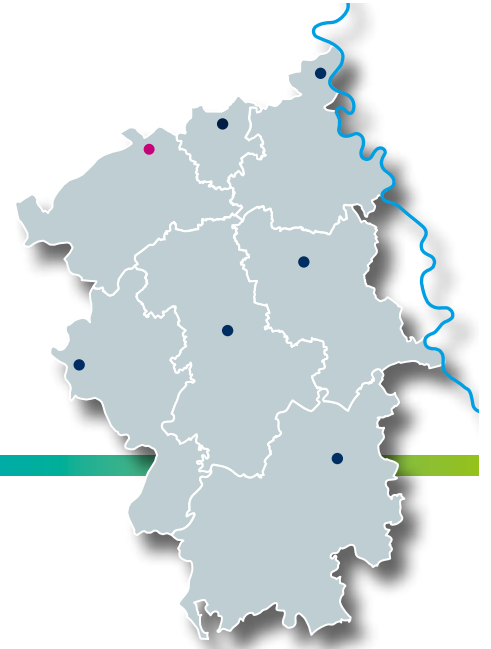


Die Wasserstoffzeitung für das Rheinische Revier

H₂REVIER



SEITE 8

Interview: Wasserstoff ist kein Champagner. Er ist ein Schlüssel zum Energiesystem der Zukunft.

SEITE 14

Überblick: Gemeinsam statt einsam - Wasserstoff und seine starken Partner.



INHALT

Einleitung

Ein Revier im Wandel S. 3

Wer sind wir?

Von der Nanowelt in die Makrowelt S. 4

Der Professor der kleinen Dinge S. 5

Magie der Katalyse S. 6

Die Hebelwirkung von Ammoniak S. 7

Interview: Wasserstoff ist kein Champagner S. 8

Blick vor die Tür

Hier produziert das Revier Wasserstoff S. 12

Blick in die Wissenschaft

Molekül-Steckbriefe S. 14

Wenn Wunschdenken Wirklichkeit wird ... S. 18

Die Rolle des Wasserstoffs im Energiesystem der Zukunft S. 20

Ein kompletter Campus wird zum Energielabor S. 22

Wandel der Energie S. 26

Dimethylether, der bisher unterschätzte Speicher S. 30

Blick ins Revier

Emissionsfreie Verbrennung S. 32

Wo Gründer groß werden S. 33

Glas als Blaupause für die Industrie der Zukunft S. 34

„Einfach mal machen“ S. 36

Zu guter Letzt

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 zum 1. Vorhaben

Ein Revier im Wandel

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Generationen haben im Rheinischen Revier von der Kohle gelebt. Fossile Energie war der Garant für ein gutes Leben. Mit dem Ende des Kohleabbaus steht eine ganze Region vor einem historischen Umbruch. Und Umbrüche sind immer auch mit Skepsis und Vorbehalten verbunden. Die Frage „Was kommt danach?“ beschäftigt die Menschen.



Das „Danach“ hat im Rheinischen Revier längst begonnen. In Jülich forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am [Helmholtz-Cluster Wasserstoff \(HC-H2\)](#) an einer der zentralen Zukunftstechnologien: Wasserstoff. Sie hat das enorme Potenzial, grünen Strom effizient zu speichern und zu transportieren. HC-H2 steht für Spitzenforschung von den Grundlagen bis zur Anwendung. Eng vernetzt mit dem [Forschungszentrum Jülich](#) bildet das HC-H2 den Kern der Modellregion Wasserstoff. Was hier erforscht wird, soll direkt im Rheinischen Revier und zum Wohl seiner Bewohnerinnen und Bewohner umgesetzt werden.

Die ersten Erfolge sind für Sie alle jetzt schon erleb- und erfahrbar – ob als Passagier im Wasserstoffbus oder als Pflegekraft im künftig durch Wasserstoff-Technologie versorgten Krankenhaus Erkelenz.

Was einst die Kohle war, ist heute Wissen und Wasserstoff. Sie sind die Rohstoffe für gute Arbeit, Wohlstand und soziale Sicherheit. Jülich ist für Spitzenforscherinnen und Spitzenforscher aus der ganzen Welt zur Heimat geworden. Hier arbeiten, lehren und forschen die klügsten Köpfe der Welt und machen die Region zum Magneten für junge Studierende, die die Zukunft mit neuer Energie gestalten wollen.

Keine Generation konnte auf so viel Wissen und Know-how zurückgreifen wie wir. Wir haben also alle Chancen, aus dem Rheinischen Revier das Revier der Zukunft zu machen.

Ich freue mich, den Aufbau des HC-H2 mitbegleiten zu können und wünsche dem Projekt weiterhin viel Erfolg! Allen Leserinnen und Lesern der Wasserstoffzeitung wünsche ich viel Freude dabei, die faszinierende Welt des Wasserstoffs und die Spitzenforschung „made in NRW“ auf den folgenden Seiten und vor Ort im Rheinischen Revier zu entdecken!

Ihre Ina Brandes

[Ministerin für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen](#)

WER SIND WIR?

Von der Nanowelt in die Makrowelt

Herzlich willkommen auf einer Reise von der Nano- in die Makrowelt. Am **Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW)** des **Forschungszentrums Jülich** können Sie erfahren, wie Technologien für das klimafreundliche Energiesystem der Zukunft auf atomarer Ebene beginnen und anschließend groß werden.

Das 2021 neu gegründete INW forscht daran, wie die Menschheit in Zukunft einen Teil ihrer grünen Energie speichern kann – und zwar mit Wasserstoff. Mithilfe chemischer Speicher können wir den in seinem natürlichen Zustand schwer handhabbaren Wasserstoff besser in größeren Mengen über längere Zeit lagern und über größere Distanzen transportieren. Die vier Institutsbereiche INW-1 bis INW-4 arbeiten daran, neue chemische Speichermethoden von der atomaren bis zur Systemebene zu entwickeln und zu testen. Drei Bereiche sind bereits gestartet, einer steht kurz davor.

Die Abteilung INW-D – das D steht für Demonstrationsvorhaben – hat mit Prof. Peter Wasserscheid an der Spitze (Seite 8) das Ziel, neuartige Wasserstoff-Technologien im Rheinischen Revier so schnell wie möglich in die Anwendung zu bringen, damit sie von hier aus in die Welt exportiert werden können. Dafür kooperiert das INW-D mit Partnern aus Forschung, Industrie, Wirtschaft und Verwaltung. All das ist das Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft, kurz Helmholtz-Cluster Wasserstoff, oder noch kürzer HC-H2.

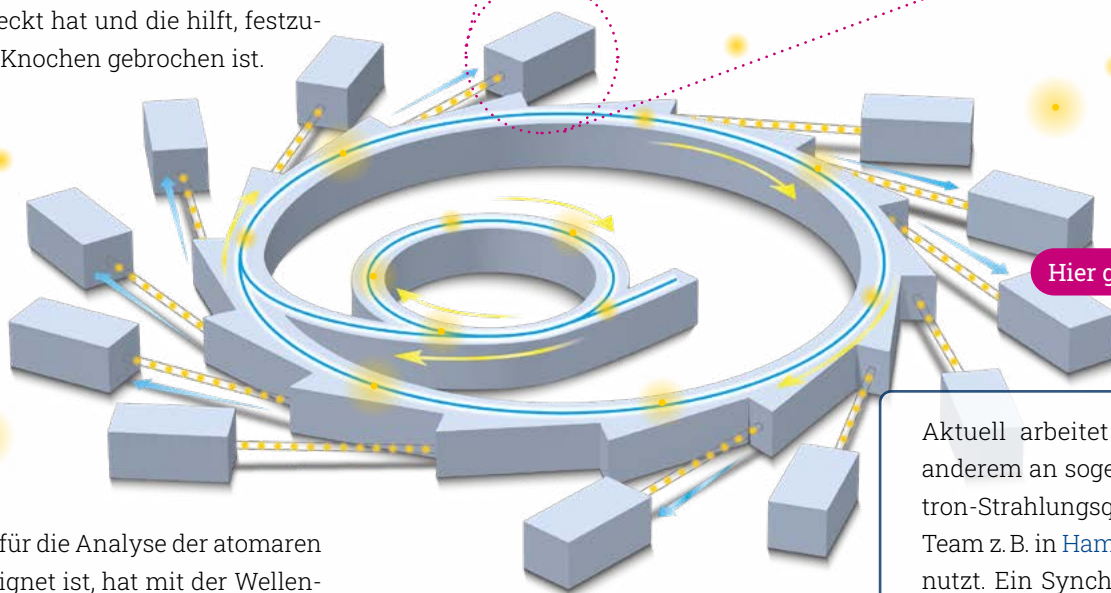
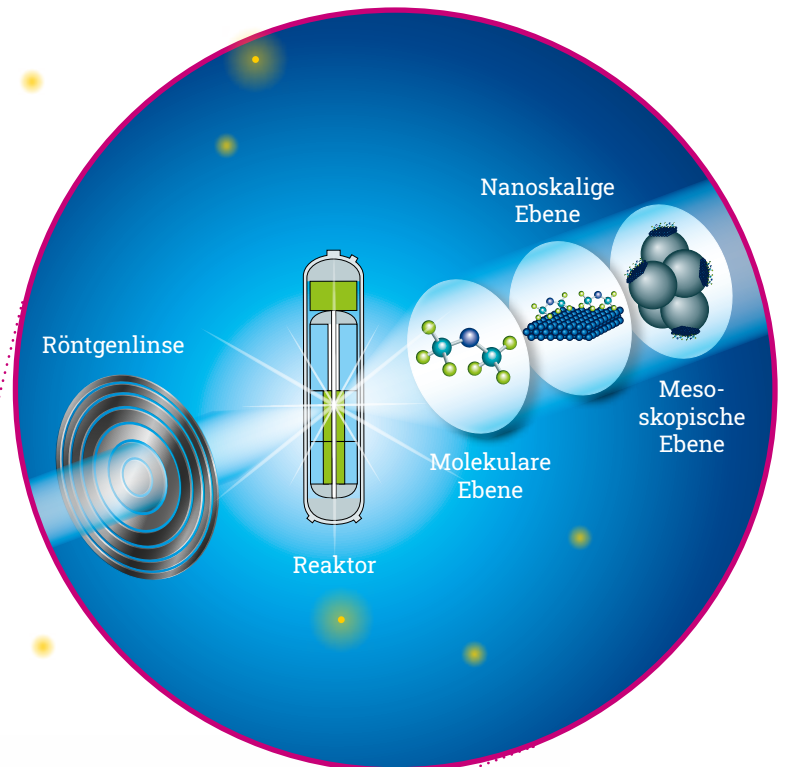




Prof. Hans-Georg Steinrück

Der Professor der kleinen Dinge

Was haben Wasserstoff, Conrad Röntgen und ein dunkler Wald miteinander zu tun? Aus der Sicht von Prof. Hans-Georg Steinrück jede Menge. Der Physiker verantwortet den Bereich Katalytische Grenzflächen (INW-1) als Direktor. Sein gerade im Aufbau befindliches Team und er sind die Experten für die kleinsten Teilchen, also Atome und Moleküle. Dafür nutzen sie das Röntgen. Also genau die Strahlung, die Conrad Röntgen 1895 entdeckt hat und die hilft, festzustellen, ob ein Knochen gebrochen ist.



Hier geht's zur Publikation

Dass Röntgen für die Analyse der atomaren Ebene gut geeignet ist, hat mit der Wellenlänge der Strahlung zu tun. Diese beträgt ca. ein Ångström, was dem zehnmillionssten Teil eines Millimeters entspricht. Ein Ångström ist ebenso eine typische Größe für den Radius eines Atoms. Also haben Röntgenstrahlen genau die richtige Wellenlänge, um kenntlich zu machen, ob sich auf atomarer oder molekularer Ebene etwas verändert hat. Das hilft beispielsweise, um zu verstehen, welches Material gut als Katalysator funktioniert, indem es dabei unterstützt, Wasserstoff in ein größeres Molekül einzulagern oder es herauszulösen.

Im Gegensatz zum gebrochenen Knochen erhalten Hans-Georg Steinrück und sein Team kein Röntgenbild, welches 1:1 zeigt, was passiert ist. Der Physiker erklärt das anhand eines Vergleichs mit einem dunklen Wald, in dem die Bäume nicht mehr zu sehen sind. „Wenn wir wissen wollen, wie groß die Bäume sind, welche Form sie haben und wie weit sie voneinander entfernt sind, schicken wir viele leuchtende Bälle in den Wald und beobachten, wie diese abgelenkt werden. So können wir Rückschlüsse auf die Bäume ziehen.“

Aktuell arbeitet das INW-1 unter anderem an sogenannten Synchrotron-Strahlungsquellen, welche das Team z. B. in [Hamburg](#) oder [Grenoble](#) nutzt. Ein Synchrotron ist ein Teilchenbeschleuniger und eine Quelle extrem hellen Röntgen-Lichts. Die Datenmengen, die Messungen mit einem Synchrotron ergeben, sind größer. Allerdings ist die Arbeitszeit an einem Synchrotron begehrt und deswegen rar. Daher ist ein eigenes Röntgenlabor in Jülich in Planung. Die Kombination aus Synchrotron, mit vielen Daten bei einer Messung und dem Röntgenlabor, mit kontinuierlicher Messung ergibt einen aussagekräftigen Datensatz.

WER SIND WIR?



Prof. Regina Palkovits

Magie der Katalyse

Katalysatoren sind das Thema von Prof. Regina Palkovits, Direktorin am INW-2. Sie bezeichnet Katalysatoren gerne als Partnervermittler, die eine wünschenswerte Wechselwirkung zwischen Molekülen verstärken können. Eine solche hat ihre Arbeitsgruppe in einer Veröffentlichung im [Journal of Catalysis](#) beschrieben. Diese Wechselwirkung verbessert die Effizienz von Ameisensäure (HCOOH) als Wasserstoffträger.

„Diese Erkenntnisse könnten geeignet sein, um Rückschlüsse auf andere Moleküle zu gewinnen, die Ameisensäure in ihrer Struktur ähneln, aber ein größeres Potenzial als Wasserstoffträger haben“, erklärt Regina Palkovits. Beispielsweise Methylformiat (C₂H₄O₂). Die Autoren setzten sich zusammen aus Forschern der [RWTH Aachen](#), dem [Max-Planck-Institut für Kohlenforschung](#) in Mülheim an der Ruhr und dem Forschungszentrum Jülich.

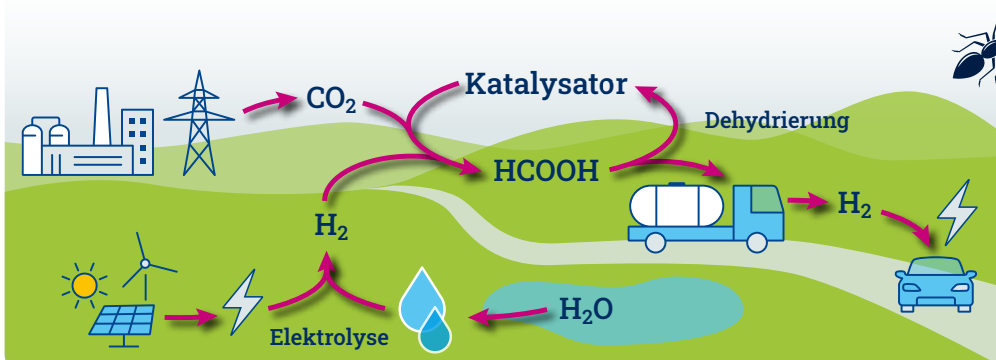
Ameisensäure ist tatsächlich die ätzende Flüssigkeit, die beispielsweise Waldameisen zur Verteidigung aus einer Hinterleibsdüse verspritzen. Auch andere Insekten, Spinnentiere und Pflanzen setzen die Säure ein. Der Mensch nutzt Ameisensäure zu verschiedenen Zwecken, beispielsweise medizinisch als Antirheumatikum, oder um Warzen zu verätzen. Außerdem kommt sie

industriell als Reinigungs- oder Desinfektionsmittel zum Einsatz. „Und sie kann als Wasserstoffträger genutzt werden“, sagt Regina Palkovits und verweist auf die HCOOH-Formel, die deutlich macht, dass ein Ameisensäure-Molekül zwei Wasserstoffatome enthält.

„Es gibt Anwendungsszenarien für Ameisensäure als Wasserstoffträger“, erklärt Regina Palkovits und erwähnt Busse in den Niederlanden, die Ameisensäure tanken und bei denen der Wasserstoff mithilfe von Katalysatoren freigesetzt wird, bevor er in der Brennstoffzelle verstromt wird. „Unter dem Strich wird Ameisensäure als Wasserstoff-Derivat in der Anwendung aber eher eine Nischenrolle spielen“, ordnet Regina Palkovits, die neben ihrer Arbeit als Direktorin am INW-2 den Lehrstuhl für Heterogene Katalyse und Technische Chemie an der RWTH Aachen innehat, die Tragweite ein. Damit verortet sie Ameisensäure aber keinesfalls in der Bedeutungslosigkeit. Denn auch im grünen Energiesystem der Zukunft wird es viele Nischen und Spezialfälle geben, die bedient werden müssen. Vielversprechend sind die bei der Studie mit Ameisensäure gewonnenen Erkenntnisse mit Blick auf strukturell ähnliche Moleküle, die ein höheres Potenzial als Wasserstoffträger haben. Methylformiat entsteht aus dem Zusammenschluss von Methanol und Ameisensäure und bindet vier Wasserstoffatome. „Wir wollen jetzt

überprüfen, ob wir den Effekt bei der Dehydrierung von Ameisensäure auch bei Methylformiat beobachten“, erklärt der Chemiker Sebastian Seidel die nächsten Schritte in der von ihm maßgeblich betreuten Studie. Dehydrierung bedeutet in diesem Zusammenhang das Freisetzen der Wasserstoffatome aus einem Molekül, wie z. B. in diesem Fall Ameisensäure oder Methylformiat. Das Einlagern von Wasserstoff in größere Moleküle ist relevant, weil Wasserstoff als kleinstes Element überhaupt nur mit großem Aufwand speicher- und transportierbar ist. Um die Freisetzung des Wasserstoffs aus dem Derivat zu bewirken, brauchen die Moleküle einen Partner, der die Reaktion beschleunigt, einen Katalysator.

Beobachtet haben die Forscher, warum ein aus dem Metall Ruthenium bestehender Katalysator bei der Dehydrierung von Ameisensäure deaktiviert wird und wie das verhindert werden kann. „Für die Dehydrierung ist eine möglichst große Reaktionsoberfläche der Ruthenium-Partikel günstig. Nach Möglichkeit sollten einzelne Ruthenium-Atome vorliegen. Wir haben beobachtet, dass die Atome mit fortschreitender Dauer der Dehydrierung verklumpen und so deaktiviert werden“, beschreibt Sebastian Seidel. Bildet man nun eine Verbindung aus Ruthenium und Phosphor, werden die Einzelatome stabilisiert und die Verklumpung tritt langsamer ein. Neben dem Verhalten anderer chemischer Verbindungen mit einem Ruthenium-basierten Katalysator wollen die Forscher im Folgenden Erkenntnisse sammeln, welche anderen Elemente genau wie Phosphor wünschenswerte Wechselwirkungen mit Ruthenium verursachen.





Reaktoren sind das Spezialgebiet des bald startenden Institutsbereichs INW-3. Die Erkenntnisse aus dem INW-1 und INW-2 werden hier im nächsten Schritt von der Nano in die Makroebene weiterentwickelt, um effizientere Reaktoren für die verschiedenen Wasserstoff-Trägermoleküle zu entwickeln. Darauf baut das INW-4 auf. Unter der Leitung von Direktor Prof. Andreas Peschel entwirft das Team neue Anlagen und hat konkrete Anwendungen im Blick. Beispielsweise die Synthese von Ammoniak (NH_3), das eine der am meisten genutzten Chemikalien weltweit ist.

aus Wasser erzeugt wird. Dieses Verfahren nennt man Elektrolyse. Damit aus Wasserstoff effizient und kostengünstig Ammoniak produziert werden kann, muss ein Nadelöhr aufgeweitet werden. Andreas Peschel ist Teil eines Forscher-Teams, das einen günstigeren Weg hin zu einer klimafreundlichen Ammoniaksynthese der Zukunft aufzeigt. Ebenfalls beteiligt sind Wissenschaftler der [TU München](#) und der [Linde GmbH](#). Der Weg führt über einen modifizierten Reaktor, der es ermöglicht, dass die Ammoniakanlage besser auf die Verfügbarkeit des grünen Stroms abgestimmt werden kann.

als Vorrat installiert werden. Mit solchen Speichern wird die Anlage und damit der produzierte Ammoniak teurer.

Das Ziel des Forscher-Teams ist, den günstigsten Reaktor für eine hohe Lastflexibilität zu entwickeln, der auch mit 10 Prozent der Nominalleistung betreibbar ist. „Wenn das gelingt, dann bedeutet das in Relation zu der aktuell üblichen Mindestauslastung von 50 Prozent, dass der vorgeschaltete Wasserstoff-Pufferspeicher nur noch ein Fünftel der Größe haben muss. Das wäre ein großer wirtschaftlicher und logistischer Vorteil“, sagt Andreas Peschel.



Als nächsten Schritt bauen und betreiben Andreas Peschel und sein Team am INW eine Versuchsanlage für einen solchen Reaktor. „Die Technik ist schon recht weit erforscht, sodass wir uns erhoffen, schnell in die Anwendung zu kommen.“

„Ammoniak ist nicht nur als Speicherlösung für Wasserstoff hoch interessant“, sagt Andreas Peschel. „Er wird schon lange in großen Mengen als Grundstoff für die Herstellung von Düngemitteln eingesetzt. Wenn es uns gelingt, die Ammoniak-Produktion auf grünen Wasserstoff umzustellen, dann kann das weltweit eine Hebelwirkung im Kampf gegen die Klimaerwärmung haben.“

Die Hebelwirkung von Ammoniak

Ammoniak kann als chemischer Wasserstoffspeicher eine Schlüsselrolle in der grünen Energieversorgung der Zukunft spielen, weil es gut über weite Strecken transportiert und lange gespeichert werden kann. Das ermöglicht, Energie in großen Mengen zu importieren und für den Winter vorzuhalten. Dazu wird Ammoniak in Zukunft nicht mehr aus Erdgas hergestellt, sondern aus Wasserstoff, der mittels grünen Stroms

Die aktuell eingesetzten Reaktoren für die sogenannte Ammoniaksynthese – also das Reagieren von Wasserstoff und Stickstoff zu Ammoniak – sind nicht besonders lastflexibel. Erdgas als heute übliche Ausgangsbasis ist in konstanter Menge vorhanden, verursacht aber klimaschädliche Emissionen. In Zukunft könnte diese Ammoniaksynthese nur schwer dem fluktuierenden Angebot an grünem Strom und damit auch dem Wasserstoff aus der Elektrolyse folgen. Daher müssten große Wasserstoffspeicher

Mehr zu Ammoniak als Wasserstoff-Trägermolekül auf S. 16.

So viel zur Reise von der Nano- in die Makrowelt. Weiter geht's mit der Antwort auf die Frage, wie Wasserstoff als Teil des Energiesystems groß werden kann. >>>



„Wasserstoff ist ... kein Champagner“

Wasserstoff ist in der öffentlichen Debatte schon vieles gewesen: blau, türkis, grün, weiß*, teurer Champagner, überbewerteter Hype oder ein Schweizer Taschenmesser. Prof. Peter Wasserscheid ist Sprecher des Helmholtz-Clusters Wasserstoff (HC-H2). Er etabliert im Interview eine andere Sichtweise: Selbst, wenn grüner Wasserstoff heute noch vergleichsweise teuer ist, widerspricht das nicht der grundlegenden Bedeutung des Moleküls für das Energiesystem der Zukunft.

* Weitere Infos zur Farbenlehre: Seite 18



Alles andere als ein Hype


Was ist Wasserstoff aus Ihrer Sicht – ein überbewerteter Hype oder eine Technologie mit Lösungen für fast alles?

Peter Wasserscheid: Ein Hype ist Wasserstoff eigentlich nirgendwo. Wir haben mit dem Klimawandel ein großes Problem und mit der Energiewende eine riesige Aufgabe auf einer globalen Skala zu lösen. Das kann dazu führen, dass Menschen, die sich nicht jeden Tag mit Technologieentwicklung beschäftigen, die Hoffnung hegen, dass eine einzige Innovation alle Probleme aus dem Weg räumen könnte. In Wirklichkeit ist es aber die Aufgabe der Wissenschaft, herauszufinden, für welche Anwendung

und unter welchen Randbedingungen eine bestimmte Technologie sinnvoll verwendbar ist (Grafik Seite 11) und wo eben nicht. Wasserstoff wird sich neben den Stromnetzen und Batteriespeichern als eine der tragenden Säulen etablieren, ohne die das Energiesystem der Zukunft nicht stabil und kostengünstig funktionieren kann. Wir brauchen alle diese Säulen, sie ergänzen sich sinnvoll gegenseitig.

In 2023 wurden größere Mengen an natürlich entstandenem Wasserstoff, dem sogenannten weißen Wasserstoff, im französischen Lothringen gefunden (Seite 18). Ist das ein Anlass, um die Champagner-Korken knallen zu lassen?



A champagne bottle is tilted, pouring a golden liquid into a clear glass. The liquid is captured in mid-air, creating a dynamic splash in the glass. The background is a soft, out-of-focus light blue.

Peter Wasserscheid: Bei jeder Wasserstoff-Technologie ist es sinnvoll zu prüfen, wie sie in ein nachhaltiges Energiesystem eingebunden werden kann. Weißer Wasserstoff muss nicht erst mit zusätzlichen Kosten aus erneuerbarem Strom hergestellt werden, sondern er stammt wie Erdgas aus einer geologischen Quelle. Bei seiner energetischen Nutzung entsteht im Unterschied zur Erdgasverbrennung aber kein Kohlenstoffdioxid. Das ist ein großer Vorteil. Lange hat man geglaubt, dass es natürliche Wasserstoff-Lagerstätten nicht in relevantem Umfang gibt. Jetzt hat man einige Quellen gefunden und man versteht immer besser, wo man danach suchen muss. Es ist daher wahrscheinlich, dass weitere Quellen in den nächsten Jahren gefunden werden. Das kann – falls die Wasserstoffmengen groß genug sind und die Erreichbarkeit der Lagerstätten vernünftig machbar ist – ein Impuls sein, der die Transformation unseres Energiesystems nach vorne bringt. Aber wie eben schon erwähnt gibt es nicht die eine Lösung für alle Probleme, selbst wenn wir schnell, große nutzbare Mengen an weißem Wasserstoff fänden.

In welchen Bereichen sollten wir anfangen, Wasserstoff in großem Stil einzusetzen? Wer wird als erster bedient, wer muss noch warten?

Peter Wasserscheid: Die Denkweise, dass Wasserstoff erstmal teuer und rar wie Champagner sein wird und deswegen zugeteilt werden muss, ist aus meiner Sicht nicht wirklich überzeugend. Es wird immer besser absehbar, dass um 2030 herum ein größeres Angebot an Wasserstoff und Wasserstoffträgern zu konkurrenzfähigen Preisen zur Verfügung stehen wird, entweder über den Import oder aus **heimischen Elektrolyseuren**, die gerade geplant oder schon gebaut werden. Wir sind also bereits in einem Prozess, eine deutlich größere Wasserstoff-Verfügbarkeit aufzubauen. Man könnte den Transformationsprozess mit dem Bau eines Hauses vergleichen. Solange das Haus im Bau ist, ist der Wohnraum nicht vorhanden und knapp. Aber wenn das Haus steht, dann gibt es schlagartig verfügbare Wohnfläche und diese Entwicklung ist schon während des Hausbaus absehbar. Wer nach der Fertigstellung einziehen darf, hängt davon ab, zu welchem Preis der Wohnraum angeboten wird und wer bereit ist, diesen Preis zu zahlen. Genauso wird das mit der Wasserstoff-Verfügbarkeit auch sein. Wenn signifikante Wasserstoffmengen auf dem Markt sind, entscheidet das

Gebot des Käufers darüber, wer den Wasserstoff bekommt.

Neues System konsequent ausbauen

Das ist aber kein Widerspruch zur Aussage, dass Wasserstoff der Champagner der Energiewende ist, oder?

Peter Wasserscheid: Es gibt Kollegen, die sagen, dass Wasserstoff der Champagner der Energiewende ist. Dieser Vergleich legt nahe, dass Wasserstoff langfristig teuer bleiben wird und deshalb ausschließlich da zum Einsatz kommen darf, wo es überhaupt keine andere nachhaltige Lösung gibt. Diese Ansicht teile ich nicht. Natürlich sind die Preise beim Hochlauf einer Technologie höher als im späteren Vollausbau. Aber selbst im Hochlauf kann man in Spezialanwendungen schon wirtschaftliche Vorteile erzielen, wenn z. B. spezielle Kunden Wert darauf legen, eine Vorreiterrolle einzunehmen und deswegen bereit sind, für ein klimafreundliches Produkt tiefer in die Tasche zu greifen. Diese Kunden sorgen dafür, dass der Markt hochläuft und die Preise in Zukunft sinken.

Jetzt ist es unsere Aufgabe, mit Entwicklung, internationalen Partnerschaften und dem konsequenten Ausbau eines regenerativen Energiesystems, dafür zu sorgen, dass der Marktpreis für Wasserstoff möglichst schnell sinkt und für viele Anwendungsbereiche und Kunden interessant wird. Wenn die Produktions- und Speicherkapazitäten bei uns größer geworden sind und wir mehr Wasserstoff importieren,

WER SIND WIR?



„Ich bin überzeugt davon, dass wir bereits genug Wissen und Technologie haben, um die Energiewende dynamisch voranzutreiben.“

Prof. Peter Wasserscheid,

Günderdirektor des [Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft \(INW\)](#),

Direktor des [Helmholtz-Instituts Erlangen-Nürnberg \(IET-2\)](#), Forschungszentrum Jülich

dann wird der angebliche Champagner mehr und mehr zum Mineralwasser der Energiewende.

Sie haben Importe angesprochen. Es gibt Stimmen innerhalb der Wissenschaft, die so gut wie nie über das Thema zukünftige Energieimporte reden. Stattdessen kritisieren sie, dass erneuerbare Energien in Deutschland viel schneller ausgebaut werden müssen.

Peter Wasserscheid: Ich halte den Gedanken, dass wir mit der erneuerbaren Energie-Erzeugung in Richtung einer Energie-Autarkie gehen sollten, für grundsätzlich falsch. Es funktioniert nicht, wenn wir auf der Energieseite autark werden wollen und auf der anderen Seite Exportweltmeister bleiben wollen. Wir müssen irgendwem auch mal Geld geben, damit sich Menschen in unseren Partnerländern deutsche Maschinen und Autos kaufen können und wollen. Und warum sollten wir darauf verzichten, günstigere erneuerbare Energie in Form von speicherbarem Wasserstoff oder Wasserstoff-Derivaten in anderen Ländern einzukaufen und damit unsere stark schwankende erneuerbare Stromerzeugung zu ergänzen und zu stabilisieren?

Die im Juli vom Bundeskabinett beschlossene Importstrategie für Wasserstoff greift genau das auf. Deutschland positioniert sich damit als verlässlicher Geschäftspartner im

Handel mit Ländern, die grünen Wasserstoff günstiger herstellen können. Die [Importstrategie](#) sendet außerdem ein Signal, dass die heimische Wirtschaft, die Wasserstoff in Zukunft dringend braucht, auch mit entsprechenden Mengen aus Import und heimischer Produktion rechnen kann.

Ist es nicht trotzdem sinnvoll, die erneuerbaren Energien in Deutschland weiter auszubauen?

Peter Wasserscheid: Ein weiterer Ausbau ist sinnvoll, aber er führt alleine nicht zu einem stabilen System. Wir haben jetzt schon Tage, an denen wir mehr erneuerbare Energie zur Verfügung haben als unser System aufnehmen kann. Dann stellen wir unsere Windräder ab, obwohl viel Wind weht. Dagegen fällt die Versorgung aus Sonnenenergie im Winter drastisch ab. Wenn die Energiewende ein Haus ist, dann ist die regenerative Erzeugung das Fundament (Grafik Seite 8). Es ist völlig klar, dass wir ohne Fundament kein Haus bauen können. Auch klar ist aber, dass kein Haus entsteht, nur weil ich das Fundament immer größer mache. Man muss auf das Fundament ein Haus bauen. Im Falle des Energiesystems brauchen wir dafür Speicher, Wandler, Reservekapazitäten und Transportmöglichkeiten, um das Haus der Energiewende stabil zu errichten. Und da spielt der Wasserstoff eine entscheidende Rolle.

Das Haus der Energiewende

Wenn Sie jetzt der Baumeister des Hauses Energiewende in Deutschland wären – wie sähe Ihr Plan aus?

Peter Wasserscheid: Es gibt andere sehr wichtige Baumeister: Die Politik beeinflusst den Bau durch Rahmenbedingungen. Und ohne Unternehmen mit ihren Investitionsentscheidungen, kommt der Bau auch nicht voran. Als Wissenschaftler suche ich nach besseren und kostengünstigeren Möglichkeiten, die bekannten Herausforderungen zu lösen. Ich bin überzeugt davon, dass wir bereits genug Wissen und Technologie haben, um die Energiewende dynamisch voranzutreiben. Aber wir haben nicht genug, um sagen zu können, dass wir für jedes Problem schon jetzt die beste Lösung gefunden haben.

Die Energiewende bleibt aus technologischer Sicht ein hochdynamischer Prozess, der im weltweiten Wettbewerb stattfindet und große unternehmerische Chancen bietet. Wichtig ist, dass man Ziele vorgibt und keine Wege, so dass ein Wettbewerb der besten Konzepte möglich ist. Und dass wir den Markt in die Suche nach dem besten Weg einbinden. Es wird nicht möglich sein, die globale Energiewende über staatliche Verbote und Vorgaben zu erzwingen. Wir können sie auch nicht herbeifördern oder herbeisubventionieren. Wichtig sind funk-

tionierende Geschäftsmodelle, die für private Kapitalgeber interessant sind. Nur so können wir auf einer globalen Dimension klimarelevante Effekte erzielen.

Teilen Sie die Ansicht, dass das öffentliche Interesse an Energiethemen in den letzten Monaten spürbar abgenommen hat?

Peter Wasserscheid: Ich habe ja schon betont, dass ich das Vorhaben Energiewende als Aufgabe ansehe, die sich in der notwendigen globalen Dimension auf eine oder zwei Generationen erstreckt. Ereignisse wie internationale Krisen und Kriege verschieben leicht die Wahrnehmung und rücken andere Probleme in den Fokus. Die Klimakrise ist aber kein temporäres lokales Ereignis, sondern eine globale Krise, die zweifelsfrei naturwissenschaftlich nachweisbar ist und deren Folgen wiederkehrend sehr deutlich spürbar werden. Deswegen werden die Klimakrise und die Notwendigkeit zur Energiewende immer wieder mit steigender Intensität auf die politische Agenda zurückkehren. Dann werden Wissenschaftler gerne nach Lösungen gefragt, die sofort greifen. Diese Lösungen sind aber nur dann vorhanden, wenn die Gesellschaft das Problem deutlich vorher erkannt und die Politik deutlich vorher die Weichen richtig gestellt hat, sodass die Wissenschaft kontinuierlich daran arbeiten

konnte. Deswegen sehe ich die Bedeutung unserer Arbeit nicht als geringer an, nur weil die mediale Aufmerksamkeit gerade auf andere Themen gerichtet ist.

Wie beeinflussen die Ergebnisse aus der Klimaforschung Ihre Arbeit?

Peter Wasserscheid: Ich bin kein Klimaforscher. Wenn ich zum Beispiel an einem klimaneutralen Schiffsantrieb arbeite, dann weiß ich zwar, dass das einen positiven Beitrag im Kampf gegen die Klimakrise leisten kann. Aber wie genau dieser Beitrag bei einer bestimmten Nutzung der neuen Technologie aussieht, kann ich selbst nicht berechnen. Allerdings haben wir im **Forschungszentrum Jülich** eine Klimaforschung auf höchstem Niveau und zusammen mit den Kollegen dort, können wir die Dinge im Zusammenhang sehen und **positive**

Auswirkungen von Technologieentwicklungen auf das Klima im Falle einer umfassenden Anwendung auch vorhersagen. Das bietet einzigartige Chancen und liefert sehr wichtige neue Erkenntnisse.

Das Wasserstoffwachstum im Revier hat begonnen. Wo und wie genau erfahren Sie auf den nächsten zwei Seiten. >>>



Hier geht's zum 1. Interview

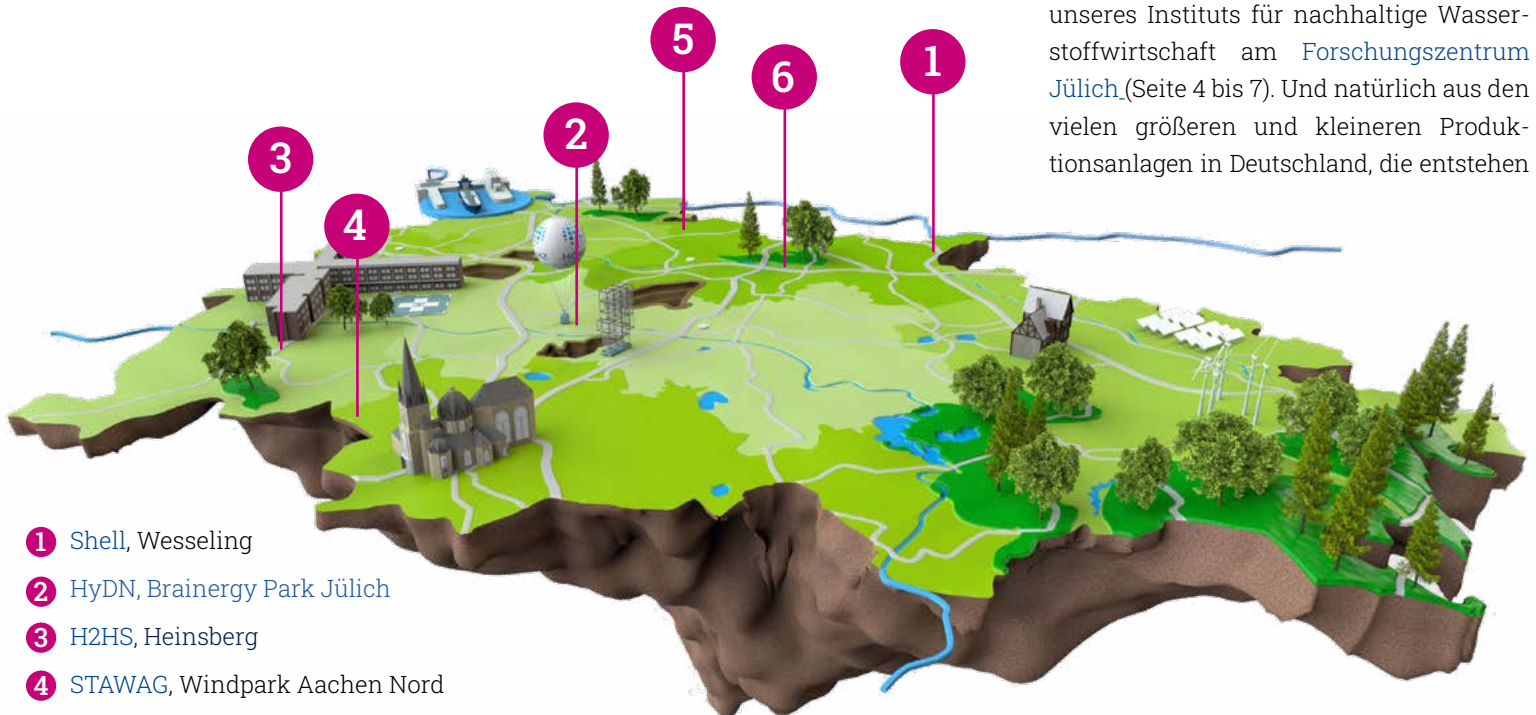


Hier produziert das Revier Wasserstoff

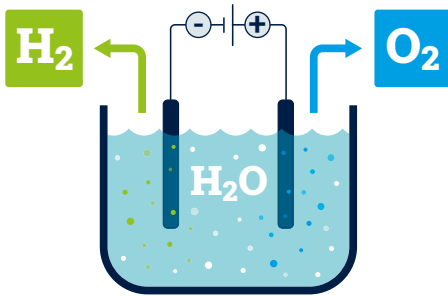
Wer hat den größten Elektrolyseur*? Das Rennen ist offenbar eröffnet. Und das ist gut so. Denn damit deutet sich an, dass die Prognosen von Prof. Peter Wasserscheid in seinem Interview auf Seite 8 und von Dr. Max Ellerich von **NEUMAN & ESSER** (Seite 36) stimmen. Der Zubau an Elektrolyseuren (Seite 26) zur Produktion von grünem Wasserstoff in Deutschland nimmt deutlich an Fahrt auf. Das wird ganz besonders hier im Rheinischen Revier deutlich. Auf diesen beiden Seiten geben wir einen Überblick, der aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

* Weitere Infos zur Funktionsweise eines Elektrolyseurs: Seite 27

2023 hatte die neue Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung 10.000 Megawatt (MW) als Ziel für 2030 definiert. Laut der Seite www.wasserstoff-kompass.de lag die Elektrolyse-Kapazität in Deutschland Mitte des Jahres bei 154 MW, sie war also noch weit vom Ziel entfernt. Trotzdem kommt jetzt Bewegung in den Ausbau. RWE hat angekündigt, im niedersächsischen Lingen im kommenden Jahr mit einer 100-MW-Elektrolyse in Betrieb zu gehen, die bis 2027 auf 300 MW ausgebaut werden soll. Wo sollen in Zukunft die großen Mengen an grünem Wasserstoff herkommen? Einerseits als Importe aus Ländern, die ihn in größeren Mengen und günstiger herstellen können. Das Transportieren über große Strecken ist neben der Lagerung und der Speicherung eines der zentralen Themen unseres Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft am [Forschungszentrum Jülich](#) (Seite 4 bis 7). Und natürlich aus den vielen größeren und kleineren Produktionsanlagen in Deutschland, die entstehen



- 1 Shell, Wesseling
- 2 HyDN, Brainergy Park Jülich
- 3 H2HS, Heinsberg
- 4 STAWAG, Windpark Aachen Nord
- 5 H2 Bedburg, Industriepark Mühlenerft Bedburg
- 6 Energie Arbeit Türnich, Gewerbegebiet Türnich



Prinzip der Elektrolyse*

und die bald dafür sorgen, dass grüner Wasserstoff genau so funktioniert, wie die anderen Säulen des Energiesystems der Zukunft: dezentral und unabhängig von wenigen Ländern, die heute an fossiler Energie verdienen. Im Rheinischen Revier gibt es erkennbares Wachstum.

1

Ein großes Vorhaben hat den Namen **REFHYNE II**. Bis zu 44 Tonnen Wasserstoff täglich soll der 100-Megawatt-PEM-Elektrolyseur ab 2027 im Shell Energy and Chemicals Park Rheinland in Wesseling produzieren. PEM steht für: Proton-Exchange-Membrane (Protonen-Austausch-Membran). REFHYNE II basiert auf den Erkenntnissen, die der Konzern aus dem seit 2021 betriebenen 10-MW-Elektrolyseur am gleichen Standort gewonnen hat.

Ein Vergleich, der zeigt, dass der Weg immer noch lang ist: Für die Wasserstoffbasierte Stahlproduktion **tkH2Steel** in Duisburg hat Betreiber Thyssenkrupp im Vollbetrieb ab 2029 einen Wasserstoffbedarf von rund 380 Tonnen täglich angekündigt. Etwa 2,3 Millionen flüssiges Roh-eisen sollen so pro Jahr produziert werden. Das entspricht laut der Wirtschaftsvereinigung Stahl in etwa zehn Prozent der aktuellen Produktion in Deutschland.

2

Mit einer Leistung von 10 MW geht im kommenden Jahr der Elektrolyseur der **HyDN GmbH** in Jülich an den Start. Direkt im Brainergy Park Jülich, der auch das **Helmholtz-Cluster Wasserstoff** beheimatet. HyDN ist ein Zusammenschluss des Kreises Düren mit Messer Industriegase. Das

Ziel der Elektrolyse dort ist, die regionale Bahnlinie und die Busflotte mit Wasserstoff zu versorgen. Den überschüssigen Wasserstoff will Messer verkaufen. „Wir möchten zeigen, dass es auch direkt vor Ort gelingt, grünen Wasserstoff zu produzieren, der regional verwertet wird“, sagt der Dürener Landrat Wolfgang Spelthahn. „Es ist gut vorstellbar, dass wir die Anlage zeitnah nach ihrem Start größer skalieren. Die modulare Bauweise lässt auch 30 MW oder mehr zu.“ Mit Energie versorgt wird die Elektrolyse von den angrenzenden Photovoltaik-Feldern und den Windrädern in der Nähe.

3

Wasserstoff für den Busverkehr vor Ort: In diese Richtung geht auch **H2HS**, ein Konsortium aus fünf Unternehmen aus dem Kreis Heinsberg, dem NEUMAN & ESSER aus Übach-Palenberg, Frauenrath aus Heinsberg, BMR Energie Solutions aus Geilenkirchen, Veolia aus Heinsberg und die WEP aus Hückelhoven angehören. Ab Anfang 2025 soll die Anlage jährlich rund 70 Tonnen grünen Wasserstoff herstellen, um damit zwölf Wasserstoffbusse mit einer neu eingerichteten Tankstelle zu versorgen. Die maximale Gesamtproduktionskapazität benennt H2HS mit etwa 200 Tonnen jährlich. Die notwendige Energie kommt aus Windrädern, die sich in den Städten Heinsberg, Hückelhoven und Geilenkirchen drehen.

4

Windräder elektrifizieren in Zukunft auch die Elektrolyse, die der Aachener Versorger **STAWAG** aufbaut. Auch hier liegt der Fokus auf regional hergestelltem grünen Wasser-

stoff, der regional verwendet wird. Die Energie stammt aus dem Windpark Aachen Nord. Denkbar ist, dass der Wasserstoff vor Ort für den öffentlichen Nahverkehr oder den Schwerlastverkehr zur Verfügung gestellt oder an andere Verbraucher verkauft wird.

5

Eine 5-MW-Elektrolyse entsteht gerade im Industriepark Mühlenerft in Bedburg, Ende 2026 soll sie in Betrieb gehen. **H2 Bedburg** heißt das Vorhaben, bei dem der Elektrolyseur an eine Abfüllstation für Industrie- und Privatnutzung sowie eine Wasserstoff-Tankstelle gekoppelt wird. Das Projekt ist modular angelegt und kann bei Bedarf später auf bis zu 15 MW skaliert werden.

6

15 MW erreicht das Vorhaben **Energie Arbeit Türnich** in Kerpen auf Anhieb, wenn es fertiggestellt ist. Die Stadt Kerpen arbeitet hier mit den Stadtwerken Kerpen, dem Forschungszentrum Jülich, Siemens Energy und der Westenergie zusammen. Geplant ist eine Elektrolyse-Kapazität von rund 20 MW, mit der der öffentliche Nahverkehr und die Wasserstoff-Lkw der Logistiker vor Ort versorgt werden sollen. Große Druckspeicher sollen dafür sorgen, dass Wasserstoff trotz schwankender Erzeugungsleistungen an erneuerbaren Energien jederzeit zur Verfügung steht. Mit einer Abfüllstation soll der Wasserstoff auch per Trailer an Kunden vertrieben werden können.

Bei der Wasserstoff-Speicherung und dem Transport ist Wasserstoff nicht alleine. Es braucht starke Partner, die wir auf den nächsten Seiten vorstellen. >>>

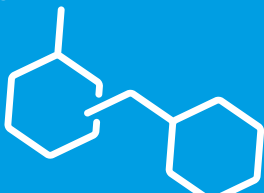
Molekül-Steckbriefe





Damit Wasserstoff (H₂) als Teil des Energiesystems der Zukunft funktioniert, braucht er zuverlässige Partner. Allein ist das kleinste Molekül überhaupt schwer zu handhaben. Umgänglich wird Wasserstoff, wenn er ein Bestandteil eines größeren Moleküls ist und bei Bedarf herausgelöst werden kann. Solche Wasserstoff-Derivate wie Ammoniak, Methan, Methanol, Dimethylether oder sogenannte LOHC sind die zentralen Themen des Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft am Forschungszentrum Jülich. Sie entstehen aus der Reaktion von Trägermolekülen wie Kohlenstoffdioxid (CO₂) oder Stickstoff (N₂) mit Wasserstoff. Wir stellen Ihnen einige der wichtigsten Wasserstoffpartner vor.



LOHC

Liquid Organic Hydrogen Carrier



Herstellung*	
Transport*	
H ₂ -Freisetzung*	
Speicherung*	

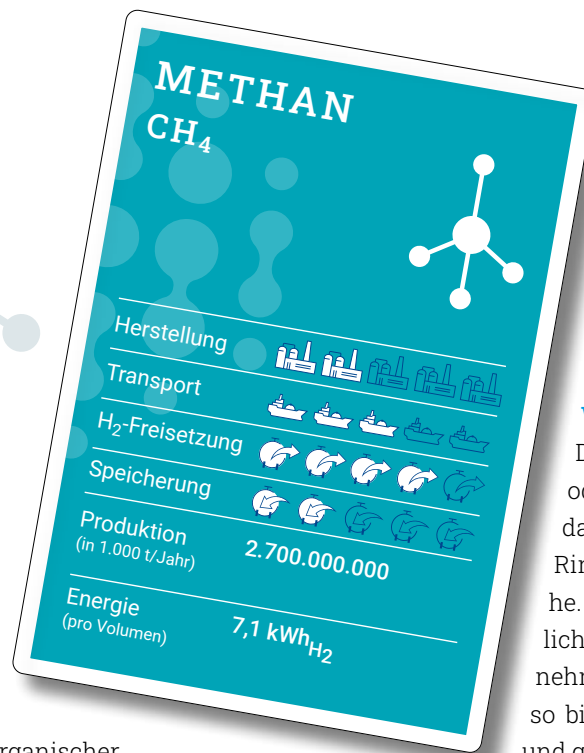
Produktion (in 1.000 t/Jahr)	30.000 (Toluol) 50 (Benzyltoluol) 10 (Dibenzyltoluol)
---------------------------------	---

Energie (pro Volumen)	1,57 kWh _{H₂}
--------------------------	-----------------------------------

„Wir können wie Diesel gelagert und transportiert werden.“

* Hier ist dargestellt, wie gut das Derivat grün hergestellt, grün transportiert und aus ihm H₂ freigesetzt oder gespeichert werden kann.

„Ich setze
am meisten
Wasserstoff frei.“



METHAN

Wer bin ich?

Du kennst mich als Erdgas oder aus der Landwirtschaft, da ich bei der Verdauung von Rindern und Schafen entsteht. Auch wenn du dir vermutlich ein grünes und unangenehm riechendes Gas vorstellst, so bin ich in Wirklichkeit farb- und geruchslos.

Wo komme ich her?

Meine gezielte Förderung geht auf das 19. Jahrhundert zurück, obwohl meine Entstehungsgeschichte schon viel früher begann. Über mehrere Jahrtausende hinweg wurden kleinste Organismen wie z. B. Algen unter Druck und Hitze in mich umgewandelt.

Welche Spitznamen trage ich?

In der Wissenschaft werde ich auch als CH₄ oder Methylwasserstoff bezeichnet.

Wie werde ich als umweltfreundlicher Wasserstoffträger genutzt?

Ich entsteht, wenn vier Teile grüner Wasserstoff und ein Teil Kohlenstoffdioxid zusammengebracht werden. Der Wasserstoff ist so gut und fest in mir gebunden, dass ich diesen für lange Zeit speichern und über lange Strecken hinweg transportieren kann. Am Ziel angekommen, kann ich wieder in H₂ und CO₂ zerlegt werden.

Wofür werde ich sonst genutzt?

Meistens werde ich zum Heizen von Gebäuden oder zum Antrieb von Motoren in Erdgas-Autos verwendet. Darüber hinaus werde ich in meine Bestandteile (H₂ und CO₂) zerlegt, um die Varianten meiner Freunde Methanol und Dimethylether zu bilden.

LOHC

Wer sind wir?

Wir sind eine ganze Familie verschiedener flüssiger organischer Stoffe. Wir sind in der Lage, Wasserstoff chemisch zu binden und anschließend wieder freizusetzen. Zur Familie gehören unter anderem Toluol, Benzyltoluol und Dibenzyltoluol.

Wo kommen wir her?

Unsere Erforschung begann schon in den frühen 1980er Jahren und geht bis heute weiter, sodass unsere Familie immer größer wird.

Welche Spitznamen tragen wir?

Da wir über viele Speichervorgänge erhalten bleiben, werden wir auch als flüssige Pfandflasche für H₂ bezeichnet. In der Wissenschaft heißen wir Liquid Organic Hydrogen Carrier (flüssige organische Wasserstoffträger). Sind wir mit Wasserstoff beladen, so werden wir auch LOHC+ genannt. Im unbeladenen Zustand werden wir als LOHC- bezeichnet.

Wie werden wir als umweltfreundlicher Wasserstoffträger genutzt?

Bei uns ist es ganz einfach: Wir werden mit grünem H₂ befüllt und geben dabei Wärme ab. Wenn anschließend wieder Wärme zugeführt wird, geben wir den H₂ wieder ab. Beide Schritte erfordern die Anwesenheit eines Reaktionsbeschleunigers, den Fachleute Katalysator nennen.

Wofür werden wir sonst genutzt?

Wie in einer Familie hat jedes Mitglied neben der Speicherung von Wasserstoff eigene wichtige Aufgaben. Während Toluol als Basischemikalie und Lösungsmittel genutzt wird, sind Benzyltoluol und Dibenzyltoluol schon lange als Wärmeträgeröl im industriellen Einsatz.

AMMONIAK

Wer bin ich?

Ich bin ein farbloses Gas und rieche sehr scharf, damit du mich ja nicht einatmest.

Wo komme ich her?

In der Natur entstehe ich vor allem in der Tierhaltung durch die Umwandlung der Exkremente von Nutztieren. Ich wurde zum ersten Mal im Jahr 1774 von Joseph Priestley untersucht. Seit etwa 100 Jahren werde ich aus Wasserstoff und Stickstoff mithilfe des Haber-Bosch Verfahrens großtechnisch produziert.

Welche Spitznamen trage ich?

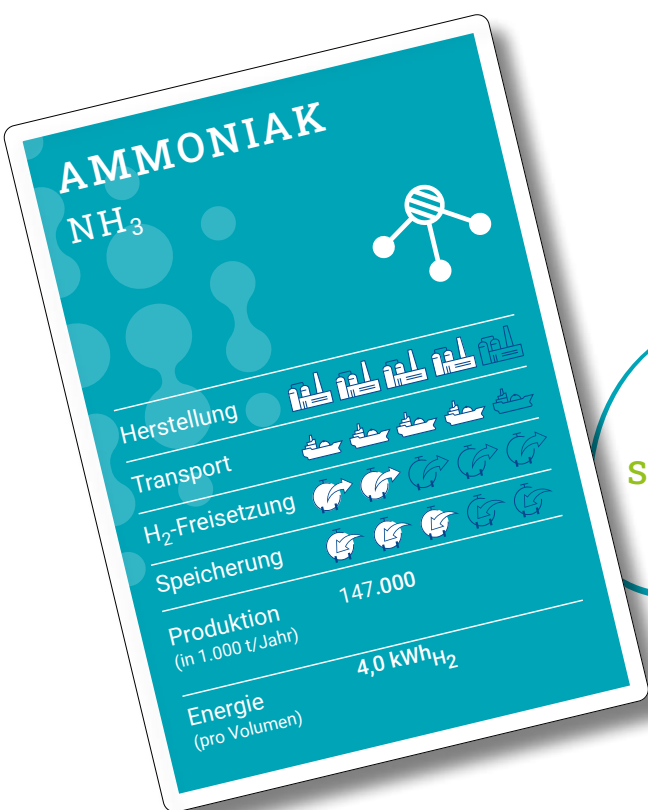
Du kennst mich als Salmiakgeist, weil ich beim Erhitzen von Salmiak entstehe. In der Wissenschaft werde ich als NH_3 bezeichnet.

Wie werde ich als umweltfreundlicher Wasserstoffträger genutzt?

Grüner H_2 vereint sich mit N_2 zu mir. Bei Bedarf kann ich in N_2 und H_2 aufgespalten werden und somit den Wasserstoff wieder zur Verfügung stellen.

Wofür werde ich sonst genutzt?

Im Wesentlichen werde ich für die Herstellung von Düngemitteln verwendet, ich eigne mich aber auch sehr gut als Basischemikalie. Ob mit oder ohne meinen Freund Dimethylether (DME) diene ich als Kältemittel.



METHANOL

Wer bin ich?

Ich bin der einfachste Vertreter der Alkohole und der kleine Bruder von Ethanol – dem Trinkalkohol. Normalerweise bin ich eine farblose, klare Flüssigkeit, wie Wasser, und brenne mit bläulicher Flamme.

Wo komme ich her?

Ich komme in der Natur z. B. in Baumwollpflanzen, Früchten und Gräsern vor. Schon die antiken Ägypter haben mich durch das Verbrennen von Holz ohne Luft hergestellt. Seit etwa 100 Jahren werde ich großtechnisch mitunter aus Wasserstoff produziert.

Welche Spitznamen trage ich?

Aufgrund meiner Geschichte werde ich häufig auch Methylalkohol, Holzalkohol oder auch Waldgeist genannt, aber du solltest mich nicht trinken. In der Wissenschaft werde ich als MeOH oder CH_3OH bezeichnet.

Wie werde ich als umweltfreundlicher Wasserstoffträger genutzt?

Für meine Herstellung schließen sich drei Teile grüner H_2 und ein Teil CO_2 zusammen. H_2 ist so gut und fest in mir gebunden, dass ich diesen für lange Zeit speichern und über lange Strecken hinweg transportieren kann. Am Ziel angekommen, kann ich wieder in CO_2 und H_2 zerlegt werden.

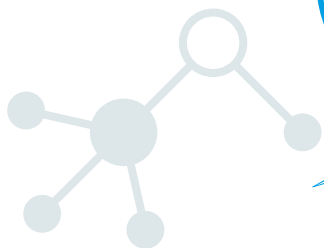
Wofür werde ich sonst genutzt?

Ich bin ein wichtiger Ausgangsstoff in der chemischen Industrie und werde häufig zur Herstellung meiner Nachkommen, wie z. B. Formaldehyd und Essigsäure, eingesetzt. Ich selbst werde auch als Lösemittel, Frostschutzmittel und Kraftstoff verwendet oder zu Kunststoffen, Klebstoffen, Windeln und vielem mehr weiterverarbeitet.

„Ich bin ein Wasserstoff-speicher und Pflanzen-Helfer.“



„Ich bin der Allrounder unter den chemischen Wasserstoffspeichern“



DIMETHYLETHER

Wer bin ich?

Ich bin der einfachste Ether. Ich verhalte mich ähnlich wie Grillgas und bin schnell mal flüssig, wenn mir ein bisschen Druck gemacht wird. Normalerweise bin ich unsichtbar, denn ich bin ein farbloses Gas und rieche ätherisch.

Wo komme ich her?

Vor knapp 200 Jahren entdeckten mich die zwei französischen Chemiker Jean-Baptiste Dumas und Eugene Péligot, die mich 1835 erstmals aus Methanol hergestellt haben. Heute entstehe ich immer noch, wenn zwei Teile Methanol sich zusammenschließen.

Welche Spitznamen trage ich?

Neben Dimethylether trage ich noch viele weitere Namen, z. B. Holzether, Dimethyläther, Methyloxid. In der Wissenschaft werde ich als CH_3OCH_3 oder MeOMe bezeichnet.

Wie werde ich als umweltfreundlicher Wasserstoffträger genutzt?

Wenn Methanol grün aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid (CO_2) hergestellt worden ist, dann bin ich das grüne Produkt daraus. Rückwärts kann ich genauso wieder H_2 freisetzen.

Wofür werde ich sonst genutzt?

Du hast mich bestimmt schon einmal gekauft, denn ich bin häufig das Treibgas von Deos (Seite 30). Mit meinem Freund Ammoniak komme ich als Kältemittel zum Einsatz. Ansonsten bin ich ein hervorragender Kraftstoff, der als Ersatz für Diesel dienen kann.

Wasserstoff hat viele Farben. Eine dieser Farben ist weiß. Mehr dazu auf der nächsten Seite. >>>



Hier geht's zu den Steckbriefen

METHANOL

CH_3OH

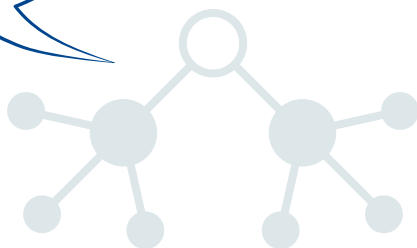
Herstellung	
Transport	
H_2 -Freisetzung	
Speicherung	
Produktion (in 1.000 t/Jahr)	183.000
Energie (pro Volumen)	5,0 kWh_{H_2}

DIMETHYLETHER

$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Herstellung	
Transport	
H_2 -Freisetzung	
Speicherung	
Produktion (in 1.000 t/Jahr)	5.000
Energie (pro Volumen)	5,9 kWh_{H_2}

„Ich habe den einfachsten Umgang.“



Wenn Wunschdenken Wirklichkeit wird ...

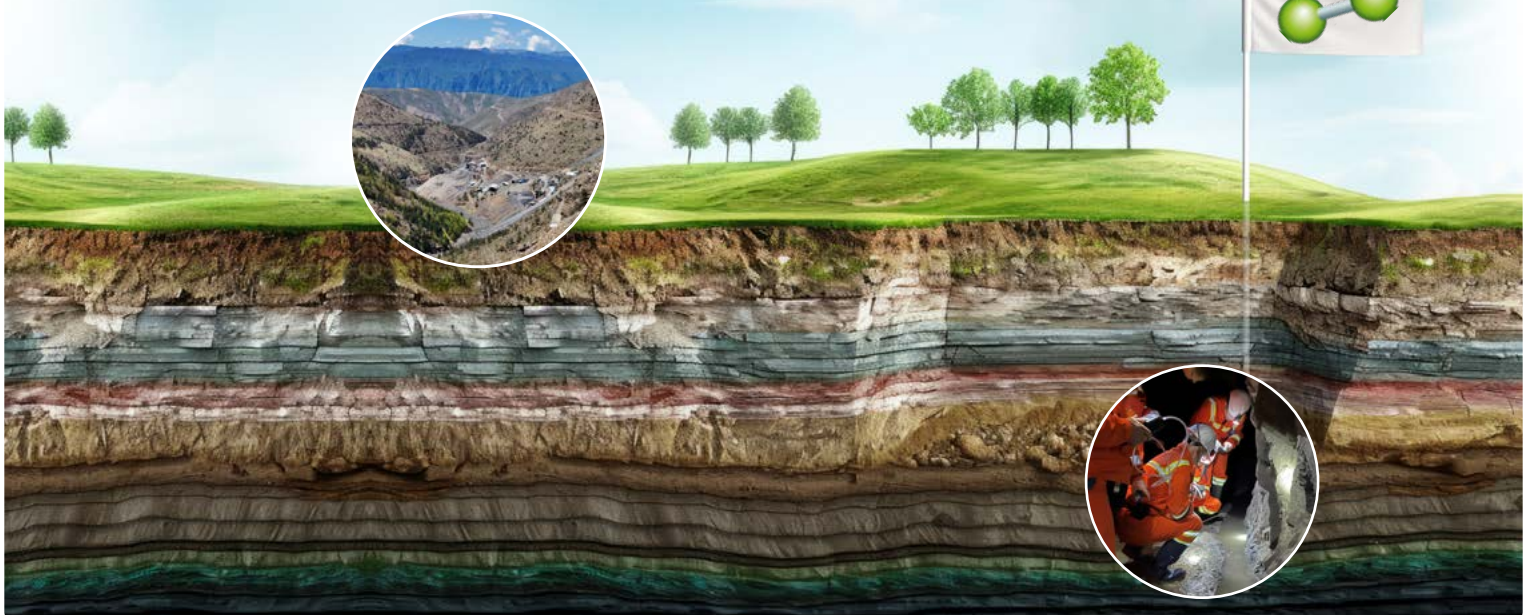
Muss die Farbpalette des Wasserstoffs seit dem vergangenen Jahr neu gedacht werden? Es gibt jetzt nicht mehr nur grünen, grauen, türkisen oder blauen Wasserstoff. Weiß ist die neueste Farbe. 2023 haben Forscher größere Vorkommen an natürlichem Wasserstoff in Frankreich in Lothringen gefunden. Gesucht hatten sie eigentlich nach Erdgas und dann einen Wasserstoffanteil festgestellt, der mit zunehmender Tiefe steigt. In 1.100 Metern Tiefe lag er bei 15 Prozent. „Da wurde uns klar, dass wir möglicherweise ein ungeahntes Vorkommen an weißem Wasserstoff gefunden hatten“, wird der Geochemiker Philippe de Donato von der Universität de Lorraine Anfang August 2023 auf der Fachplattform chemie.de zitiert.

Anfang dieses Jahres teilten Forscher der Universität Grenoble mit, dass unter der Erde in Albanien (wie hier auf den eingefügten Fotos in der Illustration zu sehen) rund 200 Tonnen natürlicher Wasserstoff pro Jahr entstehen sollen, wie unter anderem das Portal H2News berichtet. In das rund einen Kilometer tief gelegene Becken mit heißem Wasser strömt kontinuierlich Gas mit einem Anteil an natürlichem Wasserstoff von 84 Prozent. Mittlerweile suchen und finden immer mehr Länder weltweit weißen Wasserstoff.

Ein Weg, der sich lohnt

„Wenn ich ihn haben könnte, dann würde ich ihn natürlich direkt benutzen“, sagt der Jülicher Wasserstoffforscher Andreas Peschel, der als Professor den Bereich für

Prozess- und Anlagentechnik für chemische Wasserstoff-Speicherung am Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) leitet. „Wenn das Wörtchen wenn nicht wäre...“ lautet ein Spruch, der deutlich macht, dass zwischen Wunschdenken und Wirklichkeit fast immer ein weiter Weg liegt. „Ein sehr weiter Weg. Aber es lohnt sich auf jeden Fall, wenn wir uns auf den Weg machen“, betont Andreas Peschel. Gleichzeitig hält er fest, dass natürliche Vorkommen keinen Kurswechsel in Forschung, Entwicklung und Umsetzung bedeuten sollten. „Nach heutigem Stand gehe ich davon aus, dass wir mit Blick auf den Klimawandel schon längst gehandelt haben müssen, bevor weißer Wasserstoff dem Markt in signifikanten Mengen zur Verfügung steht. Falls das jemals der Fall sein wird.“



Wie gesagt, es ist ein weiter Weg. „Wir wissen noch längst nicht verlässlich, wie viel weißer Wasserstoff verfügbar gemacht werden kann. Bisher gibt es nur erste Erkenntnisse über die Reinheit des Wasserstoffs in den unterirdischen Quellen und damit über die Notwendigkeit von möglichen Reinigungsverfahren. Es ist noch unklar, wie tief unter der Erde die Quellen sind und wie tief wir bohren müssen. Erst wenn das alles positiv beantwortet ist, wird es signifikante Investitionen in das Thema geben“, beschreibt Andreas Peschel die Fragen, die nachhaltig beantwortet werden müssen. „Aufgrund der hohen Investitionen in die Förderung des weißen Wasserstoffs wird dieser auch seinen Preis haben und nicht umsonst sein.“

Warum weißer Wasserstoff lange wie Nessi oder der Yeti war – also ein nie nachgewiesenes Fabelwesen –, ist recht schnell beantwortet. Die Mineralöl- und Gaskonzerne haben ihn nicht gesucht. Sie hatten es auf Erdöl und Erdgas abgesehen. Optimisten reden schon von einer **neuen Art des Goldrauschs**. Skeptiker monieren, dass die bisher entdeckten nutzbaren **Vorkommen viel zu klein sind, um einen Unterschied zu machen**.

„Weißer Wasserstoff kann das Portfolio der Wasserstoffwirtschaft möglicherweise bis 2050 ergänzen. Er wird grünen oder blauen Wasserstoff aber nicht ersetzen. Wir sollten offen sein für verschiedene klimafreundliche Formen der Wasserstoff-Gewinnung“, sagt Andreas Peschel.

Denn der Bedarf steigt. Als die **Nationale Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung** im vergangenen Jahr neu gefasst wurde, lag der jährliche Bedarf in Deutschland bei 55 Terrawattstunden (TWh) pro Jahr. Für das Jahr 2030 ist die Strategie ausgelegt auf bis zu 130, für 2045 auf mehr

als 350 TWh. Natürliche Vorkommen könnten helfen, das Ziel besser zu erreichen. Letztlich aber zählt, wie viel emissionsarm hergestellter Wasserstoff zur Verfügung steht, egal, ob er blau, grün oder weiß ist.

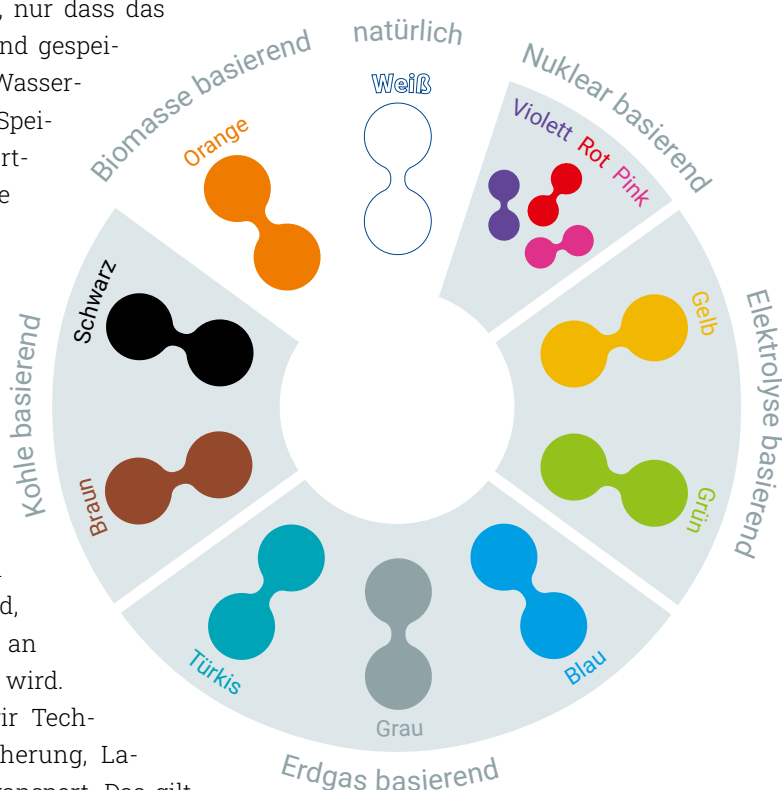
Speicher sind wichtig

Grüner Wasserstoff wird mit Elektrolyse hergestellt, die dafür notwendige Energie ist grüner Strom. Bei der Herstellung von grauem Wasserstoff, der heute noch vorherrschenden Art, die Schritt für Schritt aus dem Markt gedrängt werden soll, wird klimawirksames Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt. Blauer Wasserstoff ist wie grauer Wasserstoff, nur dass das CO₂ aufgefangen und gespeichert wird. Jede Wasserstofffarbe benötigt Speicher- und Transporttechnologien, die damit ein wichtiges Forschungsfeld bleiben.

„Wie bei vielen fossilen Energieträgern ist es auch beim Wasserstoff so, dass die Orte, an denen er gewonnen wird, nicht die Orte sind, an denen er benötigt wird. Daher brauchen wir Technologien für Speicherung, Lagerung und den Transport. Das gilt für alle Farben des Wasserstoffs“, erklärt Andreas Peschel. Dies sind die Themen, an denen er und sein Team am INW forschen. Sollte sich in den kommenden Jahren herausstellen, dass es viele Quellen mit weißem Wasserstoff gibt und diese die Verfüg-

barkeit deutlich erhöhen, dann heißt es für das INW: jetzt erst recht. Denn je schneller die Wasserstoffwirtschaft mit ihren Facetten Erzeugung, Gewinnung, Lagerung, Speicherung, Transport und Verbrauch ausgerollt wird, desto schneller entsteht eine Wirkung im Kampf gegen die globale Erwärmung.

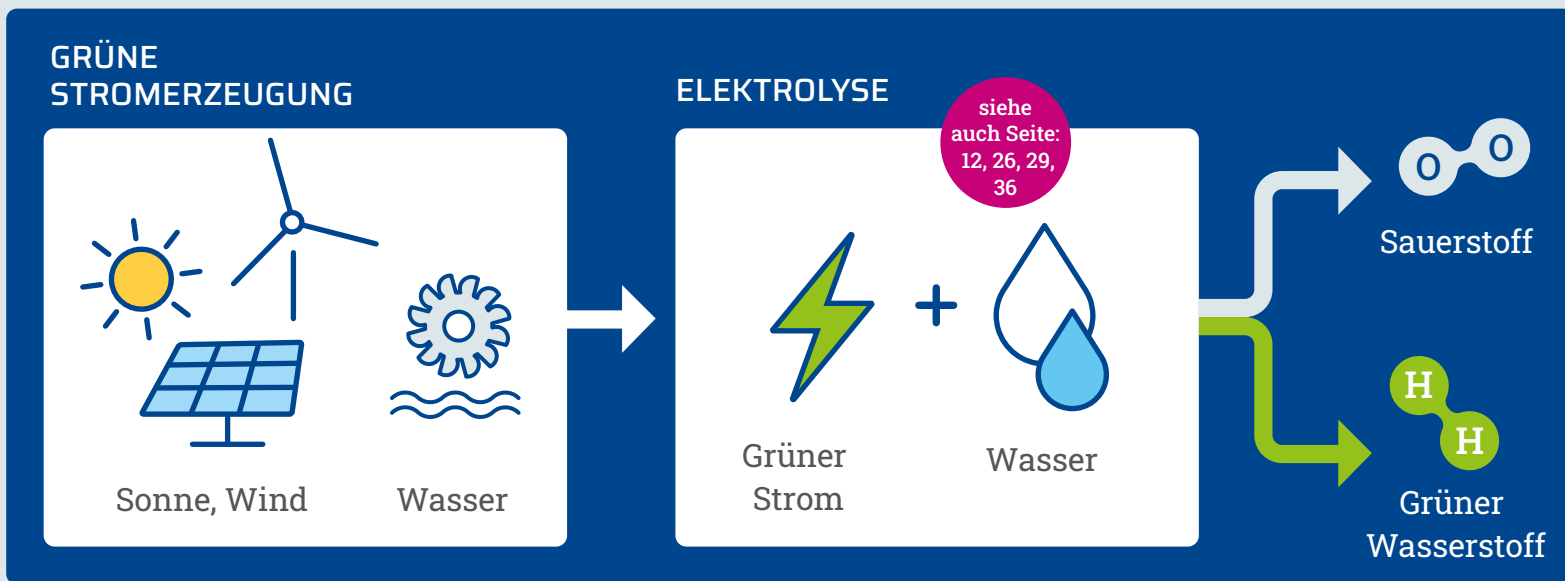
Wie Wasserstoff in das Energiesystem der Zukunft eingebaut werden kann, zeigt die folgende Grafik. >>>



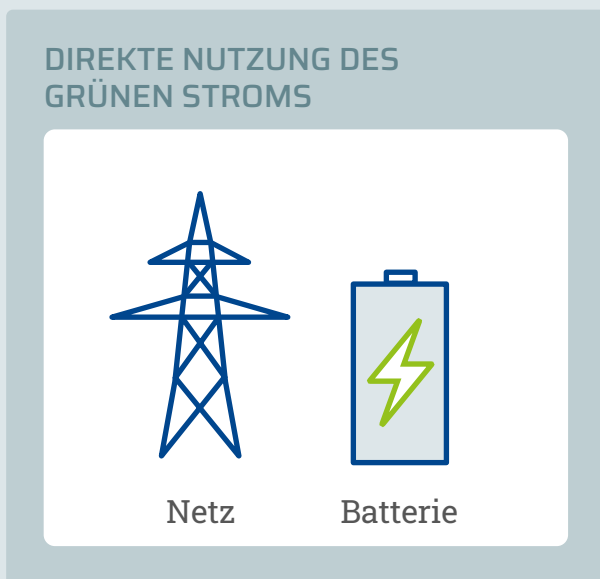
Weitere Infos zur Farbenlehre

Die Rolle des Wasserstoffs im

PRODUKTION

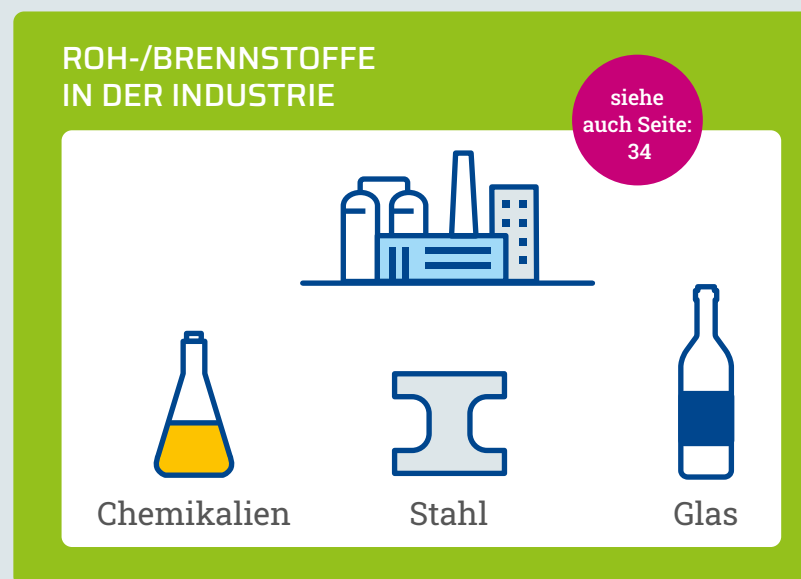


NUTZUNG STROM



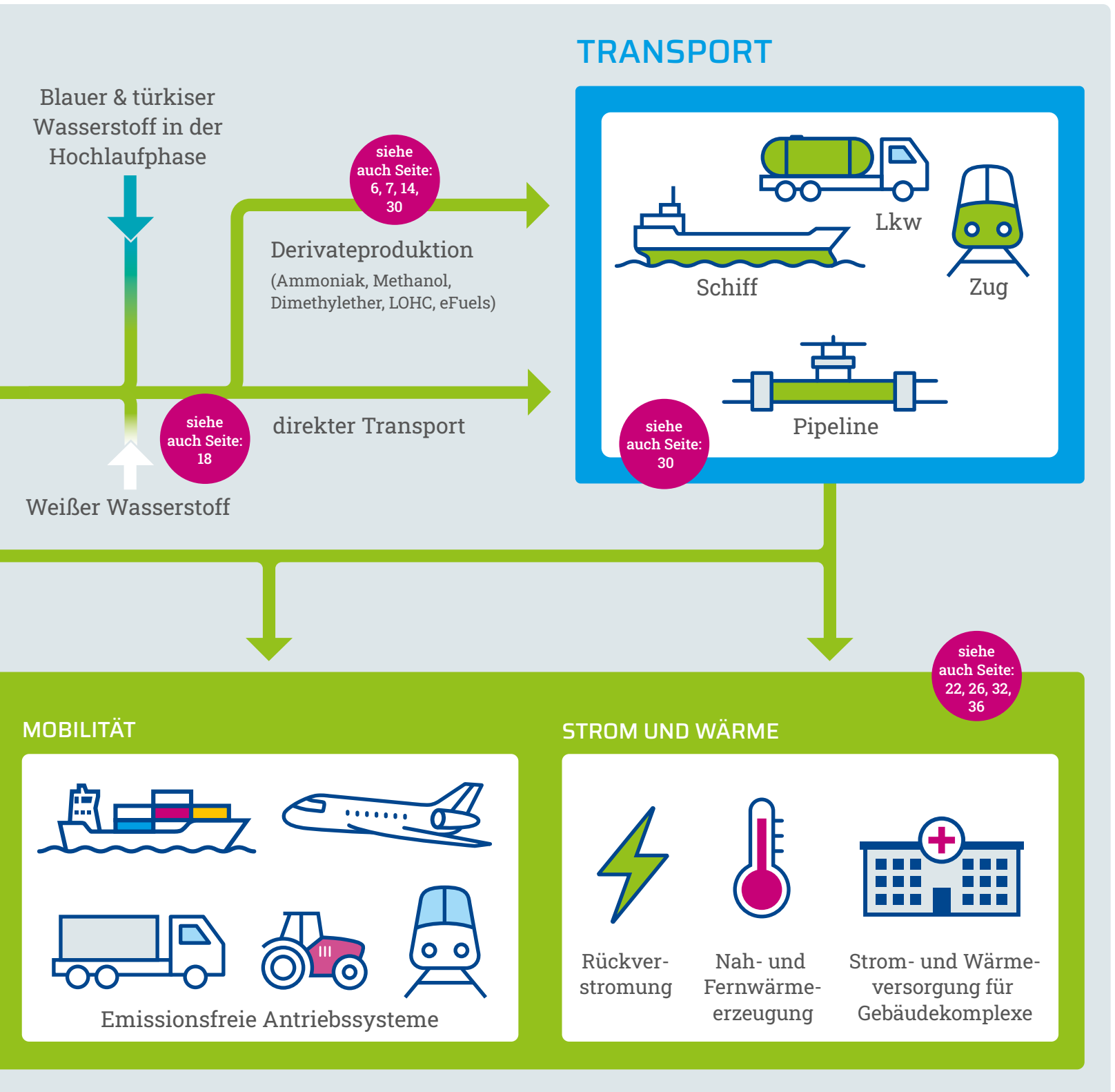
NUTZUNG WASSERSTOFF

siehe auch Seite: 8



Quelle: Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Energiesystem der Zukunft

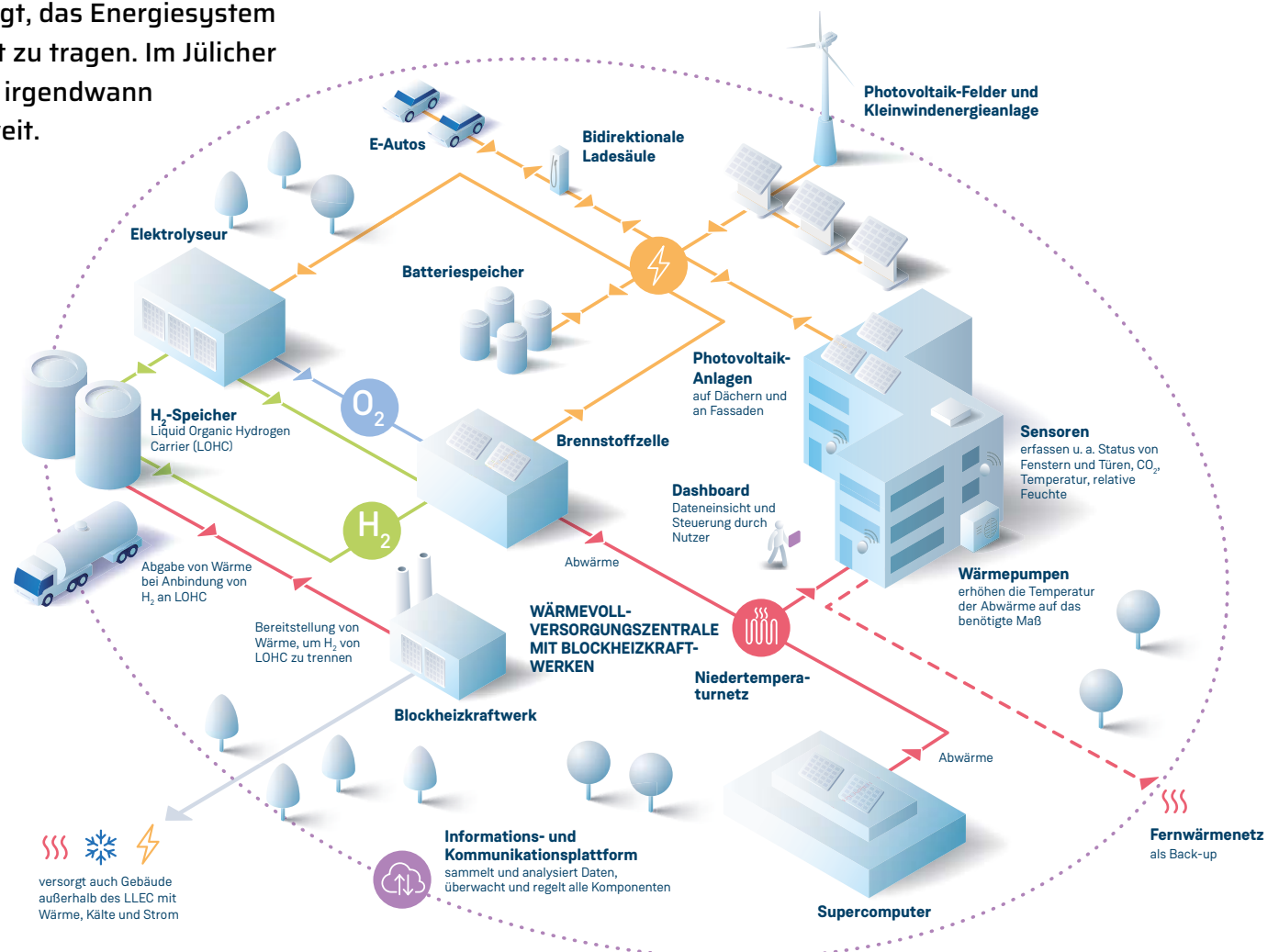


Ein kompletter Campus wird zum Energielabor

In Zukunft werden wir viele verteilte Energiesysteme nutzen, um unseren Bedarf zu decken. Dabei wird es unumgänglich sein, alle Sektoren optimal miteinander zu koppeln. Wie das am effizientesten funktioniert, erproben Fachleute aus Jülich in der Praxis. Dazu verwandeln sie den eigenen Campus des Forschungszentrums Jülich in ein Reallabor. Wasserstoff ist dabei eine wichtige Säule, die dazu beiträgt, das Energiesystem der Zukunft zu tragen. Im Jülicher Reallabor - irgendwann auch weltweit.

„Auch in Zeiten knapper und teurer Energie muss man morgens im Winter nicht in einem kalten Büro sitzen“, sagt der Physiker Dr. Stefan Kasselmann. „Wenn man zukünftig nach Jülich zur Arbeit kommt, dann ist die Heizung bereits angelaufen und das Zimmer behaglich warm – und das mit weniger Energieverbrauch.“ Dies wird in einzelnen Gebäuden bereits getestet und funktioniert, weil die Energie bedarfsgerecht genutzt wird. Der Schlüssel zur Effizienz: eine intelligente Vernetzung und weitestgehend automatisierte Steuerung.

„Genau das erproben wir derzeit im Realbetrieb auf dem Jülicher Campus“, sagt Stefan Kasselmann, Leiter des Fachbereichs Intelligent Campus am [Forschungszentrum Jülich](#). Das Team greift neue Erkenntnisse aus den Bereichen Energie, Digitalisierung und Mobilität auf und implementiert diese bei Eignung in die Infrastruktur des Forschungszentrums. Eines der großen Themen des Intelligent Campus-Teams ist das Vorhaben [Living Lab Energy Campus \(LLEC\)](#). Ziel des LLEC ist die Untersuchung hochgradig gekoppelter, intelligenter Ener-



giesysteme im Hinblick auf Machbarkeit, Nachhaltigkeit und Benutzerkomfort, welche zudem durch entsprechende Skalierung auch wirtschaftlich betreibbar sind. Wasserstoff spielt hierbei eine große Rolle, etwa als chemischer Energiespeicher, wenn es um Anwendungsbereiche geht, bei denen eine Elektrifizierung nicht technisch umsetzbar oder wirtschaftlich darstellbar scheint.

„Wir wollen unter anwendungsnahen Bedingungen im LLEC erproben, wie Energie zukünftig innerhalb eines Stadtteils oder einer kleinen Siedlung effizient verteilt und genutzt werden kann. Am Standort Jülich arbeiten rund 7.000 Menschen, durchaus mit einer Kleinstadt vergleichbar. Es gibt hier Büros, Labore, verschiedene Nutzungsarten. Dadurch können wir unterschiedliche Szenarien im realen Umfeld nachstellen: vom Industriegebiet bis hin zur Wohngegend.“



Im Moment ist die Energieversorgung in Deutschland teilweise noch geprägt von Großkraftwerken, die fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas verfeuern, um Strom und Wärme zu gewinnen. Aber Wind- und Solarstrom sind eindeutig auf dem Vormarsch. Im vergangenen Jahr war erstmals mehr als die Hälfte des in Deutschland produzierten Stroms grün. In Zukunft wird grüner Strom das Energienetz dominieren. Das bedeutet viele kleine, dezentrale

Erzeuger. „Man spricht hier auch von Sektorenkopplung. Ein gutes Beispiel dafür ist das Niedertemperaturnetz auf dem Campus, das in diesem Jahr sukzessive in Betrieb genommen wird. Es zeigt auch, wie bisher nicht berücksichtigte Quellen eingebunden werden können, sodass so wenig Energie wie möglich ungenutzt bleibt“, erklärt Stefan Kassermann.

Ein weiteres großes Projekt für das Intelligent Campus-Team entsteht mit dem neuen Supercomputer-System **JUPITER** (Joint Undertaking Pioneer for Innovative and Transformative Exascale Research), der gerade installiert wird und 2025 den Regelbetrieb aufnehmen soll. JUPITER wird der erste sogenannte Exascale-Rechner in Europa sein, der eine Trillion Rechenoperationen pro Sekunde schafft. Das ist eine Zahl mit 18 Nullen. Den Forschern des Jülich Supercomputing Centers (JSC) ist es wichtig, dass das System nicht nur schnell, sondern auch energieeffizient ist. Ein erstes Modul des Rechners, das seit dem Frühjahr läuft, belegt den ersten **Platz auf der Liste der energieeffizientesten Supercomputer der Welt**. „Zusammen mit anderen Bereichen arbeiten wir im Projekt **ExaHeat** daran, die Abwärme des Systems im Multi-Megawatt-Bereich schrittweise in das Wärmenetz des Campus zu integrieren. Bis 2027 wollen wir die dafür notwendige Abwärmezentrale errichtet haben“, sagt Stefan Kassermann.

Heizen mit Abwärme

Das Niedertemperaturnetz versorgt ab nächstem Jahr das JSC und acht umliegende Gebäude mit Heizwärme. Die Heizenergie stammt aus der Kühlung des Groß-

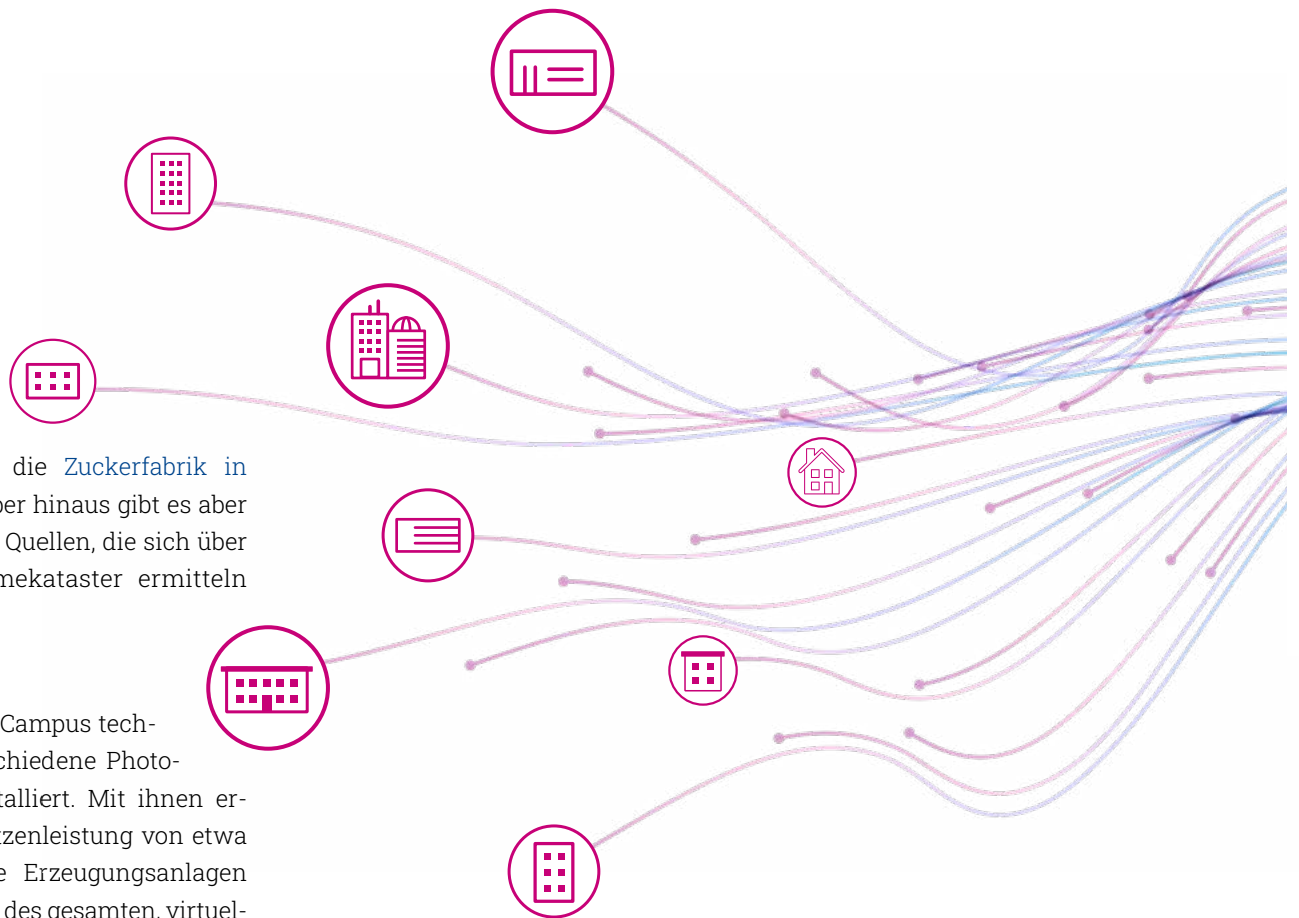
rechners **JUWELS** (Jülich Wizard for European Leadership Science), dem aktuell noch schnellsten Jülicher Rechner. Wenn auf seinen Prozessoren hochkomplexe Simulationen ablaufen, gibt die Elektronik jede Menge Abwärme an das Kühlwasser ab. Die nun warme Flüssigkeit wird anschließend in das Niedertemperaturnetzwerk auf dem Campus geleitet und verteilt.



„Das Wasser hat eine Temperatur von knapp 40 Grad Celsius“, erklärt Dr.-Ing. André Xhonneux vom **Institute of Climate and Energy Systems (ICE-1, Energiesystemtechnik)**, im LLEC verantwortlich für das Team Software und Simulation. Mit dem gerade mal handwarmen Wasser lässt sich zwar der energieeffiziente Neubau ohne Probleme versorgen. Aber für die Heizungssysteme von älteren Gebäuden ist es zu kalt. „Ältere Gebäude benötigen bis zu 85 Grad Celsius heißes Wasser, um alle Räume ausreichend zu heizen. Deshalb bringen wir das Wasser mithilfe von Wärmepumpen auf diese Temperatur“, sagt der Maschinenbauingenieur André Xhonneux. „So können wir auch die alten Heizungssysteme der Gebäude zunächst weiterverwenden.“

Das ist besonders wichtig, um die am LLEC gewonnenen Erkenntnisse auf städtische Quartiere übertragen zu können. Die Abwärme könnte dort von Firmen und Betrieben stammen: „Hier in der Region zum Bei-

BLICK IN DIE WISSENSCHAFT



spiel kommt dafür die [Zuckerfabrik in Jülich](#) infrage. Darüber hinaus gibt es aber noch zig ungenutzte Quellen, die sich über das deutsche Wärmekataster ermitteln lassen.“

„Wir haben auf dem Campus technologisch sehr verschiedene Photovoltaik-Anlagen installiert. Mit ihnen erzeugen wir eine Spitzenleistung von etwa 1,5 Megawatt. Diese Erzeugungsanlagen werden die Dynamik des gesamten, virtuellen Energiesystems des LLEC und damit die Fahrweise aller anderen LLEC-Demonstratoren bestimmen und leisten nebenbei einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung des Campus“, sagt Stefan Kasselmann.



Dr. Andreas Gerber

Ein Teil der Solarmodule steht auf einer Freifläche, der Rest verteilt sich auf verschiedene Gebäude auf dem Campus. „Bei Neubauten lassen sich die Anlagen einfach integrieren“, erläutert Dr. Andreas Gerber vom [Institute of Energy Materials and Devices \(IMD-3 Photovoltaik\)](#), LLEC-Teammanager für den Bereich Photovoltaik. „Entweder auf dem Dach, als halbtransparente Module in den Oberlichtern oder in der Fassade. Aber natürlich möchten wir auch weiterhin Bestandsgebäude damit ausstatten.“

Im [Forschungszentrum Jülich](#) hat sich das als Herausforderung erwiesen, da viele Dächer bereits Infrastruktur für die darunterliegenden Labore tragen: Klimaanlage und Luftreinigungsanlagen etwa. Das verkleinert zusammenhängende Flächen und sorgt für Verschattung. Andere Dächer wurden auf eine so hohe Traglast nicht ausgelegt. In einem urbanen Gebiet könne das aber schon ganz anders aussehen: „Dort gibt es zwar meistens keine großen Freiflächen. Aber man kann zum Beispiel wunderbar die Überdachung eines Parkplatzes oder verstärkt die Dächer von Einkaufszentren und Industrieanlagen nutzen. Geprüft werden daher auch für unseren Campus neuartige Photovoltaik-Leichtbausysteme“, erklärt Andreas Gerber.

Schülerlabor als Vorreiter

Ein Gebäude, das am Campus in Jülich bereits umgerüstet wurde, ist das [Schülerlabor JuLab](#). Seine Dachterrasse trägt eine

Photovoltaik-Pergola aus halbtransparenten Modulen und eine Photovoltaik-Dachanlage. Und gleich nebenan dreht sich der Rotor einer kleinen Windenergieanlage. „Hier haben wir ein LLEC im Kleinen aufgebaut. Da können Komponenten des Systems vorab erprobt werden, bevor die Technologien in einem größeren Maßstab auf dem Campus eingesetzt werden“, erklärt Stefan Kasselmann.

So sind die Konferenzräume mit speziellen Sensoren ausgerüstet: Sie erkennen zum Beispiel, wie viele Menschen sich in dem Zimmer aufhalten. „Allein durch die Körperwärme heizt sich ein Raum langsam auf“, sagt Stefan Kasselmann, „entsprechend wird automatisch die Heizung heruntergeregelt. Das spart Heizenergie, ohne dass es bemerkt wird.“

Die Sensoren messen nicht nur die Temperatur der Zimmer und der Heizung, sondern auch Daten wie die Kohlenstoffdioxid-Konzentration, die Luftfeuchtigkeit, die Helligkeit und den Öffnungszustand der Türen und Fenster – nicht nur im JuLab,



sondern auch in vielen weiteren Räumen des LLEC. Auch Informationen zum Wetter fließen ein. Verarbeitet werden die Daten vom „Gehirn“ des LLEC. Die cloudbasierte Informations- und Kommunikationsplattform (IKT) mit ihrer Regelungssoftware sorgt für die richtige Balance der Energieströme zwischen den Knoten des Netzes.

Ein einmaliger Demonstrator

Sonne und Wind liefern nicht immer gleich viel Energie. „Wird mehr Strom erzeugt als benötigt, müssen wir diesen speichern – quasi für schlechte Zeiten. Dafür bauen wir im LLEC verschiedene Speichermöglichkeiten auf“, erläutert Stefan Kasselmann. „Wir können Energie in zwei Großbatterien speichern oder auch Wasserstoff in chemisch-gebundener Form. Mit dem Wasserstoff-Speichersystem lassen sich Dunkelflauten von Tagen oder sogar Wochen überbrücken.“

Der Wasserstoff wird mithilfe von Elektrolysezellen aus Wasser gewonnen. Danach kann er gespeichert werden. Im Rahmen des LLEC-Vorhabens passiert das, indem die Wasserstoff-Moleküle unter Wärmeabgabe chemisch an eine Trägerflüssigkeit gebunden werden. Die Abwärme aus der

Hydrierung wird über die Energiezentrale im Forschungszentrum genutzt und so kann die Wärmeproduktion der Energiezentrale reduziert werden. Bei der Trägerflüssigkeit handelt es sich um sogenannte flüssige organische Wasserstoffträger (Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) (Seite 14)). In Jülich entsteht dafür im Moment ein weltweit einmaliger Demonstrator. Das Unternehmen **Hydrogenious LOHC Technologies GmbH**, das auch Partner im Demonstrationsvorhaben **Multi-SOFC** am Krankenhaus Erkelenz ist, hat den dafür notwendigen Reaktor hergestellt. Gerade wird er auf dem Jülicher Campus installiert. Ebenfalls in Planung befindet sich eine Pipeline, die den hergestellten Sauerstoff und Wasserstoff vom Elektrolyseur zur Energiezentrale transportiert. Im kommenden Jahr soll das gesamte System in Betrieb genommen werden.

Die neue Infrastruktur soll in Zukunft dafür sorgen, dass der mithilfe von Überschussstrom hergestellte Wasserstoff haltbar gemacht wird, damit er dann in Strom umgewandelt wird, wenn zu wenig Sonne scheint und zu wenig Wind weht. Aus der Trägerflüssigkeit LOHC kann der Wasserstoff bei Bedarf durch Wärme aus der Energiezentrale wieder freigesetzt werden. Gleich dem Pfandflaschen-Prinzip, kann die Flüssigkeit anschließend wiederverwendet werden. Laut einer Studie des Forschungszentrums Jülich ist der Be- und Entladezyklus mehr als 200-mal möglich.

Mit einer Brennstoffzelle lässt sich der Wasserstoff auch rückverstromen. „Aber wir könnten ihn auch verbrennen – und so einen Teil des Erdgases ersetzen, mit dem die auf dem Campus errichtete Energiezentrale Strom, Wärme und Kälte erzeugen soll. Dem Wasserstoff kommt daher eine ganz zentrale Rolle für die Sektorenkopplung zu“, sagt Dr. Holger Janßen, Gruppenleiter Stacks und Systeme (Elektrolyse) im **Institute of Energy Technologies (IET-4 Elektronische Verfahrenstechnik)**. Welche Rolle das bei welcher Anwendung sein wird und wie sich Wasserstoff und Batteriespeicher beispielsweise sinnvoll ergänzen – das erforscht das **Forschungszentrum Jülich** quasi im Selbstversuch mit dem LLEC.

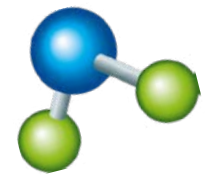
„Das ist eben der Vorteil eines Reallabors: Wir identifizieren neue Herausforderungen im Zusammenspiel von Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft, auf die wir ohne direkten Bezug zur Praxis eher nicht gekommen wären“, sagt Stefan Kasselmann.

[Elektrolyseure und Brennstoffzellen – was genau ist das? Wir versuchen uns an einer Erklärung.](#) >>>



Weitere Infos zum LLEC

Wandel der Energie



Elektrolyseure und Brennstoffzellen sind sowas wie das Yin und Yang der Wasserstoffwelt. Sie stehen für zwei Verfahren, die gegensätzlich sind und sich trotzdem perfekt ergänzen. Ein Elektrolyseur spaltet mithilfe von elektrischer und thermischer Energie Wasser (H₂O) in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂). Kommando zurück heißt es mit der Brennstoffzelle: Wasserstoff und Sauerstoff reagieren zu Wasser. Während der Reaktion wird ein großer Teil der elektrischen Energie wieder nutzbar, der für die Elektrolyse notwendig war. So weit, so einfach.

Energiewandler

Beide Prinzipien sind schon seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts bekannt. Seit die Klimaforschung ab den späten 1980er-Jahren immer mehr Beweise dafür findet, dass der Mensch die natürliche Balance des Klimas mit dem Verbrennen von fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl und Gas stört, arbeitet die Wissenschaft verstärkt daran, Energiespeicher und -wandler zu entwickeln, die das Klima nicht noch weiter aus dem Gleichgewicht bringen. Elektrolyseure und Brennstoffzellen sind zwei entscheidende Technologien, die notwendig sind, damit Wasserstoff neben Batterien eine Säule des klimafreundlichen Energiesystems der Zukunft sein kann.

PEM-Systeme

Der PEM-Elektrolyseur und die PEM-Brennstoffzelle – PEM steht für Proton Exchange Membrane, was Protonen-Austausch-Mem-

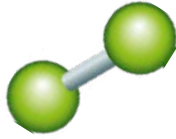
bran bedeutet – sind noch vergleichsweise neu. Und sie sind Hoffnungsträger für die Wasserstoffwirtschaft der Zukunft. „Sie haben eine gute Lastflexibilität“, beschreibt Dr. Holger Janßen, Gruppenleiter für Stacks und Systeme im Institute of Energy Technologies (IET-4) am Forschungszentrum Jülich, einen großen Vorteil der PEM-Technologie. „Sie kommt also gut mit stark fluktuierendem Strom zurecht. Auch kann sie gut mit einer Teillast gefahren werden, wenn wenig grüner Strom zur Verfügung steht.“ Das ist wichtig für die grüne Energiewirtschaft der Zukunft, die mit regenerativer Energie versorgt werden soll. Und die steht nicht in konstanter Menge zur Verfügung, weil die Sonne nicht immer scheint und Wind nicht immer weht.

Allerdings sind Elektrolyseure und Brennstoffzellen mit Protonen-Austausch-Membran nach wie vor eine Herausforderung für die Forschung. „Die Membran-Elektroden-Einheit, das Herzstück jeder PEM-Zelle, besteht aus kritischen teuren Materialien“, erklärt Holger Janßen und spricht hierbei in erster Linie von dem Metall

Iridium, das ein Nadelöhr für die Elektrolyse ist. Bei PEM-Brennstoffzellen kommt Platin zum Einsatz – ebenfalls kostspielig, aber weniger kritisch als Iridium. „Seit absehbar ist, dass wir mehr Wasserstoff produzieren wollen und dass die PEM-Elektrolyse dabei eine große Rolle spielen soll, ist der Börsenpreis für Iridium dramatisch angestiegen.“ In den vergangenen zehn Jahren um mehr als 800 Prozent. Eine Feinunze (31,1 Gramm) Iridium kostete im Mai mehr als 4.500 Euro. Zum Vergleich: Gold lag bei rund 2.150 Euro. „Selbst für uns, die nur kleinere wissenschaftliche Mengen benötigen, ist das ein Problem“, schildert Holger Janßen.

Der Grund für den dramatischen Anstieg, der Ende 2020 passierte, ist die Seltenheit von Iridium im Vergleich zur stark steigenden Nachfrage. Die natürlichen Vorkommen sind minimal klein. Der Anteil von Iridium an der Erdkruste beträgt nur 0,022 Milliardstel. Die Vorkommen sind vermutlich unter anderem auf den Einschlag eines Asteroiden zurückzuführen, der vor 66 Millionen Jahren die meisten Dinosaurierar-



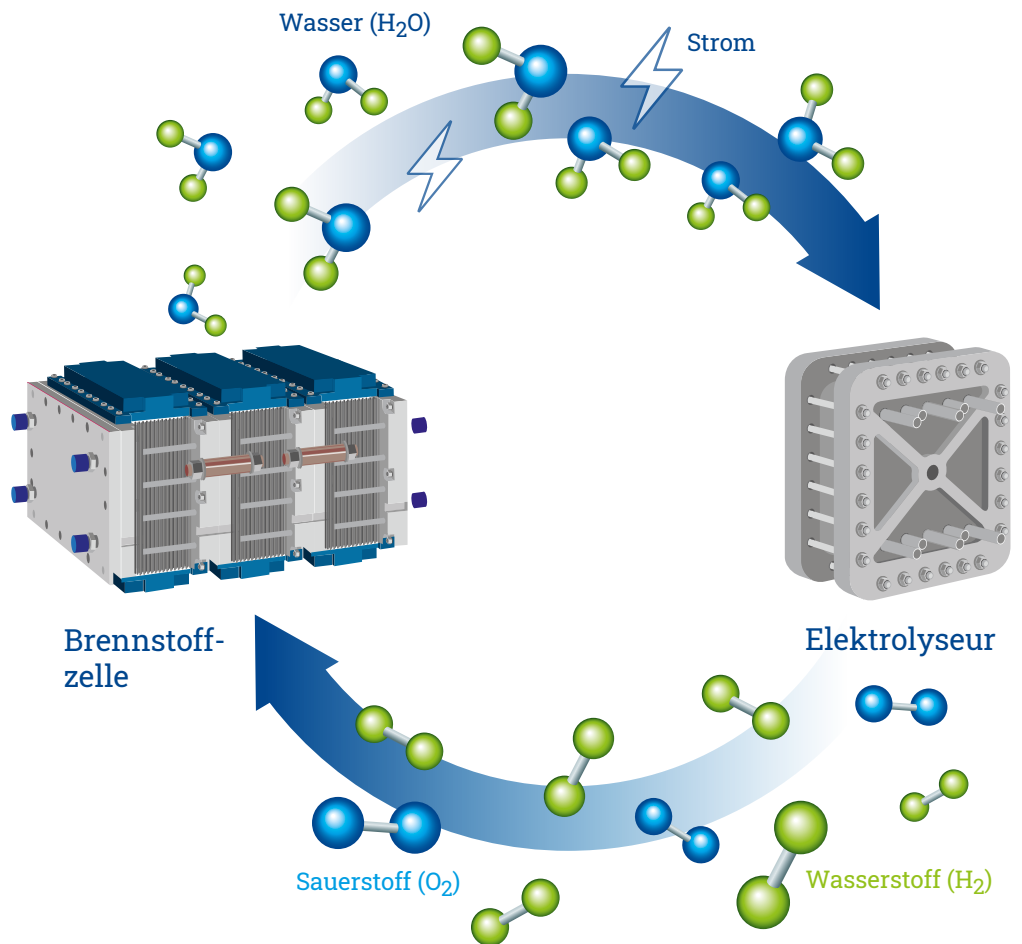


ten ausgelöscht hat. Iridium kann jedoch trotzdem gewonnen werden, da es als Rückstand bei der Platinherstellung anfällt. Dennoch steht die gewonnene Menge von weniger als zehn Tonnen pro Jahr weltweit in einem deutlichen Missverhältnis zur Nachfrage von über 200 Tonnen.

Die PEM-Elektrolyse-Technologie benötigt eine gasdichte Membran, um die Zellbereiche der Anode und Kathode voneinander zu trennen. Sie arbeitet in einem sauren Milieu. Deswegen ist es wichtig, dass die Materialien nicht rosten. Kein Metall rostet so wenig wie Iridium. Im Gegensatz zur alkalischen Elektrolyse, in der ein negatives Ion von der Kathode zur Anode wandert, verläuft der Ionentransport hier anders: Ein positives Wasserstoffion wandert durch die protonenleitende Membran von der Anode zur Kathode. Das Ergebnis ist dasselbe: An der Anode sammelt sich Sauerstoff und an der Kathode Wasserstoff. Alles genau so, nur andersrum – so funktioniert die PEM-Brennstoffzelle. Aus Wasserstoff und Sauerstoff entsteht wieder Wasser. „Wir kennen PEM-Brennstoffzellen aus der Anwendung schon ganz gut. Sie werden beispielsweise in der Mobilität bei Autos, Lkw und Bussen eingesetzt“, erklärt Holger Janßen. Die Technologie ist mittlerweile so weit entwickelt, dass sie den Sprung in die Anwendung und in die Serienproduktion geschafft hat. Bei den mobilen Anwendungen zeigt sich auch die Stärke der PEM-Technologie: Sie kann in kleinen, dezentralen Einheiten eingesetzt werden. Und sie ist robust, weil sie Schwingungen und Erschütterungen abkann.

Das Beste aus beiden Welten

Einen schnellstmöglichen Weg in eine klimafreundliche Zukunft, in der Wasserstoff neben Batteriespeichern eine Schlüsselrolle



spielt, sieht Holger Janßen im Zusammenspiel zweier Elektrolyse-Technologien. „Im Prinzip ist das vergleichbar mit der fossilen Energieproduktion: Für die notwendige Grundlast werden hier Kohlekraftwerke genutzt. Und die dynamischen Spitzen werden mit Gaskraftwerken bedient. In Zukunft könnten große alkalische Elektrolyseure die Grundlast gewährleisten. Die Technologie ist bewährt, vergleichsweise günstig und kann zu vertretbaren Kosten hochskaliert werden. PEM-Elektrolyseure können dann die Spitzen abdecken. Sie sind lastflexibel und können schnell hoch- und runtergefahren werden.“ Das gilt im Grunde für beide Arten von Elektrolyseuren. Denn sie arbeiten bei vergleichsweise niedriger Temperatur im Bereich von 50 bis 80 Grad Celsius. Das stellt keine weiteren besonderen Ansprüche an das Material. Außerdem müssen die Elektrolyseure nicht mit großem Aufwand isoliert werden. Ganz im Gegensatz zu Hochtemperatur-Anwendungen.

Ein anderer Strang, den nicht nur die Forscher in Jülich verfolgen, ist, die alkalische Elektrolyse und die PEM-Elektrolyse zu kombinieren. Nicht, indem sie nebeneinander genutzt werden, sondern tatsächlich, indem die Eigenschaften beider Technologien zu einer neuen kombiniert werden. **Anionen-Austausch-Membran** (AEM-Elektrolyse, Anion Exchange Membrane) heißt der neue Weg, bei dem, im Gegensatz zur PEM-Elektrolyse, keine Protonen mithilfe einer Membran zur Kathode wandern, obwohl der Elektrolyseur aufgebaut ist wie ein Protonen-Austausch-Membran-System. Stattdessen wandert ein Anion wie bei der alkalischen Elektrolyse zur Anode. Der Vorteil, den sich die Wissenschaft erhofft: Das Iridium ist nicht mehr notwendig und wird mit Nickel ersetzt. Das ist im Vergleich zu Iridium günstiger und in größeren Mengen verfügbar. „Es gibt noch keine größeren AEM-Systeme im industriellen Maßstab, sondern kleinere Demonstratoren. Es wird also noch dauern, bis diese Techno-

„PEM-Elektrolyse und PEM-Brennstoffzelle: Hoffnungsträger für die Wasserstoffwirtschaft der Zukunft“



Dr. Holger Janßen, Gruppenleiter für Stacks und Systeme, Institute of Energy Technologies (IET-4), Forschungszentrum Jülich



logie dem Markt zur Verfügung steht. Aber wir sind davon überzeugt, dass AEM-Elektrolyseure in den 2030er Jahren eine wichtige Rolle spielen können“, spricht Holger Janßen optimistisch.

Die Forschung an Festoxid-Systemen, die mit hohen Temperaturen arbeitet, ist noch lange nicht beendet. Es gibt SOEC und SOFC-Systeme. SOEC steht für Solid Oxide Electrolysis Cell, also Festoxid-Elektrolyse-Zelle. SOFC bedeutet auf Englisch Solid Oxide Fuel Cell, zu Deutsch Festoxid-Brennstoffzelle. Die Systeme werden mittlerweile im industriellen Maßstab eingesetzt, beispielsweise im HC-H₂ Demonstrationsvorhaben **Multi-SOFC** am Krankenhaus Erkelenz. Die hohen Temperaturen, mit denen die Systeme arbeiten, haben die Forscher lange beschäftigt. Sie liegen zwischen 500 und 1.000 Grad Celsius. „Festoxid-Reaktoren starten bei Umgebungstemperatur und erwärmen sich dann stark. Das macht was mit dem Material, weil es sich stark aus-

dehnt und beschädigt werden kann“, beschreibt Holger Janßen die Herausforderung, die die Forschung zu bewältigen hatte. Trotzdem lohne sich der Weg. „Wo hohe Temperaturen ohnehin vorhanden sind, oder sie gut ausgekoppelt werden können, sind Festoxid-Systeme sinnvoll.“

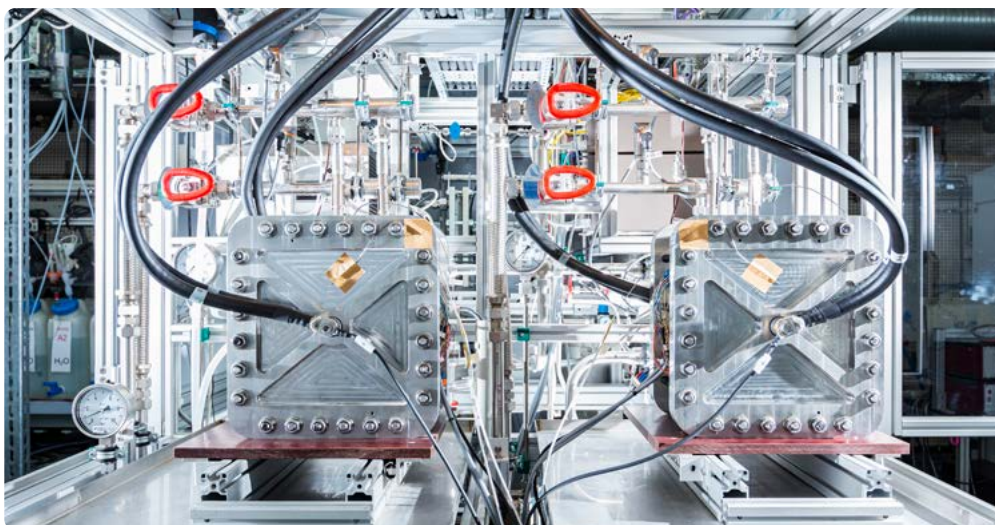
Hochtemperatur-Anwendungen

Das ist beispielsweise in vielen industriellen Umgebungen sinnvoll. Hochtemperatur-Energiewandler erzielen die höchsten Wirkungsgrade, was bedeutet, dass am Ende des Prozesses am meisten Strom abgerufen werden kann. Außerdem sind sie die einzige Wasserstoff-Technologie, die neben einer Strom- auch eine Wärmeversorgung gewährleisten kann. „Hochtemperatur-Systeme sind da sinnvoll, wo sie möglichst kontinuierlich durchlaufen können. Ein häufiges Hoch- und Runterfahren dauert aufgrund des notwendigen

hohen Temperaturniveaus zu lange“, beschreibt Holger Janßen die Szenarien, die infrage kommen. Eine zweite Voraussetzung: Hochtemperatur-Zellen ergeben nur für Anwendungen Sinn, bei denen sie möglichst wenig Schwingungen ausgesetzt sind. „Hier kommen Keramiken zum Einsatz, die relativ spröde sind und Schaden nehmen, wenn sie zu viel Schwingungen ausgesetzt werden.“ Für Autos und Lkw beispielsweise ist die Technologie also nicht geeignet. Für größere Schiffe dagegen ergibt sie mehr Sinn.

Die Technologien ergänzen sich

„Bei Hochtemperatur-Anwendungen und der PEM-Technologie wird die Forschung in Zukunft noch Verbesserungen erzielen. Das sorgt dafür, dass die Technik günstiger und effizienter wird. Aber auch die heute verfügbaren Technologien für Elektrolyseure und Brennstoffzellen können den Bedarf schon decken, der notwendig ist, damit Wasserstoff zu einem wichtigen Teil der klimafreundlichen Energiewirtschaft der Zukunft wird“, sagt Holger Janßen. Er zieht zudem ein zweites wichtiges Fazit: „Wasserstoff ist ein Teil der Zukunft des Energiespeicherns und dieser ergänzt sich perfekt zu Batteriespeichern. Und genau so ergänzen sich die Wasserstoff-Technologien. Dort, wo die eine weniger gut geeignet ist, hat die andere ihre Stärken. Das ist eine gute Basis, auf die die Forschung und Entwicklung aufbauen kann.“



Auf den nächsten Seiten wird klar: Afrika, ein Kontinent mit H₂-Potenzial. >>>

Highlights aus der H₂-Forschung am FZJ

Das **Forschungszentrum Jülich (FZJ)** betreibt seit dem Sommer einen hochmodernen Teststand für Elektrolyseure im Industriemaßstab. Die Anlage des Projekts **DERIEL***, das von Siemens Energy koordiniert wird, ist Teil des Wasserstoff-Leitprojektes **H₂Giga** des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Sie soll dabei helfen, Elektrolyseure „made in Germany“ noch effizienter und langlebiger zu machen. Das BMBF fördert das Projekt mit rund **100 Millionen Euro**.



* ENERGIEWANDLER – **DE-R**isking PEM-**E**lektrolyseur. Erforschung der Degradations-, Fehler- und Schnittstellenmechanismen auf allen technischen und ökonomischen Ebenen.

Abgeschlossen ist seit dem Sommer die ebenfalls BMBF-geförderte Wasserstoff-Potenzialanalyse für afrikanische Regionen im **H₂ATLAS AFRICA**.

„Mit der Einweihung unseres PEM-Elektrolyse-Teststands aus dem Projekt **DERIEL** und der Übergabe des **Wasserstoffatlasses** wollen wir wichtige Impulse für die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland setzen“, sagt Prof. Peter Jansens, Bereichsvorstand Energie des **Forschungszentrums Jülich**. „Unsere Forschung von der Materialforschung bis zur Marktreife stärkt nicht nur die technologische Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands, sondern treibt auch die Anwendung innovativer Technologien voran.“

Im **H₂ATLAS AFRICA** werden Potenziale für die Produktion von grünem Wasserstoff in Afrika analysiert und in einer interaktiven Karte festgehalten. Afrika kann zum Exporteur für grünen Wasserstoff werden, gleichzeitig wird der

lokale Energie- und Wasserbedarf priorisiert. Die größten Potenziale für grünen Wasserstoff bestehen in der Sahara und in der Nama-Karoo Ökoregion im südlichen Afrika. Auch andere Regionen haben bedeutende Qualifikationen für die Erzeugung von grüner Energie und grünem Wasserstoff.

Die Lebensdauer von Elektrolyseuren verlängern

Die **DERIEL**-Testanlage in Jülich ist für Elektrolyseure im industriellen Maßstab ausgelegt und mit modernster Sensorik ausgestattet. Die Partner wollen mit Hilfe des Teststands zahlreiche Parameter untersuchen und optimieren, die für die Kosten und Lebensdauer von Elektrolyseuren maßgeblich sind. „Deutschland will Leitanbieter für Wasserstoff-Technologien werden“, erklärte Till Mansmann, der Innovationsbeauftragte „Grüner Wasserstoff“ des BMBF, bei der Einweihung der Testanlage. „Dazu müssen Elektrolyseure made in

Germany effizienter und langlebiger sein als die der Konkurrenz. Genau das machen wir gerade am **Forschungszentrum Jülich** möglich.“

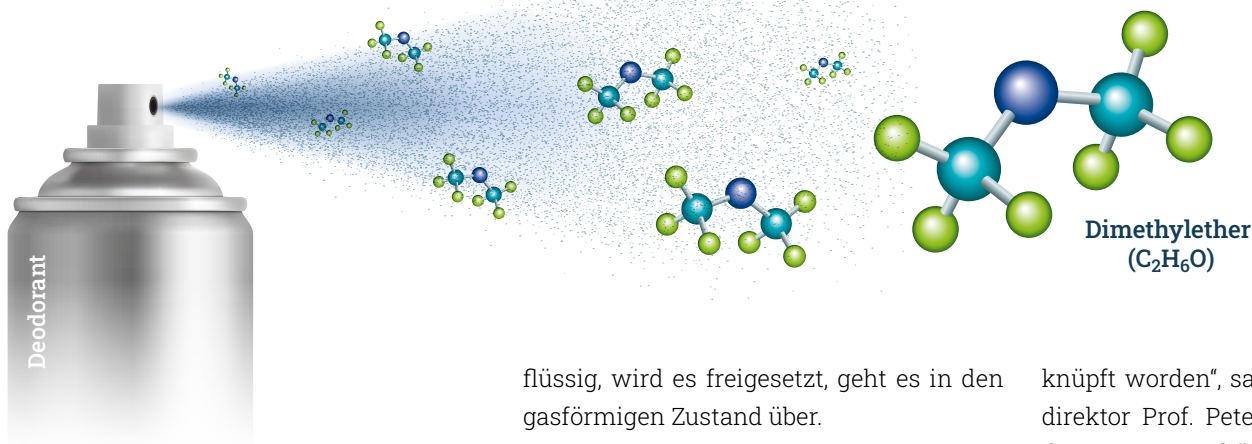
Das Projekt **DERIEL** will dazu mit dutzenden Sensoren auf allen Ebenen, mit Kameras und komplexer Messtechnik die Alterung von Elektrolysezellen besser verstehen. Anschließend sollen die Erkenntnisse in kommende Elektrolyseur-Generationen einfließen.

„Mit der Erforschung und Weiterentwicklung der Wasserelektrolyse im Megawattmaßstab setzen wir weltweit neue Maßstäbe im Miteinander von Wissenschaft und Wirtschaft“, sagt Prof. Rüdiger A. Eichel vom Forschungszentrum Jülich, der das Projekt federführend betreut.



Hier gibt's weitere Infos

DME, der bisher unterschätzte Speicher



Eine Lösung für die Wasserstoffwirtschaft der Zukunft befindet sich möglicherweise in vielen Deodorant-Sprühflaschen. Dimethylether (DME) kommt hier schon lange als Treibgas zum Einsatz.

Wissenschaftler des [Forschungszentrums Jülich](#), der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme bezeichnen den geschlossenen DME/CO₂-Kreislauf als einen „bisher unterschätzten Wasserstoffspeicher“. In einer Veröffentlichung zeigen sie das Potenzial von DME für Wasserstofftransporte über sehr große Entfernungen auf. Sie attestieren dieser Transporttechnologie das Potenzial, einen „signifikanten Einfluss auf die zukünftige weltweite Wasserstoffwirtschaft“ haben zu können.

DME verflüssigt sich bei geringem Druck. Es ist leicht entzündlich und bildet Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserstoff (H₂), wenn es während der Dampfreformierung mit Hilfe von Wasserdampf reagiert. Das Verflüssigen bei geringem Druck ist relevant für die Verwendung in sprühbaren Deodorants. Unter Druck in der Flasche ist DME

flüssig, wird es freigesetzt, geht es in den gasförmigen Zustand über.

„Die Eigenschaften von DME sind bekannt“, sagt Dr.-Ing. Michael Alders vom [Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft \(INW\)](#) am [Forschungszentrum Jülich](#). Pro Masse transportiertem DME wird deutlich mehr nutzbarer Wasserstoff freigesetzt als im Fall von Ammoniak oder Methanol. (Seite 14). Außerdem ist DME, im Gegensatz zu Ammoniak und Methanol, ungiftig und deshalb einfacher zu handhaben. „Man kann das Handling von DME mit Butan vergleichen, das in einer Campinggasflasche aufbewahrt werden kann“, erklärt Michael Alders. Die Temperatur für die Wasserstoff-Freisetzung ist bei DME (250 – 400 Grad Celsius) vergleichbar mit Methanol (250 – 300 Grad Celsius) und geringer als bei Ammoniak (400 – 600 Grad Celsius). Die volumetrische Energiedichte ist mit 6,4 Kilowattstunden pro Liter (kWh/L) höher als bei Methanol (5 kWh/L) und Ammoniak (4 kWh/L). Auch auf das Gewicht umgerechnet enthält DME pro Kilogramm am meisten Energie, nämlich 8,7 kWh, im Vergleich zu Methanol (6,2 kWh/kg) und Ammoniak (5,9 kWh/kg).

„Zwar sind die wesentlichen Teilschritte einer auf DME basierten Wasserstoff-Speicherung bekannt. Bisher sind sie aber noch nicht zu einer Speichertechnologie ver-

knüpft worden“, sagt der INW-Gründungsleiter Prof. Peter Wasserscheid, der zu den Autoren gehört. „Das werden wir am INW in Zusammenarbeit mit unseren Partnern vorantreiben. Das Interesse am DME/CO₂-Kreislauf ist in der Industrie sehr groß.“

Pfandflaschen-Prinzip

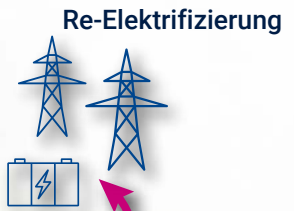
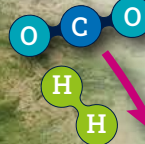
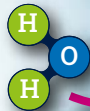
Die Autoren kommen unter anderem zu der Schlussfolgerung, dass DME gut geeignet ist, um Wasserstoff über lange Seewegstrecken zu transportieren. Beispielsweise von Südamerika, Afrika oder Australien – wo es großes Potenzial für die Produktion von grünem Wasserstoff gibt – nach Europa. Denkbar sei laut Autor Sebastian Thill (INW), den Wasserstoff dann an den Nordseehäfen mittels der Dampfreformierung freizusetzen. Das zweite Spaltprodukt nach der Reaktion, CO₂, kann anschließend ähnlich dem Prinzip der wiederverwertbaren Pfandflasche mit demselben Schiff zurück an die Standorte der Wasserstoff-Produktion transportiert und dort erneut mit Wasserstoff beladen werden. „Wir reden über einen emissionsfreien Kreislauf, bei dem das eingesetzte CO₂ vielfach zum Wasserstoff-Transport genutzt wird und nicht in die Atmosphäre gelangt“, sagt Sebastian Thill.

[Der Weg von einer Idee über die Gründung bis zum Transfer in die Industrie.](#) >>>

DME-REFORMIERUNG AN HAFENSTANDORTEN

ORT DER ENERGIE-NUTZUNG

H₂O aus wasser-reicheren Regionen



Auftrennung/Reinigung



Einspeisung in das Gasnetz oder H₂-Pipelines



Wasserstoff-nutzung z. B. in der Industrie



CO₂-Verschiffung



ORT DER ENERGIE-GEWINNUNG

H₂O aus trockeneren Regionen



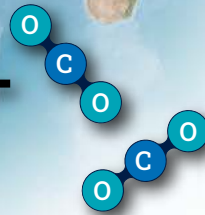
H₂O-Recycling



Wasserelektrolyse



Erneuerbare Energie



CO₂-Abscheidung nur zum Verlust-ausgleich

DME-SYNTHESE AN HAFENSTANDORTEN



Hier geht's zur Publikation

Emissionsfreie Verbrennung

Was kann Wasserstoff? Wenn der Jülicher Chemie-Ingenieur Simon Hahn auf diese Frage antwortet, dann spricht er nicht nur über das Potenzial als Energiespeicher. Seine Idee zur Unternehmensgründung basiert auf der Eigenschaft, dass Wasserstoff mithilfe der sogenannten katalytischen Verbrennung eine Wunschtemperatur von bis zu 500 Grad Celsius herstellen kann, ohne Emissionen zu verursachen.



DeVer heißt die Anlage, die Simon Hahn entwickelt hat. DeVer steht für Dehydrierung und Verbrennung. Dehydrierung bezeichnet das Freisetzen von Wasserstoff aus einem Speicher-Molekül. „Genauer gesagt steht DeVer für Dehydrierung gekoppelt mit einer katalytischen Verbrennung“, erklärt Simon Hahn, der noch am [Institut für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft](#) (INW) forscht, aber bald in der Nachbarschaft im Startup Village Jülich sein Unternehmen gründet.

Reaktion an einem Katalysator

Die Geschäftsidee ist, Wasserstoff katalytisch zu verbrennen und so gezielt Wärme

für verschiedene Anwendungen zu erzeugen. „Die katalytische Verbrennung ist sicher, effizient und komplett emissionsfrei. Also nicht nur frei von Kohlenstoffdioxid. Es entstehen auch keine Stickoxide wie bei der Wasserstoff-Verbrennung in der Flamme“, erklärt der angehende Gründer. Eine mögliche Anwendung ist die sogenannte LOHC-Pfandflasche (Seite 14). **LOHC** (Liquid Organic Hydrogen Carrier) sind Trägerflüssigkeiten, die Wasserstoffatome in ihren Molekülen einlagern können. Hier ist zur Dehydrierung ein Temperaturniveau von knapp 300 Grad Celsius notwendig. Dafür kann DeVer sorgen. „Der große Vorteil ist, dass die Freisetzung und

die katalytische Verbrennung in einem Reaktor stattfinden können. Das spart Platz und ist effizienter.“

„Die katalytische Verbrennung fängt schon bei Umgebungstemperatur an und ermöglicht dem Anwender, eine Wunschtemperatur zu wählen“, sagt der Chemie-Ingenieur. Das ist ein Vorteil, den die konventionelle Wärmeherzeugung mit Wasserstoff nicht hat. Konventionell bedeutet, dass der Wasserstoff wie Erdgas oder Öl mithilfe einer Flamme verbrannt wird. Die katalytische Verbrennung geschieht ohne Flamme. Wasserstoff und Sauerstoff reagieren zusammen an einem Katalysator. So entsteht Wasserdampf. Und Wärme. Und diese Wärme kann genutzt werden, beispielsweise für viele Anwendungen in der Industrie. „Ob es Lebensmittel sind, Kleidung, Papier, Stahl, Kunststoff ... Fast alles, was wir tagtäglich benutzen, wurde einmal erhitzt, um es haltbar, essbar oder formbar zu machen oder um es zu trocknen“, umreißt Simon Hahn potenzielle Einsatzgebiete. „Die hohen Temperaturen, die bei den industriellen Prozessen benötigt werden, können mit Wärmepumpen nicht erreicht werden. Und so kommt der Wasserstoff ins Spiel.“

Dem Laboraufbau folgt nun die Demoverision. Die Demo-DeVer hat das [Zentralinstitut für Engineering, Elektronik und Analytik \(ZEA-1\)](#) des Forschungszentrums Jülich nach Simon Hahns Plänen gebaut. Weitere folgen. Der angehende Unternehmer plant, sie in puncto Auslegung und Dimension an die Bedürfnisse der künftigen Kunden anzupassen.

[Wo die DeVer-Pläne weiter wachsen, sehen Sie auf der rechten Seite.](#) >>>

Wo Gründer groß werden



So falsch ist der erste Gedanke gar nicht, den einige haben, wenn sie zum ersten Mal im **Brainergy Park** nördlich von Jülich sind und die bunten Container des **Startup Village** sehen. „Habt ihr schon einen Kindergarten?“, lautet eine Frage, die die Mitarbeiter des Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) des Forschungszentrums Jülich schon häufiger zu hören bekommen haben.

Die Container des INW liegen auf der gegenüberliegenden Straßenseite nur wenige Meter vom vermeintlichen Kindergarten entfernt. Mit einem Kindergarten hat der bunte Gebäudekomplex nicht nur die Optik gemeinsam, sondern auch das Bestreben, dass junge Menschen hier auf das Leben vorbereitet werden. Im Fall des **Startup Village Jülich** ist das Berufsleben als Unternehmer gemeint. Hier lernen die Gründer und solche, die es werden wollen, mit Hilfe von Fachleuten, wie das klappt mit dem ersten Geschäftsplan, der Anschubfinanzierung und dem Eigenmarketing.

„Nachhaltige Ideen nachhaltig fördern – das ist unser Grundgedanke“, sagt Ingmar Stock, Leiter des **Startup Village Jülich**. Der Fokus liegt auf Unternehmen aus dem Bereich grüner Technologien. „Wir haben uns in der Region umgeschaut und festgestellt, dass junge Unternehmen aus diesem Bereich bisher fast schon erschreckend unterrepräsentiert sind. Das wollen wir ändern.“

Die ersten Mietverträge sind unterschrieben, die ersten Startups sind in ihre Container eingezogen. In der ersten Ausbaustufe,



die bis zum Sommer fertiggestellt wurde, ist Platz für 16 Gründungsteams, die mit ihren Containern angeordnet sind wie eine Wagenburg rund um das Zentralgebäude. Hier oder bei gutem Wetter auf der großzügigen Dachterrasse soll der Platz sein für Veranstaltungen und Begegnungen, bei denen Ideen ausgetauscht werden und wo ein Gefühl der Gemeinsamkeit entstehen soll. „Wir legen Wert darauf, dass sich die hier ansässigen Unternehmen gegenseitig unterstützen, denn wir folgen der Prämisse, dass Kooperation ein Startup weiterbringt als Konkurrenz. Das wollen wir im Startup Village Jülich vorleben“, sagt Ingmar Stock.

Die Container-Wagenburg soll der Anfang sein in der Geschichte junger Unternehmen. Es gehe laut Ingmar Stock auch darum, „die Lücke zwischen dem Universitätsabschluss und der Selbstständigkeit zu schließen“. Mittelfristig soll das Angebot der Brainergy Park GmbH ein erster Trittstein sein auf dem Weg zu etwas Größerem. Die jungen Unternehmen sollen wachsen und zu groß werden für das Village. Ein mögliches neues und deutlich größeres Dach entsteht bald, und zwar wieder direkt in der Nachbarschaft. Der Spatenstich für das zentrale Hub-Gebäude im Park erfolgt zeitnah. 2027 sollen die ersten Unternehmen in den Neubau einziehen.



Ein bereits erfahrener Gründer arbeitet auf der anderen Straßenseite im INW. Felix Strohmaier hat die **Lemonist GmbH** gegründet, ist Diplom-Kaufmann und Innovations- und Transfermanager am INW. „Für uns als Einrichtung, in der viele junge kluge Köpfe mit vielen Ideen arbeiten, ist es ideal, dass auf der anderen Straßenseite Platz entsteht, auf dem sie ihre ersten Schritte gehen können“, sagt er. Es wird nicht lange dauern, bis die ersten INWler in das Startup Village ziehen. Dort treffen sie auf andere Ideen. Sie alle eint der Nachhaltigkeitsgedanke.

[Eine mögliche Blaupause der Energiewende finden Sie auf der nächsten Seite. >>>](#)



Hier geht's zum Startup Village

GLAS

als Blaupause für die Industrie der Zukunft

Wenn es gelingt, die Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen der Glasindustrie drastisch zu reduzieren, dann klappt das überall anders auch. Das klingt nach einer steilen These. Völlig abwegig ist sie allerdings nicht. „Die Lerneffekte, die wir in unserem Projekt haben, sind auf viele andere Industrien anwendbar. Und Wasserstoff spielt dabei eine wichtige Rolle“, sagt Hendrik Schricker vom [Lehrstuhl für Technische Thermodynamik \(LTT\) der RWTH Aachen](#).



Der LTT ist eines von drei RWTH-Einrichtungen, die im Förderprojekt [COSiMa](#) mit dem Glashersteller Saint-Gobain zusammenarbeiten, um den CO₂-Ausstoß in der Glasproduktion drastisch zu reduzieren. COSiMa steht für: CO₂-neutraler [Saint-Gobain](#) Industriestandort Herzogenrath – **M**achbarkeitsuntersuchung. Es ist ein Förderprojekt des [progres.nrw](#). Die weiteren beteiligten RWTH-Institute sind das [Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik \(IOB\)](#) und das [Institute for Power Generation and Storage Systems \(PGS\)](#). Zudem ist das [Gas- und Wärme-Institut Essen e. V. \(GWI\)](#) an dem Projekt beteiligt, das 2025 endet. „Wir können Ergebnisse liefern, die als Vorlage für verschiedene Standorte von Glasherstellern verwendet werden können“, erklärt Daniel Jost, einer der beteiligten Wissenschaftler.

Liefern können sie eine Machbarkeitsstudie für Saint-Gobain, die dem Glasproduzenten eine Möglichkeit an die Hand gibt, eine Rechnung mit vielen Variablen zu lösen. Nämlich die, wie ein Standort der Glasproduktion am besten klimafreundlich für die Zukunft umgerüstet wird.

Für andere Industrien lernen

Der Glassektor steht dabei auf dem Weg zur Klimaneutralität vor so gut wie allen Herausforderungen, denen sich weite Teile der Industrie gegenübersehen. Die Glasindustrie benötigt enorm hohe Temperaturen – um die 1.600 Grad Celsius – für den wichtigsten Prozessschritt, die Glasschmelze. Das passiert bisher mit dem Verbrennen von Erdgas. Dabei wird klimaschädliches

CO₂ frei. Die Emissionen sind mit dem technischen Fortschritt schon deutlich zurückgegangen. Von früher mal mehr als einer Tonne emittiertem CO₂ pro Tonne produzierten Glas hin zu einer halben Tonne an klimaschädlichem CO₂. Laut dem Bundesverband Glasindustrie bedeutet das aktuell bei 7,4 Millionen Tonnen produziertem Glas in Deutschland pro Jahr Emissionen von 3,9 Millionen Tonnen. Das sind rund 0,65 Prozent der CO₂-Emissionen, die das [Statistische Bundesamt](#) für das Jahr 2023 für Deutschland gemeldet hat. „Es gibt größere Emittenten, beispielsweise die Stahlindustrie. Aber wenn wir ganzheitlich dekarbonisieren wollen, müssen wir jeden Industriezweig betrachten“, ergänzt Hendrik Schricker. Das Besondere am Glas seien darüber hinaus auch die Erfahrungen, die auf andere Bereiche zutreffen.

„Der Schmelzprozess ist sehr energieintensiv und die Ursache für rund 80 Prozent der Emissionen“, erklärt Daniel Jost. Ebenfalls berücksichtigt werden müssen die Emissionen, die bei der Schmelze aus dem Material freigesetzt werden. Glas besteht neben Sand aus verschiedenen Carbonaten wie beispielsweise Natriumcarbonat (Na_2CO_3) oder Kalziumcarbonat (CaCO_3). Und sie setzen im Schmelzprozess CO_2 frei. Hier müssen Lösungen her, um die Emissionen aufzufangen.

Zweimal grün: Wasserstoff und Strom

Der Großteil des CO_2 kann eingespart werden, indem Erdgas ersetzt wird. Hier gibt es zwei Ansätze, die aus Sicht von Daniel Jost und Hendrik Schricker beide gleichzeitig zum Einsatz kommen können. „Wir können das Erdgas mit Wasserstoff ersetzen. Wasserstoff verbrennt bei einem ähnlichen oder höheren Temperaturniveau. Die Produktion müsste dafür umgerüstet werden. Das ist machbar“, sagt Daniel Jost. In

der Theorie. In der Praxis ist grüner Wasserstoff aufgrund der Prozesskosten teurer als Erdgas. Deswegen sei es denkbar, in Zukunft einen großen Teil der für den Schmelzprozess notwendigen Energie aus Strom zu nehmen. Ein komplett elektrischer Schmelzprozess sei aber technisch schwer umsetzbar. Die großen Schmelzwannen der Zukunft sollten also beides können: elektrisch und Wasserstoff.

Das Ziel ist, die Schmelzwanne so weit wie möglich elektrisch zu betreiben. Weil diese einen kontinuierlich hohen Energiebedarf hat, gewinnen Batterien und Verträge zur garantierten Abnahme von erneuerbaren Energien als Puffer an Bedeutung. Zu untersuchen ist dann, ob genügend lokal gewonnener grüner Strom für den energieintensiven Schmelzprozess zur Verfügung steht. Zusätzlich wird deswegen der Bezug von Wasserstoff über eine Pipeline als Alternative zu einer lokalen Erzeugung von Wasserstoff untersucht. So kann der Glasproduzent die Versorgungssicherheit mit einem Mix aus Strom und Wasserstoff erhöhen.

Das COSIMa-Team hat nicht nur die technischen Möglichkeiten der Zukunft im Blick. „Wir denken technoökonomisch“, verdeutlicht Hendrik Schricker, dass auch die Variablen der Preisentwicklungen auf dem Energiemarkt mitberechnet werden. Auch hier hat die Glasindustrie eine typische Eigenschaft, die andere energieintensive Bereiche ebenfalls betrifft: Sie verfügt über teure Geräte, die möglichst lange im Einsatz sein sollten. In der Stahlindustrie sind das die Hochöfen und beim Glas die Schmelzwannen.

„Solche Schmelzwannen sind in der Regel 20 Jahre in Betrieb. Der Austausch ist teuer und dauert lange“, sagt Daniel Jost. Ein Investment also, bei dem zum Zeitpunkt des Austauschs gut überlegt sein will, wie die neue Anlage mit Blick auf das Energiesystem der Zukunft ausgelegt wird. „Wir versuchen, mit einzubeziehen, wie sich die Energiepreise während der Lebensdauer der Schmelzwanne entwickeln könnten“, sagt Hendrik Schricker. Einfaches Beispiel: Heute ist Erdgas als Brenngas noch deutlich günstiger als grüner Wasserstoff. Ob das über die gesamte Lebensdauer unter Berücksichtigung der CO_2 -Kosten hinweg der Fall ist, ist fraglich.

2025 ist das COSIMa-Energieoptimierungsmodell fertig, das dabei helfen kann, die Glasindustrie zu einem Teil der grünen Zukunft zu machen.

Auf der nächsten Doppelseite: ein Wasserstoffpionier aus dem Revier. >>>



Weitere Infos zum Projekt

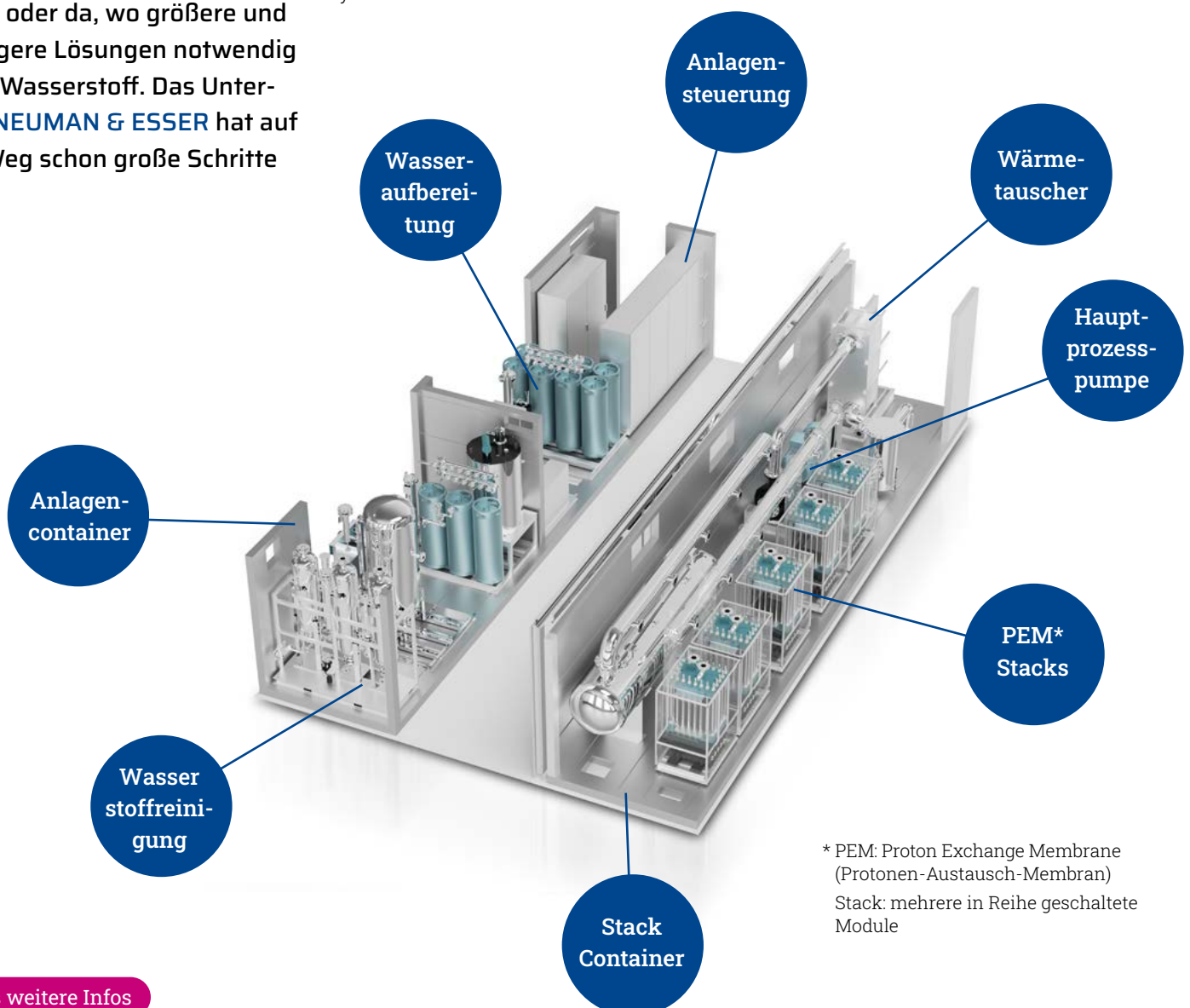


„Einfach mal machen“

Die Aufgabe klingt beinahe schon erdrückend groß: Die Menschheit muss aufhören, die Lebensbedingungen auf der Erde unnatürlich schnell zu verändern. Dafür muss der Mensch seinen Energiebedarf in Zukunft so weit wie möglich mit Strom decken, den er aus regenerativen Quellen gewinnt. Weht zu wenig Wind oder scheint zu wenig Sonne, dann muss der Strom aus Speichern kommen – entweder aus Batterien oder da, wo größere und langfristige Lösungen notwendig sind, aus Wasserstoff. Das Unternehmen **NEUMAN & ESSER** hat auf diesem Weg schon große Schritte gemacht.

Die Maxime, die Stefanie Peters formuliert, um die scheinbar übermächtige Aufgabe anzugehen, klingt fast schon zu simpel, um wahr zu sein: „Einfach mal machen.“ Das hat die geschäftsführende Gesellschafterin des 1.600 Mitarbeiter starken Familienunternehmens **NEUMAN & ESSER** mit Hauptsitz in Übach-Palenberg und Standorten in zwölf Ländern schon häufiger so formuliert. Mit ihrem Bruder Alexander Peters führt sie das Unternehmen, das zu den Weltmarktführern für die Wasserstoff-Technologien, Kompressoren und Elektrolyseure zählt.

Den Gedanken hinter dem „Einfach“-Slogan erklärt sie so: „Deutschland war schon immer gut darin, komplexe Aufgaben zu lösen und komplexe Anlagen zu entwickeln und zu verbessern.“ Wer also eine Idee hat, soll sich auf den Weg machen und währenddessen dazulernen. Die herausfordernde Aufgabe, der sich das Unternehmen verschrieben hat, ist die Produktion und Installation von Systemlösungen für die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette.



Hier gibt's weitere Infos

„Deutschland war schon immer gut darin, komplexe Aufgaben zu lösen“

Stefanie Peters,

Geschäftsführende Gesellschafterin, **NEUMAN & ESSER**



Das Wissen dafür hat das Unternehmen unterwegs selbst gesammelt. Schon in den 1930er Jahren hat **NEUMAN & ESSER** Wasserstoff-Kompressoren hergestellt. Seit einigen Jahren gehören auch Elektrolyseure zur Kernkompetenz. Seitdem liefert das Unternehmen wesentliche Teile eines Wasserstoffsystems aus einer Hand. „Und das können weltweit nur wenige“, sagt Dr. Max Ellerich, „Solution Manager H2 Production bei **NEUMAN & ESSER**“.



Dr. Max Ellerich

Wir bauen Systeme, die in der Welt stehen

Diese Machen-Denkweise hat **NEUMAN & ESSER** einen Vorsprung eingebracht. „Wir sind kein Unternehmen, das große Powerpoint-Präsentationen macht über Dinge, die möglich sind. Wir bauen Systeme, die in der Welt stehen“, sagt Max Ellerich. Bis zu 250 Megawatt (MW) an Elektrolyseleistung könnte **NEUMAN & ESSER** pro Jahr produzieren und installieren. Das entsprach Mitte des Jahres mehr als der in Deutschland installierten Elektrolyse-Kapazität, die laut des Portals Wasserstoffkompass bei 154 MW lag. So wird klar: Der deutsche Markt allein ist – noch – zu klein für die Kapazität

von **NEUMAN & ESSER**. Deshalb ist das Unternehmen mit seinen Produkten und Dienstleistungen seit Jahrzehnten international tätig. So nun auch mit den Wasserstofflösungen. Märkte in anderen Ländern funktionieren oft anders. Eine Kultur des Scheiterns und daraus Lernens ist unter anderem in den USA weiter verbreitet, während in Deutschland Sicherheiten wichtiger sind.

Aus der Heterogenität der Märkte hat **NEUMAN & ESSER** gelernt. Zum Beispiel, dass es ein Vorteil sein kann, die Wasserstoff-Produktion und die Wasserstoff-Kompression als System anzubieten. „Eigentlich ist der Gedanke ja einfach und logisch: Wenn ich Wasserstoff produziert habe, dann muss er immer verdichtet werden. Egal für welche Anwendung“, erklärt der Solution Manager. Der Transport in Pipelines erfolgt bei rund 80 bar, in Stahlbehältern wird er bei 200 bis 300 bar gespeichert. Die Ammoniak-Produktion benötigt Wasserstoff bei 150 bis 200 bar, Wasserstoffautos 700 bar. „Elektrolyseur und Kompressor müssen aufeinander ausgelegt sein. Wir verstehen jede Komponente. Nur daraus kann sich ein Verständnis für das Gesamtsystem ableiten“, erklärt Max Ellerich.

Jetzt ist Kompressor nicht gleich Kompressor und Wasserstoff ein Sonderfall, weil dieser unterschiedliche Drücke aufweisen muss. Das macht ihn ungeeignet für Turbo-Kompressoren. Bei den Kompressoren von

NEUMAN & ESSER passiert das, was in einem Verbrennungsmotor passiert, wenn der Gang eingelegt bleibt und das Fahrzeug bergab rollt. Anstatt, dass das explodierende Gas die Zylinderkolben bewegt, sorgen die Kolben dafür, dass das Gas komprimiert wird. „Im Gegensatz zu anderen Arten der Kompression können wir so jedes notwendige Druckniveau herstellen“, sagt Max Ellerich. Er betont, dass er „ziemlich stolz auf unser 5-Megawatt-Elektrolyse-System“ sei. Auch deswegen, weil das System gut kombinierbar ist. Das wird bald in Jülich sichtbar, wo zwei Systeme aus dem Haus **NEUMAN & ESSER** den Kern der Wasserstoffproduktion des Kreises Düren bilden. Im Kreis Heinsberg ist das Unternehmen Teil des Konsortiums **H2HS**. Ab Mitte 2025 sollen dort zwölf neu angeschaffte Wasserstoffbusse mit Wasserstoff betankt werden, der vor Ort hergestellt wird (Seite 12).

„Wir merken, dass der Wasserstoffmarkt in Deutschland mittlerweile deutlich anzieht“, schildert Max Ellerich. Ob das in der Nationalen Wasserstoff-Strategie formulierte Ziel der Bundesregierung, bis 2030 10.000 MW aufzubauen, realistisch ist, ist für Max Ellerich nachrangig. Die Industrie, die sich mit Wasserstoff wandeln und wachsen kann, sei vorhanden. „Wenn ich sehe, woran die Forschung gerade arbeitet, dann erkenne ich, dass im Bereich Wasserstoff große Fortschritte möglich sind. Wir müssen einfach loslegen“, verwendet er eine leicht abgewandelte Version von „Einfach mal machen“.

Kreuzworträtsel

Mitmachen und unseren Wasserstoff-Fuchs HyFox „Henry“ gewinnen!

Wenn Sie unsere zweite 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.



Das Foto zeigt die glücklichen Gewinner des ersten Rätsels, Familie Usling aus Stolberg.

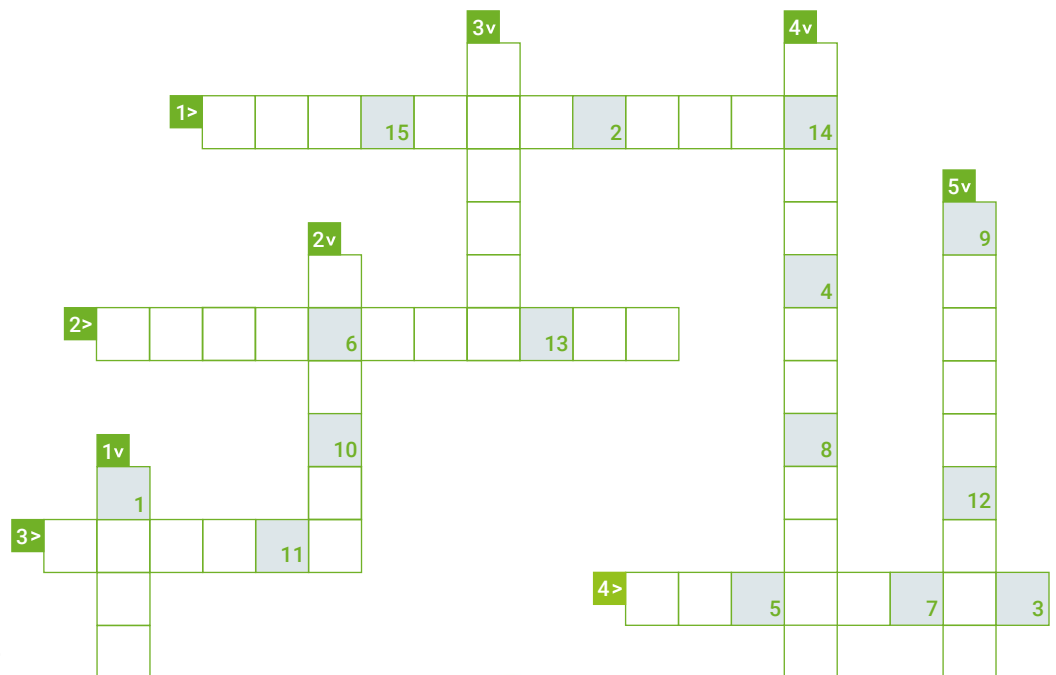
Bitte das Lösungswort bis zum 15. Dezember per Mail an: info.hch2@fz-juelich.de senden. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Waagrecht >

1. Das Prinzip, dem das Be- und Entladen der Trägerflüssigkeit LOHC mit Wasserstoff entspricht
2. Ein Stoff, der die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion erhöht
3. Ein Wasserstoff-Derivat
4. Eine Methode zur Analyse von atomaren Teilchen

Senkrecht v

1. Die Farbe für natürlich vorkommenden Wasserstoff
2. Material, dass bei PEM-Brennstoffzellen zum Einsatz kommt
3. Kontinent mit großem Potenzial für die Produktion von grünem Wasserstoff
4. Das Freisetzen von Wasserstoffatomen aus einem Molekül
5. Energieintensiver Prozess bei der Glasherstellung



LÖSUNGSWORT:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

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.



„Als Teil unseres Teams gestalten Sie den Wandel in unserer Region aktiv mit.“

Laura Miessner,
Personalsachbearbeiterin INW, Forschungszentrum Jülich



Hier gibt's weitere Infos

IMPRESSUM

Herausgeber:

Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft (HC-H2)
Marie-Curie-Straße 5
52428 Jülich
info.hch2@fz-juelich
www.hch2.de



Bildnachweis: Sascha Kreklau: Titel, S. 23/24, 28; Guido Jansen: S. 5/6, S. 32/33; Ralf-Uwe Limbach: S. 7, S. 10, S. 25, S. 28, S. 33, S. 39; Bernd Nörig: S. 29, S. 32; (Forschungszentrum Jülich); **aligator-kommunikation:** S. 2, S. 12; Anja Tiwisina (MKW): S. 3, Impulsdesign: S. 5, Laurent Truche (Universität Grenoble Alpes): S. 18; SeitenPlan: S. 22; Adobe Stock: S. 4, S. 6 – 9, S. 18, S. 26, S. 30/31, S. 34/35; Ingmar Stock: S. 33; Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der RWTH Aachen: S. 34; Neuman & Esser: S. 37/38; Privat: S. 38

Druck: Weiss-Druck GmbH & Co. KG

Papier: gedruckt auf 100 % Altpapier



www.blauer-engel.de/uz195

Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

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

Autoren: Guido Jansen, Arndt Reuning: S. 22 – 25

Grafik und Layout: Clarissa Reisen

Auflage: 500.000



GEFÖRDERT VOM



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:

