vorangeht. Das muss es auch, da Deutschland seinen Energiebedarf nie allein gedeckt hat und immer gute Lösungen für das Speichern und Transportieren von Energie gebraucht hat. Politik und Gesellschaft verstehen die Bedeutung neuer Technologien. Deshalb arbeite ich hier gerne.

Woran liegt es, dass Deutschland sich trotz der vielen guten Lösungen schwertut?

Peter Jansens: Deutschland hat sehr gut erkannt, dass es mit Blick auf die Energieversorgung der Zukunft einen Strukturwandel braucht, den es mutig umsetzt. Aber dieser Strukturwandel erfordert auch einen Kulturwandel. Und das ist für Deutschland schwerer. Es geht darum, die Agilität zu erhöhen und Bürokratie zu verschlanken. Deutschland sollte mehr auf das Ergebnis schauen, statt über den Prozess zu diskutieren. Es sollte wichtiger sein, Erfolge zu belohnen, statt auf Fehler zu zeigen. Und es ist wichtig, zu erkennen, dass wir unsere Ziele nicht erreichen, wenn wir unser Pferd bis zum Tod reiten. Deswegen müssen wir die Bereitschaft belohnen, für jede Aufgabe das beste Pferd zu finden.

Sie haben über den Importbedarf in Deutschland gesprochen. Die Pläne, dass Wasserstoff aus Afrika importiert werden soll, bezeichnen Kritiker als neue Art des Kolonialismus.

Peter Jansens: Wer solche Vorwürfe erhebt, kennt unsere Programme nicht. Der [Wasserstoff-Atlas Afrika](#) qualifiziert junge Menschen vor Ort mit einem [Master-Programm](#). So können Länder mit eigenen Experten eine eigenständige Wasserstoff-



Ökonomie aufbauen und Partner auf Augenhöhe werden. Der Atlas berücksichtigt politische, soziale, ökologische und ökonomische Aspekte. So schließen wir aus, dass wir den Kolonialismus neu auflegen.



Neben dem Kolonialismus-Vorwurf haften Wasserstoff verschiedene Vergleiche an. Er soll der Champagner der Energiewende sein, weil er selten und teuer ist. Oder er ist ein Schweizer Taschenmesser, das alles kann, aber trotzdem ungenutzt bleibt, weil der Mensch für jede Anwendung ein Spezialwerkzeug benutzt. Welcher Wasserstoff-Vergleich passt aus Ihrer Sicht?

Peter Jansens: Wasserstoff ist für mich ein wichtiger Pfeiler der Brücke, über die wir von einem fossilen Energiesystem in Richtung eines grünen, nachhaltigen und günstigen Energiesystems gehen. Diese Brücke hat mehrere Pfeiler: Batteriespeicher, Stromnetz, intelligente Steuerung, erneuerbare Energien und Wasserstoff. Wir brauchen

jeden davon. Sie bereiten den Weg in Richtung Netto-null-Treibhausgasemissionen. Wasserstoff ist also eine Brückentechnologie, allerdings nicht im Sinn einer befristeten Übergangstechnologie. Wasserstoff wird lange eine tragende Rolle haben.

Dieses grüne, nachhaltige und günstige Energiesystem der Zukunft könnte so aussehen: bitte umblättern. >>>



Zur Person

Peter Jansens (57) ist seit Januar 2023 Vorstandsmitglied des Forschungszentrums Jülich und für die Bereiche zuständig, die zur Energiewende forschen. Der Chemie-Ingenieur studierte und promovierte in Delft, arbeitete für Shell in Amsterdam und Singapur und lehrte später als Professor für Trenntechnik an der TU Delft. Von 2008 an war er in leitenden Positionen beim Chemiekonzern DSM tätig, zuletzt als CEO des Joint Ventures Olatein. 2005 erhielt er als erster ausländischer Wissenschaftler den Preis der deutschen Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA) für Arbeiten zur Kristallisation.

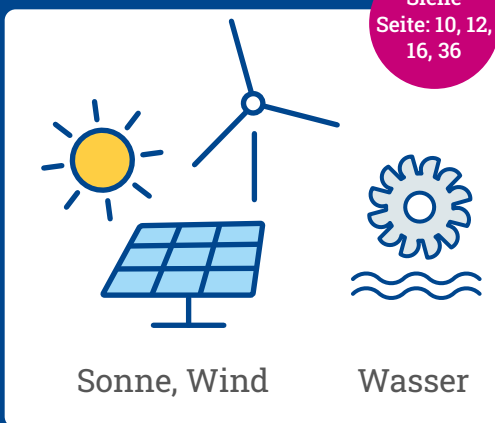


Hier geht's zum Interview 2024

Die Rolle des Wasserstoffs im

PRODUKTION

GRÜNE STROMERZEUGUNG

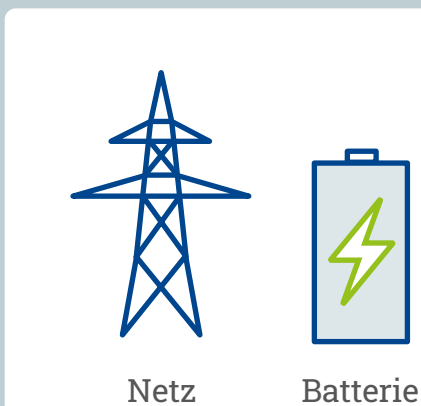


ELEKTROLYSE



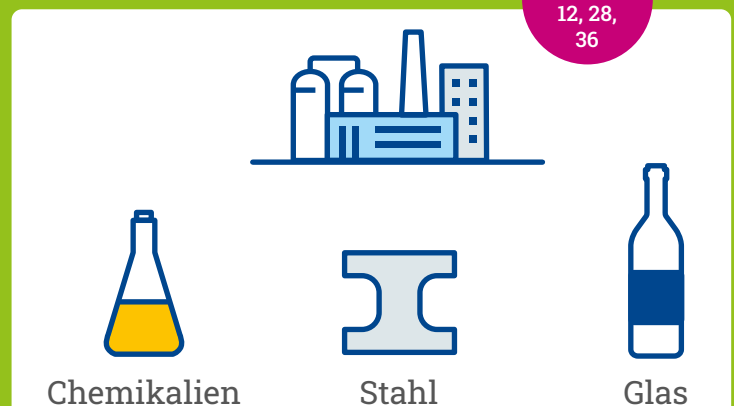
NUTZUNG STROM

DIREKTE NUTZUNG DES GRÜNEN STROMS



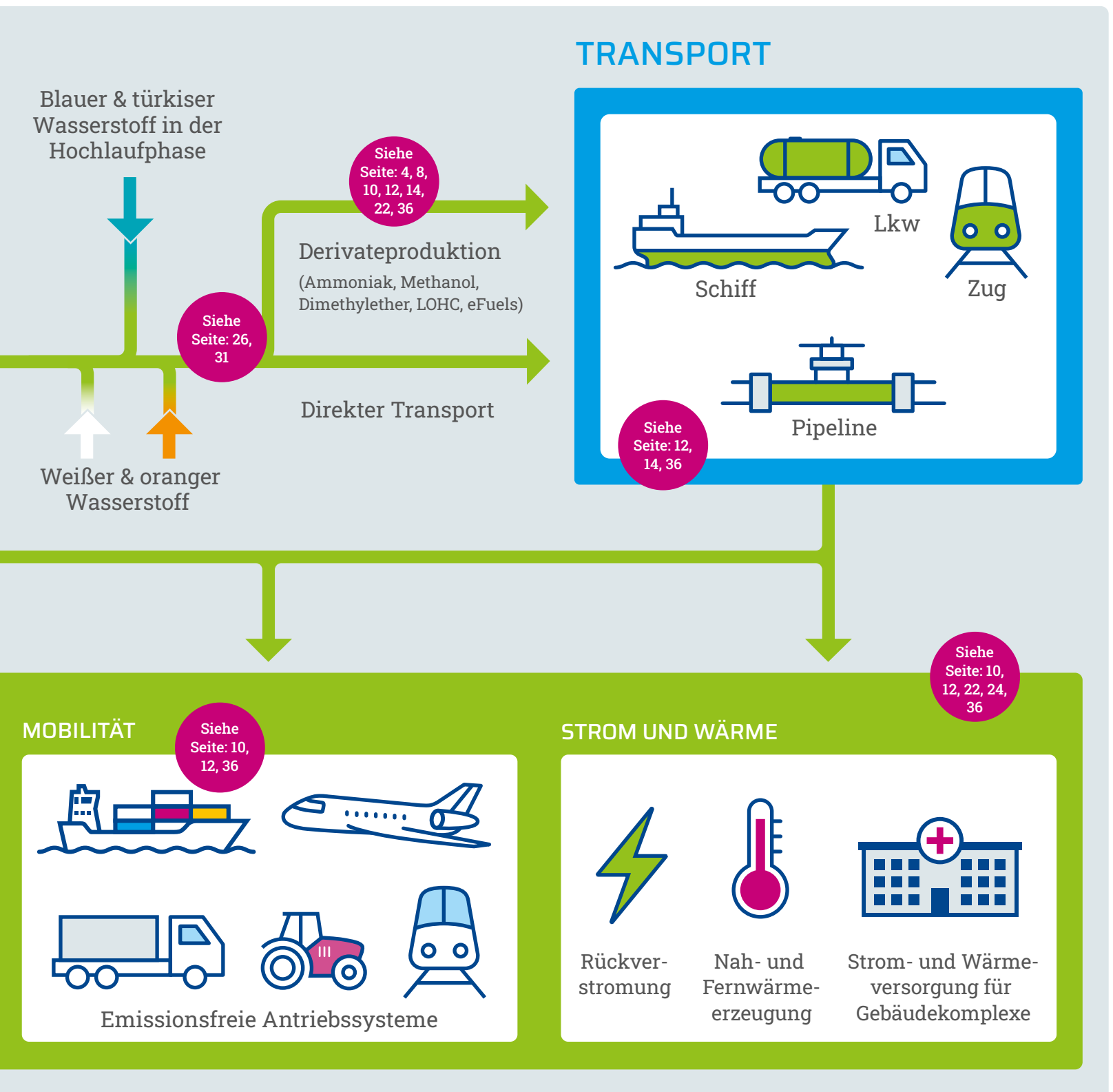
NUTZUNG WASSERSTOFF

ROH-/BRENNSTOFFE IN DER INDUSTRIE



Siehe Seite: 16

Energiesystem der Zukunft



So sieht infrastrukturkompatibel aus

Infrastrukturkompatibel ist ein sperriger Begriff. Er hat nur sieben Buchstaben weniger als Bezirksschornsteinfegermeister. Während das letztgenannte Wort ungetüm Bilder von Menschen in schwarzer Kleidung mit rußigem Gesicht und Spezialwerkzeug hervorruft, bleibt bei ersterem das Kopfkino eher aus. „Irgendetwas Neues, das in etwas Bestehendes passt“ wäre eine gute Antwort bei einer Straßenumfrage.

Im Forschungszentrum Jülich entsteht eine Anlage, die zum Sinnbild für Infrastrukturkompatibilität werden könnte: der [One-Reactor](#). Er wird in die Energiezentrale [1](#) eingebunden, die Strom, Wärme und Kälte für den Campus bereitstellt. Was den neuen Reaktor besonders macht: Er kann Wasserstoff nicht nur in ein spezifisches Trägermolekül speichern, sondern auch freisetzen – erstmals außerhalb eines Labors. Bildlich gesprochen hat er einen Vorwärts- und einen Rückwärtsgang.

„Für uns ist der One-Reactor [2](#) eine große Spielwiese“, sagt Dr. Michael Geißelbrecht vom [Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg](#)

für [erneuerbare Energien \(HI ERN\)](#), einer Außenstelle des Forschungszentrums Jülich. Mit „Spielwiese“ meint der Chemie-Ingenieur die Chance, eine neue Technologie unter echten Bedingungen zu testen. Deshalb ist der Reaktor Teil des Projekts [Living Lab Energy Campus \(LLEC\)](#), das Innovationen auf ihre Alltagstauglichkeit prüft.

Im Mittelpunkt steht die sogenannte [LOHC-Technologie](#) – das steht für Liquid Organic Hydrogen Carrier, also flüssige organische Wasserstoffträger. Dabei übernehmen bestimmte Moleküle die Aufgabe, Wasserstoff sicher zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben – ähnlich wie eine Pfandflasche. Im One-Reactor kommt dafür das Wärmeträgeröl Benzyltoluol zum Einsatz.





„Für uns ist der One-Reactor eine große Spielwiese.“

Dr. Michael Geißelbrecht,

Teamleiter am Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN),
Forschungszentrum Jülich

Eine warme Gutschrift

Die Anlage in Jülich ist die erste ihrer Art, die neun Kilogramm Wasserstoff pro Stunde sowohl in LOHC speichern als auch daraus freisetzen kann – das entspricht etwa 300 Kilowatt Leistung, vergleichbar mit einem Stadtbuss. Damit ist sie zehnmal leistungsfähiger als bisherige Laborsysteme. „Für industrielle Maßstäbe ist das noch klein. Aber wir gewinnen Erkenntnisse, wie wir größere Anlagen konzipieren können – etwa im Hinblick auf die Stabilität von Katalysatoren oder Bauteilen“, sagt Betriebsingenieur Martin Sengewald vom [Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft](#). Warum gilt die LOHC-Technologie als infrastrukturkompatibel? Sie lässt sich in bestehende Systeme einfügen. Tanklager, Leitungen oder Tank-Lkw für Diesel oder Öl können genutzt werden. Bei der Nutzung von LOHC spielt Wärme eine zentrale Rolle – ein Pluspunkt im Zusammenspiel mit der Energiezentrale ①. Wird Wasserstoff in die Trägerflüssigkeit gespeichert, entsteht Wärme, die ins Wärmenetz eingespeist wird. „So erhalten wir eine Art Gutschrift, die wir einlösen können“, erklärt Michael Geißelbrecht. Beim Freisetzen braucht es Wärme – die liefert die Energiezentrale.

Mehrere Synergieeffekte

Die chemischen Prozesse scheinen wie für die Energiezentrale gemacht. Für das Freisetzen des Wasserstoffs – die sogenannte Dehydrierung – ist Wärme auf einem Temperaturniveau von rund 300 Grad Celsius nötig. Beim Einlagern, der Hydrierung, ent-

steht Wärme bei etwa 200 Grad Celsius. Die Energiezentrale produziert mit den drei Blockheizkraftwerken Abgas bei rund 500 Grad Celsius. Über den Umweg One-Reactor bleibt nach der Wasserstoff-Freisetzung noch ein ausreichendes Temperaturniveau im Abgas zur Einspeisung ins Nahwärmenetz übrig. Ohne diesen Synergieeffekt müsste die nötige Dehydrierwärme zusätzlich erzeugt werden. Ein weiterer Vorteil: Auch die 200 Grad Celsius Wärme aus der Hydrierung kann ins Wärmenetz eingespeist werden. Durch die Gutschrift sinkt der Energiebedarf für die Wasserstoffspeicherung. Der freigesetzte Wasserstoff wird der Energiezentrale zugeführt, um daraus Strom und Wärme zu gewinnen.



Das Team verfolgt zwei weitere Ziele. Im Unterschied zu Akkus eignet sich die LOHC-Technologie für große Energiemengen, die nur gelegentlich gespeichert oder abgerufen werden. Normalerweise braucht man dafür zwei Reaktoren. In Jülich reicht einer. Dank kurzer Be- und Entladungszyklen lässt sich im One-Reactor in einer Art Zeitraffer untersuchen, wie Katalysatoren und Bauteile für die Langzeitnutzung optimiert werden können. Zweitens: Das System soll intelligent auf Überschüsse reagieren. Wenn viel grüner Strom aus Sonnen- oder Windenergie

verfügbar ist, wird er genutzt, um Wasserstoff herzustellen, den der Reaktor in LOHC speichert. Fehlt Strom, wird Wasserstoff aus dem LOHC freigesetzt und verstromt.

Vorwärts- und Rückwärtsgang

Eine Kombination mit einer zweiten Technologie, die in Jülich erforscht wird, der [reversiblen Brennstoffzelle](#), halten Michael Geißelbrecht und Martin Sengewald für spannend. Sie hat im übertragenen Sinn ebenfalls einen Vorwärts- und einen Rückwärtsgang: Sie kann Strom investieren, um Wasserstoff zu erzeugen, und diesen später wieder in Strom umwandeln. Dabei entsteht Abwärme von rund 800 Grad Celsius. Zwei Geräte mit Vorwärts- und Rückwärtsgang, bei denen Wasserstoff und Wärme zentrale Rollen spielen, in einem System vereint – „das hätte großes Potenzial“, sagen beide.

Haben Sie jetzt ein klareres Bild davon, was infrastrukturkompatibel bedeuten kann? Und was fällt Ihnen zum Wort „Kehrhexe“ ein? Ein simpel strukturiertes Wort – aber haben Sie auch an eines der Werkzeuge des Bezirksschornsteinfegermeisters gedacht?

[Passt zum One-Reactor: eine Brennstoffzelle mit einem Vorwärts- und einem Rückwärtsgang.](#) >>>



Ein Blog zum Thema Energie

2-in-1-Energiewandler

Im zukünftigen Energiesystem wird das Angebot an grünem Strom stark variieren – mal ist er reichlich vorhanden, mal Mangelware. Um Angebot und Nachfrage auszugleichen, könnten Wasserstoff-Kraftwerke Energie in Form von Gas speichern und bei Bedarf wieder liefern. Gibt es nicht? Doch. Jülicher Forscher haben eine solche Demonstrationsanlage, meist als **reversible Festoxid-Zelle** bezeichnet, entwickelt und erprobt. Jetzt arbeiten sie an der nächsten Generation, die den Weg zur industriellen Serienfertigung ebnen soll.



Brennstoffzellen treiben unter anderem Wasserstoffbusse an oder versorgen Datenzentren unabhängig vom öffentlichen Netz mit Strom. Ihre Praxistauglichkeit als saubere und leise Energiewandler haben sie bewiesen, auch wenn sie sich noch nicht auf breiter Front durchgesetzt haben. Die Festoxid-Variante dieser Brennstoffzellen (**Solid Oxide Fuel Cell**, SOFC), die in Jülich bei einer Temperatur zwischen 700 und 750 Grad Celsius betrieben wird, gilt als besonders geeignet etwa für Blockheizkraftwerke. Diese erzeugen Strom für Wohnsiedlungen, wobei die dabei anfallende Wärme ebenfalls genutzt wird. Das erhöht die Effizienz der Energieumwandlung.

Wie alle Brennstoffzellen setzen SOFC den Wasserstoff mit Luftsauerstoff zu nichts als Wasser um – ein Vorgang, der in Elektrolyse-Anlagen umgekehrt abläuft: Dort wird Wasser unter Stromverbrauch in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten, um Energie in Form von Wasserstoff zwischenspeichern und bei Bedarf rückzuverstromen.

Eine Anlage statt zwei

Benötigt man wirklich zwei Anlagen für einen einzigen umkehrbaren Prozess? Die Wissenschaft weiß seit Jahrzehnten, dass sich eine SOFC auch im Elektrolyse-Modus

betreiben lässt. Doch erst mit dem schrittweisen Abschied von fossilen Brennstoffen rückte diese Möglichkeit wieder in den Blickpunkt.

Der große Vorteil einer reversiblen Festoxid-Zelle wären Kosteneinsparungen: „Man benötigt statt zwei Anlagen nur eine: Man bezahlt die Elektrolyse und bekommt die Brennstoffzelle gratis dazu“, erklärt Dr. Remzi Can Samsun vom **Institute of Energy Technologies** (IET-1) des Forschungszentrums Jülich. Aber nicht nur die Anschaffung wird günstiger, betont Roland Peters vom Jülicher **Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft** (INW): „Die Anlage bleibt nicht ungenutzt, wenn die

„Man bezahlt die Elektrolyse und bekommt die Brennstoffzelle gratis dazu.“

Dr. Remzi Can Samsun,

Abteilungsleiter am Institute of Energy Technologies (IET-1),
Forschungszentrum Jülich



Energieumwandlung in eine Richtung gerade nicht gebraucht wird, sondern arbeitet dann einfach in die andere Richtung.“ Dadurch sinken auch die Betriebskosten. Da der Nutzen der Technologie von den Möglichkeiten der Wasserstoffspeicherung abhängt, ist die enge Kooperation zwischen IET und INW entscheidend.



Roland Peters

Bereits im Jahr 2018 haben Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich um Roland Peters eine reversible Festoxid-Anlage entwickelt, die im Brennstoffzellen-Modus 5 Kilowatt Gleichstrom erzeugen und im Elektrolyse-Modus 15 Kilowatt Gleichstrom aufnehmen konnte. Sie analysierten die physikalischen und chemischen Prozesse beim Betrieb der Anlage und untersuchten nach dem Betrieb die Veränderungen der Materialien und Komponenten. Die gewonnenen Erkenntnisse nutzten sie zur Entwicklung eines optimierten Systems mit höherer Leistung. Die aktuelle Anlage erzeugt im Brennstoffzellen-Betrieb genug Strom (13 Kilowatt), um zehn Waschmaschinen gleichzeitig zu betreiben. Wechselt man den Modus, so kann sie bis zu 50 Kilowatt Wechselstrom aufnehmen, um pro Stunde 11,7 Kubikmeter Wasserstoff zu produzieren. Diese Menge entspricht dem

durchschnittlichen Energiebedarf von 60 Haushalten und kann als Energiereserve für längere Zeiträume gespeichert werden. Das System enthält vier Stapel, in der Fachsprache Stacks genannt, mit jeweils 80 Festoxid-Zellen. Diese sind mit Wärmeüberträgern und elektrisch beheizten Platten kombiniert.

Das Potenzial der Einbindung

„Die Energieumwandlung ist in beiden Betriebsmodi sehr effizient, und das in einem einzigen reversiblen Aufbau“, betont Remzi Can Samsun. „Rund 71 Prozent Wirkungsgrad bei der Wasserstoff-Erzeugung und etwa 63 Prozent bei der Stromerzeugung sind Werte, die mit denen moderner Niedertemperatur-Elektrolyseure beziehungsweise Niedertemperatur-Brennstoffzellen vergleichbar sind oder diese sogar übertreffen.“ Roland Peters ergänzt: „Bindet man die Anlage in Industrieprozesse ein, bei denen Abwärme etwa in Form von Wasserdampf entsteht, so sind noch deutlich höhere Wirkungsgrade möglich, ein weiteres Alleinstellungsmerkmal der reversiblen Technologie.“

Das Festoxid-System verlor während eines Testbetriebs, bei dem 500-mal zwischen beiden Modi hin- und hergeschaltet wurde, nichts von seiner Leistungsfähigkeit. Es ist Teil der Forschungsaktivitäten des [Living Lab Energy Campus](#), des Reallabors für zukünftige Energiesysteme des Forschungszentrums Jülich.

„Das System hatte nie den Anspruch, in die industrielle Fertigung zu gehen, sondern sollte beweisen, dass die Technologie funktioniert und Leistungen bietet, die für verschiedene Anwendungen interessant sind“, sagt Remzi Can Samsun. Er koordiniert das vom Bundesforschungsministerium geförderte [Projekt PHOENIX](#), in dem unter anderem verschiedene Institute des Forschungszentrums am nächsten Schritt der Festoxidzellen-Technologie arbeiten. Die Forscher entwerfen ein neues Stack-Design, damit dieses Kernstück des Systems mit weniger Material und wirtschaftlich attraktiven Verfahren gefertigt werden kann. „Unser Ziel ist der Transfer der reversiblen Festoxid-Zellen-Technologie in die Industrie“, erklärt Remzi Can Samsun. Das ist auch der Grund, warum das System in einen Container integriert wird: So kann es als mobiler Demonstrator dienen, den Unternehmen im Rheinischen Revier in einigen Jahren vor Ort und für ihre Zwecke testen können.

[Klimafreundlicher Wasserstoff muss nicht zwangsweise mit einem Elektrolyseur hergestellt werden. Oranger Wasserstoff beweist das. Wie? Auf der nächsten Seite.](#)

>>>



Mehr zum Thema 2-in-1

Orange ist das andere Grün

Wasserstoff ist ein farbloses Gas. Wenn trotzdem von den **Farben des Wasserstoffs** die Rede ist, geht es um die Art, wie er hergestellt wird – und wie klimafreundlich das Ganze ist. Eine Wasserstofffarbe ist eigentlich klar zu erkennen – und trotzdem irgendwie unklar. Denn oranger Wasserstoff wird unterschiedlich definiert. Die künstliche Schreibintelligenz ChatGPT spuckt folgende Definition aus: „Oranger Wasserstoff ist eine Kategorie in der Farbklassifikation von Wasserstoff, die auf die Herstellung aus Biomasse oder Abfällen hinweist. Er wird durch thermochemische Vergasung oder Pyrolyse von biogenen Rohstoffen produziert. Diese Methode kann klimafreundlich sein, wenn nachhaltige Biomasse verwendet wird, da das bei der Verbrennung freigesetzte Kohlenstoffdioxid (CO₂) zuvor von den Pflanzen gebunden wurde.“

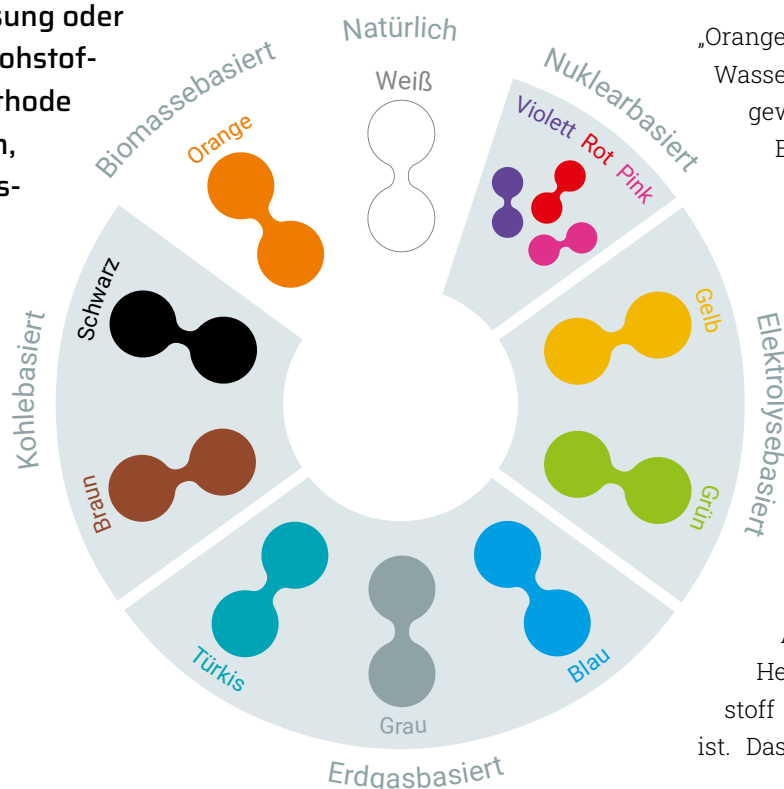
Oranger Wasserstoff ist also grün, wenn der eingesetzte Kohlenstoff biogen ist, also aus lebenden oder – erdgeschichtlich gesehen – erst kürzlich abgestorbenen Organismen stammt, natürlich abgebaut werden und auf natürliche Weise in die Atmosphäre gelangen kann. Kohlenstoff kann aber auch im langfristigen **Kreislauf** zirkulieren, etwa in Sedimenten oder fossilen Brennstoffen wie Kohle und Öl. Dieser Kohlenstoff gelangt nur mit Naturkatastrophen wie Vulkanausbrüchen in die Atmosphäre, oder weil der Mensch ihn verbrennt. Letzteres ist Hauptursache für die aktuelle Erderwärmung.

Eine Frage des Kreislaufs

Mit Blick auf das Klima ist die CO₂-Bilanz im Fall von biogenem Kohlenstoff daher im besten Fall ein Nullsummenspiel, also klimaneutral. Denn das CO₂, das emittiert wird, ist vorher im kurzfristigen Kreislauf gebunden worden. Wenn der Kohlenstoff sich bereits im langfristigen Kreislauf befunden hat – wie bei Kohle oder Öl –, dann ist die Bilanz des orangen Wasserstoffs für das Klima nicht mehr neutral, weil dieser Kohlenstoff die Konzentration in der Atmosphäre zusätzlich zum natürlichen Vorkommen erhöht. Das kann auf die thermochemische Verarbeitung von Abfällen zutreffen, beispielsweise auf Plastik, das aus fossilem Kohlenstoff gewonnen wird, aber nicht biologisch abgebaut werden kann.

„Oranger Wasserstoff ist für mich grüner Wasserstoff, wenn der Abfall, aus dem er gewonnen wird, auf Biomasse basiert. Es gibt auch Abfälle, bei denen wir eigentlich über fossil produzierten Wasserstoff sprechen müssten. Daher ist oranger Wasserstoff als Begriff etwas verwirrend, und man muss genau hinschauen, wie der Abfall zusammengesetzt ist“, sagt Prof. Andreas Peschel, Direktor am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft des Forschungszentrums Jülich.

Andreas Peschel erklärt, dass die Herstellung von orangem Wasserstoff mit einer Hausaufgabe verbunden ist. Das mache orangen Wasserstoff zu





einem Spezialthema, das aber für einige Nischen relevant sein kann. „Wenn wir biomassebasierten Abfall als Ausgangspunkt betrachten, dann müssen wir schauen, was wir mit dem Kohlenstoffanteil machen“, erklärt Andreas Peschel. Es sei nicht nur wichtig, die Abgabe von Kohlenstoff an die Atmosphäre in Form von CO_2 zu verhindern. Er sei auch ein wertvoller chemischer Wertstoff.

Grüner Treibstoff

„Anstatt orangen Wasserstoff zu erzeugen, können wir diesen Rohstoff besser in Richtung kohlenstoffbasierter Moleküle spielen: also Verbindungen von Wasserstoff und Kohlenstoff – sogenannten **Wasserstoff-Derivaten** wie Dimethylether, Ethanol oder Methanol. Da ergeben sich sinnvolle Anwendungen, etwa als Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen oder für die Chemie“, beschreibt Andreas Peschel. Für solche orangen Derivate gebe es gute Anknüpfungspunkte in der Region. Denn im Rheinischen Revier sind Landwirtschaft und **Bioökonomie** sehr stark

vertreten. Auch möglich sei, die Biomasse in Wasserstoff umzuwandeln und den Kohlenstoff einzuspeichern oder als festen Kohlenstoff (Biokohle) zu gewinnen.



Für das Potenzial der Wasserstoff-Produktion auf der Basis von Biomasse gebe es allerdings einen limitierenden Faktor, wie Andreas Peschel ausführt: „Für sehr viel Biomasse gibt es bessere Wertschöpfungsketten. Etwa in der Zuckerproduktion: Die Rüben werden zu Zucker verarbeitet.“ Die verbleibende Biomasse werde beispielsweise oft zu Rübenhackschnitzeln verarbeitet, mit denen Rinder gefüttert werden. Diese enthielten wertvolle Stoffe, die höherwertig seien als die Umwandlung in Wasserstoff in einem Biogasreaktor. Wenn man diese Nahrungsquelle entziehe, müsse man Ersatz anbauen – das koste. „Meistens

gibt es bereits gute Nutzungen und damit eine Wertschöpfungskette für diese Biomasse. Und die ergeben meistens mehr Sinn, als Strom oder Wasserstoff daraus herzustellen.“

Das lohne sich nur bei wirklichen Reststoffen, die heute verbrannt werden. Davon unabhängig gebe es Energiequellen, die meistens besser für die Wasserstoffproduktion geeignet sind: Sonnen- und Windenergie. Damit sind wir wieder bei grünem Wasserstoff, der mithilfe von grünem Strom hergestellt wird.

Klimafreundlicher Wasserstoff kann helfen, die Metallproduktion neu zu denken. Wie bei unserem Vorhaben in der Eifel, das eine Seite weit entfernt ist. >>>



Mehr zu den Farben des Wasserstoffs

HyHeat

Mit Wasserstoff zur klimafreundlicheren Metallverarbeitung



Wenn Metalle ihre Form oder Härte ändern sollen, braucht es meistens vor allem eines: Wärmebehandlung. Doch die dafür nötigen industriellen Hochtemperaturprozesse verursachen oft große Mengen des klimawirksamen Gases Kohlenstoffdioxid (CO₂). Hier setzt das **Demonstrationsprojekt HyHeat** an: Gemeinsam arbeiten die **schwartz Gruppe aus Simmerath**, Weltmarktführer im Bereich Wärmebehandlungsanlagen für das Presshärten, und das Forschungszentrum Jülich an Lösungen, um diese Emissionen zu reduzieren. Herzstück sind innovative Multifuel-Brenner, die auch mit Wasserstoff betrieben werden können.

HyHeat ist ein Vorhaben des [Helmholtz-Clusters für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft \(HC-H2\)](#), bei dem das Forschungszentrum Jülich mit Partnern aus dem Rheinischen Revier kooperiert. Ziel des HC-H2 ist, den Markteintritt wasserstoffbasierter, klimafreundlicher Technologien zu beschleunigen und neue Wirtschaftskraft im Zuge des Braunkohleausstiegs 2030 zu schaffen.

Weltmarktführer aus Simmerath

Die schwartz Gruppe mit 250 Mitarbeitern an zehn Standorten weltweit entwickelt und produziert seit über 40 Jahren Wärmebehandlungsanlagen für Stahl, Aluminium und Nicht-Eisenmetalle. Im Kern des Demonstrationsvorhabens steht die emis-

sionsarme Wärmebehandlung von presshärtbaren Stahlplatten – zugeschnittene oder vorgestanzte Blechteile, wie sie etwa als Ausgangsmaterial im modernen, automobilen Karosserieleichtbau verwendet werden. Die Stahlplatten werden in einem komplexen Verfahren auf über 900 Grad Celsius erhitzt. So lassen sie sich härten und gut verformen. Das geschieht im nachgelagerten Prozessschritt in einem gekühlten Presswerkzeug. Die schwartz Gruppe beliefert Industriekunden weltweit mit entsprechenden Wärmebehandlungsanlagen.

Am Hauptsitz in Simmerath installiert das Unternehmen bis Jahresende erstmals eine Anlage, deren Brenner mit Wasserstoff, Erdgas, Propan oder Brenngasgemischen betrieben werden können. Diese sogenannten Multifuel-Brenner hat das Tochterunternehmen [Econova GmbH](#) entwickelt.

Nach dem Aufbau der Anlage in Simmerath folgt der Demonstrationsbetrieb, mit dem das Unternehmen und das Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft des Forschungszentrums Jülich bis Ende 2026 zeigen wollen, dass ein flexibler Einsatz von wasserstoffhaltigen Brenngasen ohne Qualitätseinbußen beim Produkt möglich ist. Das [Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt \(BMFTR\)](#) fördert das Vorhaben mit 1,71 Millionen Euro bei einem Gesamtvolumen von 2,44 Millionen Euro.



Dr. Rolf-Dieter Jungk



Frank Wilden



Alexander Wilden

Technologien ,made in Germany‘

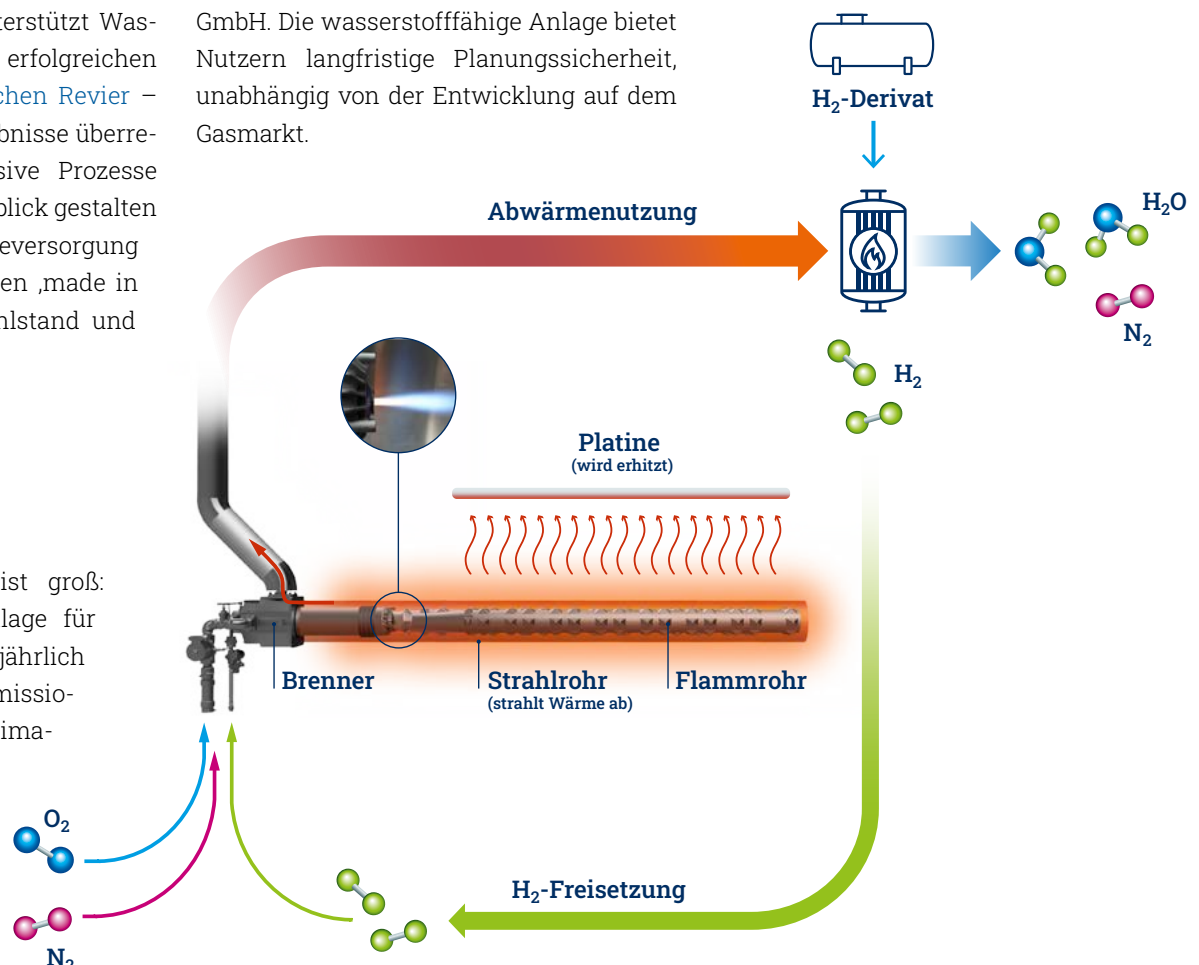
Dr. Rolf-Dieter Jungk, Staatssekretär im BMFTR, erklärt dazu: „Durch die Förderung dieses Projekts leisten wir einen wichtigen Beitrag für eine klimabewusste Metallverarbeitung. Wasserstoff ist der Schlüssel, um den gesamten CO₂-Fußabdruck für Metallbauteile zu reduzieren. Mehr noch: Dieses Demonstrationsprojekt ermöglicht flexible Industrieprozesse, mindert Abhängigkeiten und verankert Wasserstoff im ländlichen Raum. Heute unterstützt Wasserstoffforschung einen erfolgreichen Strukturwandel im Rheinischen Revier – morgen lassen sich die Ergebnisse überregional auf emissionsintensive Prozesse übertragen. Mit diesem Weitblick gestalten wir gemeinsam die Energieversorgung der Zukunft: Mit Technologien ‚made in Germany‘ schaffen wir Wohlstand und schützen das Klima.“

Flexibilität und CO₂-Einsparung

Das CO₂-Einsparpotenzial ist groß: Eine Wärmebehandlungsanlage für das Presshärten verursacht jährlich bis zu 3.000 Tonnen CO₂-Emissionen. „Die Nachfrage nach klimafreundlich hergestellten Bauteilen wächst. Neben der elektrisch beheizten Wärmebehandlung sind

Systeme mit Brenngasen weiter stark gefragt. Wir wollen unseren Kunden die hier größtmögliche Flexibilität geben. Mit einer Anlage, wie wir sie bei HyHeat demonstrieren, haben die Kunden später die Möglichkeit, die Brenngaszusammensetzung im laufenden Betrieb ohne Modifikation der Beheizungseinrichtung zu variieren. Dabei erkennt die Anlage automatisch das zugeführte Brenngas beziehungsweise Brenngasgemisch und passt leistungskonstant die Verbrennungsregelung an“, sagt Frank Wilden, Technischer Leiter der schwarz GmbH. Die wasserstofffähige Anlage bietet Nutzern langfristige Planungssicherheit, unabhängig von der Entwicklung auf dem Gasmarkt.

„Uns ist wichtig, die Innovation der Wärmebehandlungsanlagen voranzutreiben. Mit dem Demonstrationsvorhaben und der späteren Anwendung in der Praxis leisten wir einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz und wir zeigen unseren Kunden, wie sie Wasserstoff integrieren können“, erklärt Inhaber und Geschäftsführer Alexander Wilden die Motivation der Unternehmensgruppe.





„Für ein Gelingen der Energiewende benötigen wir flexible Technologien.“

Philipp Morsch,

Teamleiter am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW-4),
Forschungszentrum Jülich

Die Suche nach dem passenden Speicher

Das Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) des Forschungszentrums Jülich prüft im Rahmen von HyHeat mit Simulationen, welche Speichertechnologie am besten geeignet ist, wenn keine Pipeline-Versorgung mit Wasserstoff möglich ist. Besonders hat das Team des INW dabei chemische Speichermöglichkeiten im Blick, bei denen Wasserstoff in ein größeres Molekül eingebunden und so einfacher gespeichert und transportiert werden kann. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Wärmeintegration.

Die innovativen Wärmebehandlungsanlagen der schwarz Gruppe erwärmen die Platinen indirekt. Die Flamme des Brenners erhitzt ein Metallrohr von innen, das die Wärme dann über die Außenseite an die Stahlplatine abgibt. Das heiße Abgas tritt aus dem Rohr aus, ohne mit den Platinen in Kontakt zu kommen. „Wir wollen die im Abgas enthaltene Energie für den Freisetzungsprozess des Wasserstoffs aus dem größeren Molekül nutzen“, sagt Philipp Morsch, der die wissenschaftliche Begleitung des INW koordiniert. Temperaturen von mindestens 290 Grad Celsius sind notwendig, um Wasserstoff aus dem Trägermolekül freizusetzen. Dafür soll die bisher ungenutzte Abwärme integriert werden.

„Eine Herausforderung ist die zeitlich nicht konstante Abwärme, da die Brenner häufig

ein- und ausgeschaltet werden. Wir wollen herausfinden, welcher chemische Wasserstoffspeicher für diese Bedingungen am besten geeignet ist“, erklärt Philipp Morsch. Chemische Wasserstoffspeicher sind größere Trägermoleküle wie beispielsweise Dimethylether, Methanol oder sogenannte LOHC (Liquid organic hydrogen carrier, also flüssige organische Wasserstoffträger), die Wasserstoff binden und bei Bedarf freisetzen. Das entladene Trägermolekül bleibt zurück und kann, ähnlich dem Prinzip einer Pfandflasche, erneut mit Wasser-

stoff beladen werden. Das Be- und Entladen heißt Hydrieren beziehungsweise Dehydrieren. Mit solchen Pfandflaschen-Lösungen können künftig Verbraucher ohne Pipeline-Anschluss betriebssicher versorgt werden.



Mehr über HyHeat

DATEN UND FAKTEN

2.000



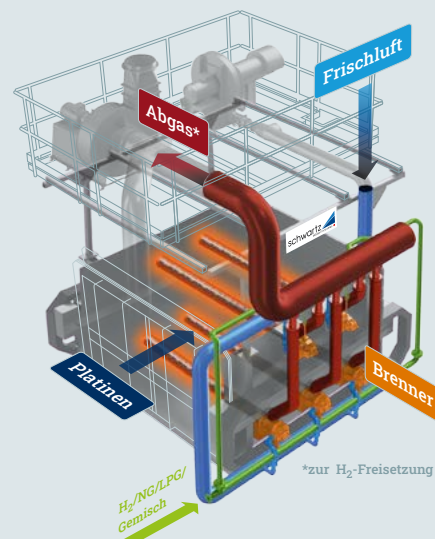
Tonnen CO₂-Ersparnis
pro Jahr möglich

3



Brenngase

ermöglichen hohe Flexibilität
und Planungssicherheit



Ein **Vielfraß** und Ausbeuter

Ein Bakterium, das ein **Forscherteam der University of California** Mitte der 1980er Jahre im Golf von Neapel gefunden hat, hat eine besondere Eigenschaft. „*Thermogata neapolitana* ist ein richtiger Vielfraß, und er erzeugt dabei Wasserstoff mit hohem Reinheitsgrad“, sagt **Prof. Nils Tippkötter**, der als Bioverfahrenstechnologe am Jülicher Campus der Fachhochschule Aachen daran arbeitet, diese Eigenschaft zu nutzen.

Das Rezept zur **Wasserstoff-Produktion à la Thermogata** klingt einfach: Man nehme einen Rührkessel, erhitze die Nährlösung, in der sich das stäbchenförmige Bakterium befindet, auf 77 Grad Celsius – und füge irgendetwas hinzu, das aus Zucker oder verwandten Molekülen besteht. „*Thermogata neapolitana* isst nahezu alles Organische. Es freut sich über Gräser, Heckenschnitt, Biotonnenabfälle, Rübenreste – und besonders über Papier oder organische Textilreste“, erklärt Nils Tippkötter.

Was passiert, wenn sich das Bakterium in einer Umgebung mit seiner Wohlfühltemperatur von 77 Grad Celsius befindet und gefüttert wird, erklärt der Verfahrenstechniker folgendermaßen: Aus jedem Molekül Glukose löst es vier Wasserstoff-Moleküle heraus. „Mehr ist nicht möglich. Deswegen ist *Thermogata neapolitana* ein Höchstausbeuter.“ Besonders gut sichtbar wird das bei Papierabfällen. Papier besteht aus Zellulose – einer Kette von Zuckerbausteinen.



„Es braucht Zwischenschritte, die jemand finanzieren muss.“

Prof. Nils Tippkötter,

Professor für Bioverfahrenstechnik und Downstream Processing
an der Fachhochschule Aachen, Campus Jülich



Aus einer Tonne Papierabfällen gewinnt das Bakterium mehr als 600 Kilowattstunden (kWh) Energie, gespeichert in Wasserstoff, und rund 1.400 kWh in Biogas. Dazu entsteht ein pasteurisierter, nährstoffreicher Kompost. Auch Kartoffelschalen und Stroh beutet das Bakterium fast zu 100 Prozent aus.

Die Handhabung ist also einfach, was auch an der Wärmeaffinität des Bakteriums liegt, die es aus seinem ursprünglichen Lebensraum mitbringt: Im Golf von Neapel verursacht der Vesuv in geringer Tiefe mit seiner vulkanischen Aktivität heiße Quellen. „Im Rührkessel lässt sich der Prozess deswegen leicht steril halten. Denn bei 77 Grad Celsius überleben kaum heimische Keime“, beschreibt Nils Tippkötter.

Manche mögen's heiß

Ein entfernter Verwandter des neapolitanischen Bakteriums hinterlässt in der Region

Spuren. Nämlich den Geruch an den heißen Quellen in Aachen, der an faule Eier erinnert. Die bekannte Duftmarke entsteht, weil Wasser durch unterirdische Gesteinsschichten mit hohem Schwefelgehalt fließt. Ein Bakterium reduziert die Schwefelverbindungen zu Schwefelwasserstoff (H_2S), der besagten Geruch im Thermalwasser mit an die Oberfläche nimmt. Ein Bakterium, das bei extremen Temperaturen Energie gewinnt, indem es Schwefel reduziert – genau danach hatten die Forscher im Golf von Neapel gesucht.

„Die mikrobielle Wasserstoff-Produktion ist vielversprechend, aber kein Allheilmittel“, erklärt Nils Tippkötter. „Ihr Potenzial sehe ich vor allem in dezentralen Anwendungen, bei denen sowieso größere Mengen an organischen Reststoffen anfallen.“ Das Bakterium ist also ein Fall für eine Nische. Das sei keinesfalls schlecht. Denn auch das heutige Energiesystem funktioniert, weil es Lösungen für viele Nischen gibt. Die Nische, in die Thermogata neapo-

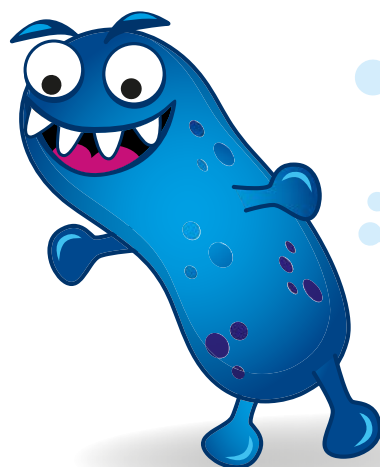
litana und andere Bakterien passen, die hohe Temperaturen mögen und mit ihrer Aktivität Energie produzieren, sieht in etwa so aus: In einer Region, in der beispielsweise die Landwirtschaft sowie die Papierindustrie stark sind, ist das, was die Vielfraße und Höchstverwerter produzieren, höherwertig als der bisherige Umgang mit den Abfällen.

„Die Landwirtschaft kann in Zukunft wachsende Bedarfe an Wasserstoff haben, weil Batterien für ihre schweren Fahrzeuge nicht immer geeignet sind“, erklärt Nils Tippkötter. Die Landwirtschaft ist dezentral. Felder liegen auch in Zukunft nicht neben Wasserstoff-Produktionen oder Pipelines. „Wenn mich der notwendige Rohstoff in Form von Bioabfällen nichts kostet oder ich sogar Geld spare, weil ich ihn nicht entsorgen muss, dann könnte ein Preis von unter drei Euro pro Kilogramm Wasserstoff, den ich mit bakterieller Zersetzung herstelle, schnell erreicht werden“, sagt der Jülicher Professor. Auch der Kompost und das Biogas verbessern die Bilanz.



Bessere Energieeffizienz als die Elektrolyse

Die Technik basiert auf bereits verfügbaren Komponenten, bestehende Infrastrukturen wie Biogasanlagen könnten größtenteils weitergenutzt werden. Energetisch lohnt



sich das Verfahren: Für ein Kilogramm Wasserstoff mit 33 kWh Energiegehalt werden nur 15 kWh eingesetzt. Zum Vergleich: Eine [Veröffentlichung des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme \(IWES\)](#) gibt an, dass theoretisch 42 kWh benötigt werden, praktisch jedoch etwa 55 kWh, um 1 Kilogramm Wasserstoff mit einem [PEM-Elektrolyseur](#) (PEM = Protonenaustauschmembran) herzustellen. Ein weiterer Pluspunkt der Wasserstoff-Produktion mit Bakterien ist, dass keine klimawirksamen Emissionen frei werden.

Noch werden hyperthermophile Bakterien kaum genutzt – der Druck zum Umstieg auf klimafreundliche Energie ist noch nicht groß genug. Daher gibt es bisher keine Anstrengungen, Laborsysteme zu skalieren. „Von einem Liter auf 100.000 Liter hochzuskalieren, geht nicht direkt. Es braucht Zwischenschritte, die jemand finanzieren muss“, sagt Nils Tippkötter.

Der nächste Fortschritt folgt im kommenden Jahr: Dann startet das auf vier Jahre ausgelegte [Projekt SynelGas](#). Dabei wird eine mobile, containerbasierte Wasserstoffanlage mit einem Reaktorvolumen

von 800 Litern aufgebaut. Mit Partnern aus Land- und Energiewirtschaft betreiben und verbessern Nils Tippkötter und sein Team die Anlage unter Realbedingungen. Sie wollen zeigen, dass das kleine Bakterium *Thermogata neapolitana* auch in großen industriellen Anlagen funktioniert.

[Gefräßige Bakterien stehen noch ganz am Anfang ihrer Möglichkeiten. Membrane sind längst im Alltag angekommen und Thema auf der nächsten Seite.](#) >>>



Mehr zum Vielfraß

Die Gralssuche der Membranforscher



Sie sind unsichtbar und unverzichtbar: Membranen retten Leben und spielen eine entscheidende Rolle in der Produktion von Wasserstoff. Die Forschung arbeitet ständig daran, sie besser zu machen. Der Aachener [Membran-Experte Prof. Matthias Wessling](#) spricht in diesem Zusammenhang sogar von der Suche nach dem Heiligen Gral.

Wer Kaffee liebt, weiß, wie wichtig der Filter ist: Er lässt die aromatische Flüssigkeit durch und hält den Kaffeesatz zurück. Der Kaffeefilter ist eine einfache, bekannte Form einer Membran. „Viele kennen vielleicht noch aus dem Biologieunterricht eine [semipermeable Membran](#)“, sagt Matthias Wessling, Professor für Chemi-

sche Verfahrenstechnik an der RWTH Aachen, der zu den international führenden Experten für Membrantechnologie zählt. „Die gewünschten Stoffe passieren die Membran, unerwünschte bleiben draußen.“ So weit, so einfach.

Doch Membranen können weit mehr: Sie filtern zum Beispiel Gase aus Flüssigkeiten. Damit retten sie Leben, indem sie Kohlenstoffdioxid aus dem Blut filtern und so den Sauerstoffgehalt erhöhen, wenn die Lunge das nicht mehr hinreichend schafft. Bei der Wasserstoff-Herstellung mittels [Elektrolyse](#) verhindern sie, dass der erzeugte Wasserstoff und Sauerstoff ihrer natürlichen Eigenschaft nachgeben und sich wieder zu Wasser verbinden. Ihre Filterfunktion ist also Grundvoraussetzung, um Energie in Form von Wasserstoff zu speichern. So kann der Mensch entscheiden, wann die

Energie freigesetzt wird, die entsteht, wenn sich Wasserstoff und Sauerstoff wieder vereinen.

Hochspezialisiert und langlebig

Die Forschung hat viele komplexe, spezialisierte Materialien hervorgebracht. „Eine Herausforderung bleibt: PFAS (Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen)“, sagt Matthias Wessling. Diese Gruppe von Chemikalien – oft Ewigkeits-Chemikalien genannt – hat zunächst positive Eigenschaften, da die Stoffe langlebig sind und dafür sorgen, dass Membranen auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktionieren. Etwa in einer oxidativen Umgebung, wie sie bei der Elektrolyse auftritt, wo viel Sauerstoff vorhanden ist und Materialien leicht Elektronen verlieren –

„Membranen, die lange stabil sind und ohne PFAS auskommen – das wäre wie das Finden des Heiligen Grals.“

Prof. Matthias Wessling,

Professor für Chemische Verfahrenstechnik an der RWTH Aachen



also oxidiert werden. PFAS sind hier besonders beständig. „Es gibt aktuell nichts Besseres“, sagt Matthias Wessling. In technischen Anlagen und kontrollierten Umgebungen sind PFAS handhabbar. Zudem kommen PFAS auch in anderen, alltagsnäheren Bereichen zum Einsatz.

Und da können sie zum Problem werden: PFAS gelten laut der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit als potenziell gesundheitsschädlich und können unter anderem Auswirkungen auf das Immunsystem haben. Mutmaßlich jeder hat Kontakt mit den Substanzen, weil sie in wasserabweisender Kleidung oder in beschichteten Pfannen und Töpfen zum Einsatz kommen. PFAS, einmal im Umlauf, bauen sich in Umwelt und Körper kaum ab. Eine Ewigkeits-Chemikalie mit unerwünschten Risiken und Nebenwirkungen. Eine Ausweitung der Regulierung in der EU kann auch Folgen für die Forschung haben.

„Membranen, die lange stabil sind und ohne PFAS auskommen – das wäre wie das Finden des Heiligen Grals“, sagt Matthias Wessling. Die Suche läuft schon lange und es gibt erste Fortschritte: PFAS-freie Membranen mit nachweislich vergleichbaren positiven Eigenschaften wurden bereits im Labor entwickelt.

Teststand im Industriemaßstab

Bisher verlieren sie ihre Eigenschaften aber oft schon nach wenigen Tagen. Für Elektrolyseure, die zehn Jahre halten müs-

sen, ist das noch zu kurz. Matthias Wessling betont: „Die Chemie ist hier nicht trivial. Denn es geht nicht nur darum, PFAS-freie Membranen zu entwickeln. Auch der Weg dorthin muss nachhaltig sein. Sonst verlagern wir das Problem einfach nur.“ Die Herausforderung betrifft also sowohl das Material selbst als auch seine Herstellung – und auch andere Bestandteile der Wasserstofftechnik, die im Betrieb altern. „Nicht nur die Membranen sind instabil, auch Katalysatoren verändern sich im Betrieb.“

Großes Potenzial, um die Forschung hier nach vorne zu bringen, sieht Matthias Wessling im Projekt **DERIEL** („De-risking Elektrolyseur“), das am Forschungszentrum Jülich aufgebaut ist. Die RWTH ist als Projektpartner beteiligt, unter anderem mit Matthias Wessling und seinem Team. DERIEL ist ein Teststand im Industriemaßstab, mit dem die Forscher besser verstehen, wie Materialien im Elektrolyseur altern und ihre Leistung verlieren – mit dem Ziel, stabilere, risikoärmere und günstigere Materialien zu entwickeln. Neben der Materialforschung bietet DERIEL die Möglichkeit, die Wasserstoff-Produktion im Indust-

riemaßstab unter Realbedingungen für den Markt zu qualifizieren. „Wir müssen aus der Manufaktur in die Serienproduktion kommen“, sagt Matthias Wessling. „Komplexe Anlagen für den Weltmarkt – das ist eine Chance für Deutschland und für unsere Region. Das können wir.“

Wissen ist eine Währung

Auch wenn PFAS sich nicht vollständig vermeiden lassen, sieht Matthias Wessling Lösungen: etwa mit der Enkapsulierung – also dem sicheren Einschließen der problematischen Stoffe. „Wir werden nicht ohne chemische Hilfsmittel auskommen. Entscheidend ist, dass wir wissen, wie wir Risiken vermeiden – entweder, indem wir PFAS sicher einschließen oder darauf verzichten.“ Wissen sei dabei entscheidend. „Wissen ist eine Währung – besonders, wenn es sich so konzentriert wie hier in unserer Region.“

Nicht nur bei Membranen gibt es noch offene Fragen. Ein paar weitere Fragen und die Antworten darauf folgen jetzt. >>>



Mehr zur Membranforschung

FAQ: Wasserstoff

Wofür
brauchen
wir ihn?

Wo
kommt er
her?

Wofür brauchen wir Wasserstoff?

Das nicht-fossile Energiesystem der Zukunft braucht grüne Elektronen, die durch Stromleitungen fließen und in Batteriespeichern für kurze Zeit gespeichert werden können. Aber zusätzlich sind auch grüne Moleküle notwendig, die große Energiemengen über sehr lange Zeiten speichern und transportieren können, und außerdem stoffliche Wertschöpfungsketten, z. B. in der chemie- oder der metallverarbeitenden Industrie, ermöglichen. Alle grünen Moleküle haben in irgendeiner Form mit grünem Wasserstoff zu tun. Entweder wird der Wasserstoff selbst verwendet oder sogenannte Wasserstoff-Derivate. Das sind energiereiche Verbindungen, die durch die Reaktion von Wasserstoff mit geeigneten Trägermolekülen entstehen. In Form von [Wasserstoff-Derivaten](#) wird der Wasserstoff leichter handhabbar, etwa in der bestehenden Infrastruktur für flüssige Kraftstoffe. Es gibt eine grobe Faustformel: Je langfristiger die Energiespeicherung und je größer der Energiebedarf einer Anwendung, desto mehr punkten Wasserstoff und seine Derivate.

Wo kommt Wasserstoff her?

In Zukunft teilweise aus heimischer Produktion, größtenteils aber aus Importen. Die [Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung](#) beziffert den Bedarf an klimafreundlichem Wasserstoff für 2030 mit 95 bis 130 Terawattstunden (TWh). Rund 28 TWh sollen 2030 aus deutscher Produktion

stammen – [drei Viertel müssten also importiert werden](#). Trotz der sehr strengen Regeln für grünen Wasserstoff soll sich dessen Anteil in den nächsten Jahren stark erhöhen. Laut [Northwest European Hydrogen Monitor 2025](#) könnten bis 2030 rund 28 TWh grün sein, ein signifikanter Teil davon aus Importen. Um Wasserstoff als grün bezeichnen zu dürfen, reicht es übrigens nicht aus, Grünstrom in einem Elektrolyseur zu verwenden. Der Strom muss durch eine zusätzlich errichtete Erzeugungsanlage zur gleichen Stunde produziert worden sein.

Ist importierter Wasserstoff teurer?

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ist [importierter Wasserstoff](#) nicht teurer, sonst würde ihn niemand importieren wollen. Wir brauchen Importe, um unseren Bedarf zu decken, und gleichzeitig sehen wir ein Kostenpotenzial, günstigeren Wasserstoff über Importe zu erhalten. Die Kostenvorteile von importiertem Wasserstoff entstehen dadurch, dass flächenreiche Länder mit viel Sonnenschein und Wind deutlich günstiger erneuerbaren Strom produzieren

können, als dies hier bei uns in NRW der Fall sein wird. An den besten Windstandorten der Welt erzeugt das gleiche Windrad rund zweimal mehr Strom als in NRW. Importierter Wasserstoff macht diesen Vorteil nutzbar. Höhere Energieausbeute pro installierter Anlage und niedrigere Installationskosten können also die Transportkosten perspektivisch mehr als ausgleichen. Ein Blick in die Geschichte zeigt: Deutschland hat immer mehr Energie verbraucht, als es selbst erzeugen konnte. Importe sind also kein Problem, sondern Tradition und außerdem Teil unserer Energiesicherheit. Transportierte Energiemoleküle sind gespeicherte Energie – d. h., sie stellen auch eine wichtige Absicherung gegen Dunkelflauten oder andere Störungen in der Energieversorgung dar.

Ist Wasserstoff konkurrenzfähig?

Wasserstoff ist konkurrenzfähig. Heute bereits in einer Vielzahl von Spezialanwendungen, in Zukunft ganz sicher in noch wesentlich breiterer Form, nämlich überall dort, wo Batterielösungen unhandlich und teuer sind. Außerdem natürlich dort, wo die stofflichen Eigenschaften des Wasserstoffs benötigt werden. Wir dürfen nicht vergessen: Wasserstoff-Technologien haben den Skalierungseffekt, der zu erheblicher Kostenreduktion und wesentlich schnellerer Technologieentwicklung führt, noch vor

Wo ist er sinnvoll?

sich. Auch Solarpaneele und Batterien waren vor ihrer industriellen Massenfertigung sehr teuer. Wir müssen also im Gegenteil aufpassen, dass der Markthochlauf nicht erst dann beginnt, wenn chinesische Anbieter deutlich günstigere Wasserstoff-Komponenten zu uns auf den Markt bringen. So war es bei der Photovoltaik- und in der Batterietechnologie: Und die Konsequenz ist, dass jetzt der ganz überwiegende Anteil an Batterien und Solarmodulen nicht in Deutschland gefertigt wird. Das sollte uns beim Thema Wasserstoff nicht wieder passieren.

Welche Anwendungen sind zuerst sinnvoll?

Sinnvoll ist alles, was sich **zumindest perspektivisch rechnet**, und zwar auch ohne dauerhafte Subventionen oder ausufernde Regulatorik. Diese einfache Sicht entspricht der Natur des Problems, das wir lösen wollen. Es geht um Klimaschutz, und der erfordert weltweite Veränderungen. Es ist eine Tatsache, dass die überzeugendste Motivation für Wandel von ökonomischen Vorteilen ausgeht. Ziel von Forschung und Entwicklung muss es also sein, nachhaltige Produkte und Technologien so gut und günstig zu machen, dass sie auch aus rein wirtschaftlicher Sicht attraktiv werden. Erst dann gibt es eine weltweite Nutzung und in der Folge maßgebliche Effekte für den Klimaschutz. Wie kommen wir da beim Thema Wasserstoff hin? Wir müssen mit den heutigen Technologien anfangen und zuerst die Anwendungen angehen, in denen wirtschaftliche Tragfähigkeit besteht oder wo die Lücke zwischen den aktuellen Kosten und dem ökonomischen Wert

des Wasserstoff-Einsatzes besonders klein ist. In diesen Bereichen ist es am wahrscheinlichsten, dass mit den oben angesprochenen Skaleneffekten und den bereits erkennbaren technischen Innovationen schnell ein wirtschaftlicher Vorteil realisiert werden kann. Jede wirtschaftlich erfolgreiche Anwendung trägt zum Hochlauf bei, motiviert weitere Technologieentwicklungen, senkt Kosten und macht so zusätzliche Anwendungen wirtschaftlich. Wir sollten auf keinen Fall dort anfangen, wo eine wirtschaftliche Tragfähigkeit auf absehbare Zeit absolut nicht erkennbar ist.

Wo stehen wir?

Wo sind Fortschritte zu erwarten?

Prof. Peter Wasserscheid vergleicht viele Wasserstoff-Technologien heute mit dem Stand des Automobils im Jahr 1910 – die technischen Prinzipien sind gezeigt, aber die meisten Effekte einer Serienproduktion stehen noch aus. Die Dinge sind aber in Bewegung: Elektrolyseure und Brennstoffzellen werden effizienter. Neue Katalysatoren zur Wasserstoff-Erzeugung, -Speicherung und -Rückverstromung nut-

Was kostet er im Vergleich?

zen seltene Metalle viel sparsamer oder ersetzen sie durch günstigere Materialien (Seite 8). Auch die großtechnischen Prozesse zur Herstellung der Chemikalien und Wasserstoffspeicher Ammoniak und Methanol (Seite 10) werden angepasst: Statt konstanter Erdgaszufuhr wird zukünftig grüner Wasserstoff genutzt, der je nach Wind- und Sonnenangebot zur Verfügung steht. Neue lastflexible Reaktoren können diesen Schwankungen folgen und so die Produktionskosten für grünen Ammoniak und Methanol senken.

Was kostet der Import?

Um Fragen geht es auch auf der nächsten Seite. Sie kennen die Antworten? >>>



Noch mehr Antworten

Kreuzworträtsel

Mitmachen und unseren
Wasserstoffuchs **HyFox „Henry“** gewinnen!

Wenn Sie unsere Ausgabe des H2Reviere aufmerksam
gelesen haben, wird es Ihnen sicherlich leichtfallen, alle Fragen richtig
zu beantworten. Die Buchstaben aus den grauen Feldern ergeben
unsere Lösung. Wir verlosen unter den richtigen Einsendungen
einen tierischen Bastelspaß für Groß und Klein.

Bitte das Lösungswort bis zum **17. Dezember** per Mail an
info.hch2@fz-juelich.de senden.
Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

„Viel Glück“



Waagerecht >

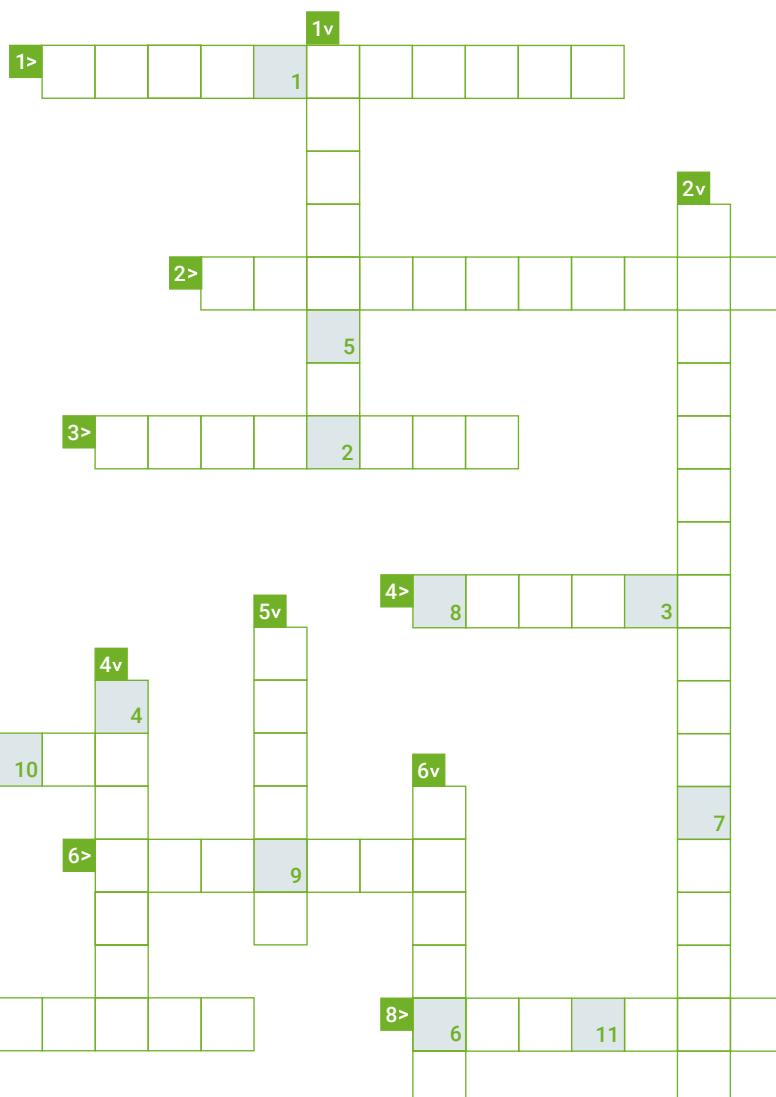
1. Das häufigste Element im Universum
2. In einem Auspuff wichtig – und in der Chemie
3. Chemikalie für die Herstellung von Düngemitteln
4. Neuer Katalysatoransatz verknüpft Vorteile aus zwei ...
5. Farbe des Wasserstoffs, aus organischen Abfällen gewonnen
6. Unterirdischer Großspeicher für Gase
7. Ein Kaffeefilter ist eine simple Form einer ...
8. Welches teure Metall ist ein potenter Katalysator?

Senkrecht v

1. Wer hat eine besondere Strahlung entdeckt?
2. Großforschungseinrichtung in Jülich
3. Abkürzung für Dimethylether
4. Apparat für chemische Reaktionen
5. In welchem Golf lebt ein gefräßiges Bakterium?
6. Der Teufel steckt oft im ...

LÖSUNGSWORT:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----



Aktuelle Stellen

Das Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft (HC-H2) soll in den kommenden Jahren stark wachsen. Aus diesem Grund sind wir ständig auf der Suche nach neuen Kolleginnen und Kollegen. Eine Initiativbewerbung kann Sinn ergeben – auch dann, wenn aktuell keine passende Stelle ausgeschrieben ist.



„Wir suchen Fachkräfte, die uns dabei helfen, Forschungsergebnisse in die Anwendung zu bringen.“

Laura Miessner,

Personalsachbearbeiterin am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW-I), Forschungszentrum Jülich



Hier geht's zu den Stellen

IMPRESSUM

Herausgeber:

Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft (HC-H2)
An der Deutschen Welle 7a
52428 Jülich
info.hch2@fz-juelich.de
www.hch2.de



Redaktion: Dr. Susanne Spörler, Guido Jansen, Clarissa Reisen

Autoren: Guido Jansen, Dr. Frank Frick, Prof. Peter Wasserscheid

Grafik und Layout: Clarissa Reisen

Bildnachweis: Guido Jansen: S. 5, S. 7, S. 9 li.; Ralf-Uwe Limbach: S. 11, S. 14, S. 17, S. 24/25, S. 27 u., S. 30 o.; Bernd Nörig: S. 9 re., S. 23 u.; mattomedia: S. 22; Sascha Kreklau: S. 39; (Forschungszentrum Jülich); Bundesregierung/Guido Bergmann: S. 3, S. 29 o. li.; TAU Systems: S. 7 o.; aligator-kommunikation: S. 2, S. 8; LarsMay_Fotografie: S. 29 o. re.; Impulsdesign: S. 14/15, S. 31 – 33, S. 35; schwartz Gruppe: S. 28 – 30; Privat: S. 32 o.; Carl Brunn: S. 35 o.; Lukas Reinhardt/HI ERN: S. 23 o.; Adobe Stock: S. 6, S. 7, S. 27, S. 31, S. 32, S. 33, S. 34;

Druck: Weiss-Druck GmbH & Co. KG

Papier: gedruckt auf 100 % Altpapier



www.blauer-engel.de/uz195

Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

Auflage: 500.000

Gefördert durch:



Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen





Wir fangen gerade erst an ...

Hier können Sie sehen, wie es weitergeht in der Wasserstoff-welt im Rheinischen Revier:

