

VDI nachrichten

29. Januar 2021 · Nr. 4

TECHNIK WIRTSCHAFT GESELLSCHAFT

Einzelpreis 4,30 Euro

6867

Spielverderber

FOKUS WASSERSTOFF: Die Energiewende ist auf das kleinste Element gebaut: Wasserstoff. Ingenieure und Regelsetzer grübeln, wie ihm gefahrlos beizukommen ist.

VON STEPHAN W. EDER UND
IESTYN HARTBRICH

Wasserstoff ist ein Versprechen: Alles bleibt so, wie es ist. Fossile Brennstoffe – Erdöl, Kohle, Erdgas – werden ersetzt durch Wasserstoff, der mit regenerativem Strom produziert wurde. Das kleinste Molekül soll die Schwerindustrie CO₂-emissionsfrei machen und – je nach Szenario – den Schiffs-, Automobil- und Luftfahrtsektor gleich dazu. Klimaneutrales Heizen in allen Gebäuden nicht zu vergessen.

Die Idee ist zweifellos verlockend. Ein Brennstoff, der zu sauberem Wasser verbrennt, der sich durch die vorhandenen Erdgasnetze einfach transportieren lässt, der unbegrenzt verfügbar ist.

Aber hält der Wasserstoff sein Versprechen oder wird er zum Spielverderber? Das Gas ist flüchtig, dringt überall durch, versprödet andere Werkstoffe in Windeseile und ist für seine Explosivität bekannt. Zwar gibt es bereits viel Erfahrung mit Wasserstoff, allerdings kaum im großtechnischen Maßstab. „Wenn wir Wasserstoff im Flugzeug nutzen wollen, im Auto und im

Stahlwerk, dann kommen nahezu alle in der Industrie verwendeten Komponenten damit in Kontakt: Rohre, Tanks, Elektroden, Turbinen, Ventile“, sagt Baptiste Gault vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung.

Alles, wirklich alles, muss auf den Prüfstand, damit gewährleistet ist, dass es in Anwesenheit dieses einfachsten aller Atome – ein Proton, ein Elektron, das wars – wirklich tadellos und mas-

sentauglich funktioniert. Und das ist eine ganze Menge.

Beim Deutschen Verein des Gas- und Wasserfachs, kurz DVGW, bleibt bezüglich der Gasinfrastruktur kein Stein auf dem anderen. Alles wird gedreht und gewendet, das rund 1000-seitige Regelwerk muss fit werden – für 20 % Wasserstoffanteil im Erdgasnetz, für 30 % und für reinen Wasserstoff. „Wir gehen davon aus, dass wir ungefähr drei bis vier Jahre brauchen“, sagt DVGW-Chef Gerald Linke. Ein 15-Mio.-€-Projekt soll mehr Personal und Expertise bringen.

Überall lockt das Versprechen des Wasserstoffs. In Sonnenländern des Südens entstehen Elektrolyseure in der Nähe von Solarparks, damit die Stahlkocher im Norden den Wasserstoff im Hafen abholen können (s. S. 6 und 7). Auch die Heizungsbauer machen sich fit für die Wasserstoffzukunft. Sie entwickeln in den kommenden Jahren Geräte, die sich automatisch an höhere Wasserstoffanteile anpassen.

Selbst wenn Wasserstoff auf breiter Front handhabbar wird, all seine Geheimnisse hat das kleine Atom noch längst nicht preisgegeben. Der Stahllexperte Gault: „Wir wissen in vielen Fällen nicht, wohin der Wasserstoff wandert.“

S.20

Foto: PantherMedia / bobyramone

Europäische Kommission will die Bahn aufs Gleis setzen

SCHIENENVERKEHR: Nur etwa 7 % des Personen- und 11 % des Güterverkehrs rollen derzeit über die Schiene. Die Bahn soll 2021 als Transportmittel attraktiver werden. Neben EU-weiten Maßnahmen zu rechtlichen Erleichterungen und Kostensenkungen zählen auch mehr Hochgeschwindigkeitszüge und bessere Verbindungen zu anderen Verkehrsträgern dazu. **10**



Bahn frei: Neue Angebote sollen mehr Personen und Güter auf die Schiene locken. Foto: R. Fellenberg

ZITAT

„Wenn die Gesundheitsämter jetzt mit Stolz verkünden, dass sie seit zwei Wochen keine Faxgeräte mehr einsetzen, sollten wir ins Grübeln kommen.“

Achim Berg, Präsident des IT-Brancheverbands Bitkom, zur Digitalisierung im Gesundheitswesen

8

Qualitätssiegel mit Vorsicht genießen

KARRIERE: Wer als Arbeitgeber etwas auf sich hält, trägt ein Qualitätssiegel. Immer mehr Unternehmen sind sich dessen bewusst. Vor allem große Mittelständler wollen so im Wettrennen um gute Mitarbeiter gegenüber den Konzernen an Boden gewinnen. Aber welches der mehr als 300 Siegel im deutschsprachigen Raum ist aussagekräftig? Der Markt ist unübersichtlich, die Erhebungsmethoden sind teils sehr verschieden. Fest steht: Ein Siegel erspart Bewerberinnen und Bewerbern nicht den Blick aufs Unternehmen. **28**

Wende in der Pipeline

INFRASTRUKTUR: Wasserstoff soll in Zukunft durch das Gasnetz geleitet werden – zusätzlich zum Erdgas. Doch so einfach ist das nicht. Eine Analyse.



VON STEPHAN W. EDER / IESTYN HARTBRICH

Ohne Wasserstoff keine Energiewende, keine Verkehrswende und keine Wärmewende. Doch der Weg in die Wasserstoffwirtschaft ist schwierig – wenn er überhaupt gelingt. Fünf der größten Baustellen haben wir uns genauer angeschaut.

Baustelle 1: Wasserstoff ist ein unangenehmes Gas. Wasserstoff besitzt eine ganze Reihe problematischer Eigenschaften. Als kleinstes Molekül ist H_2 besonders flüchtig; Tanks, Rohre und Speicher sind schwer abzudichten.

Ein Standardproblem, vor allem bei Stählen und Titanlegierungen, ist die sogenannte Wasserstoffversprödung (s. S. 22). Wasserstoff diffundiert in atomarer Form (als H) in das Kristallgitter und reichert sich in der Nähe von unvermeidbaren Defekten in den Zwischengitterplätzen an, zum Beispiel an einer Rissspitze. Dort werden die Kräfte der metallischen Bindung geschwächt, die Atome des Gitters verlieren ihren Zusammenhalt. Die Folge: Die Rissfront breitet sich bei Geschwindigkeiten von bis zu 6000 m/s explosionsartig aus. Auf diese Weise versagen auch Werkstoffe abrupt, die eigentlich eine hohe plastische Verformung vertragen können. In den Materialwissenschaften ist vom Sprödbruch die Rede.

Generell gilt: Nur hochfeste Materialien sind betroffen. Beim Stahl ist die Untergrenze 800 MPa Festigkeit. Die meisten Rohre und Pipelines, zumal die älteren, haben deutlich geringere Festigkeiten. „Wir können froh sein, dass unsere Gasrohrleitungen so alt sind und aus Stählen mit geringer Festigkeit bestehen, die nicht durch Wasserstoff verspröden können. Eigentlich sollte es ein Gesetz geben, das die Festigkeit der Pipelinestähle auf 800 MPa be-

grenzt“, sagt Michael Pohl, Werkstoffwissenschaftler an der Ruhr-Universität Bochum.

Auch sicherheitstechnisch ist Wasserstoff anspruchsvoll. „Wasserstoff ist extrem zündwillig“, sagt der Explosionsschutzexperte Michael Beyer von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Ein Wasserstoff-Luft-Gemisch ist bei Wasserstoffanteilen zwischen 4 % und 77 % explosionsfähig.

Wasserstoffgeräte müssen deshalb höhere Anforderungen erfüllen als Erdgasgeräte. Sie sind in der strengsten Explosionsgruppe, der IIC, angesiedelt. Erdgasinfrastruktur ist in der Explosionsgruppe IIA eingeordnet. „Wir können nicht Anlagen, die für Erdgas ausgelegt sind, einfach mit Wasserstoff betreiben“, sagt Beyer. Nur bis zu einem Wasserstoffanteil im Erdgasnetz von annähernd 25 % verhält sich das Gemisch laut des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) weitgehend wie Erdgas.

Exotisch, aber relevant ist der negative Joule-Thomson-Koeffizient von Wasserstoff. Bei Entspannung erwärmt sich das Gas – anders als die meisten Gase – von allein und kann sich im Luftgemisch selbst entzünden. Das bedeutet: Unter den falschen Bedingungen kann ein Leck in einer Rohrleitung eine Explosion nach sich ziehen.

Hinzu kommt: Mit vielen Elementen einer nationalen Wasserstoffinfrastruktur gibt es noch keine Erfahrungen. „Neue sicherheitstechnische Fragen werden auftauchen“, sagt Beyer. „Die Wasserstofftechnologien verlassen auf breiter Front das Labor und gehen in die großindustrielle Anwendung, für die es bisher noch keine Beispiele gibt.“

Baustelle 2: Der Fitnesstest für die Erdgasnetze steht noch aus. Nicht jede Komponente der Gasinfrastruktur ist gleich gut für den Betrieb mit Wasserstoff geeignet. Vergleichsweise reibungslos könnte

sich der Übergang bei den Rohren und Pipelines vollziehen. Hohe Wasserstoffgehalte im Erdgasnetz waren jahrzehntelang Standard: In den Ballungsräumen wurde Kokeingas durch die Netze geleitet, eine Mischung aus 60 % Wasserstoff und 40 % Kohlenwasserstoffen.

Nach Angaben des DVGW können die Pipelines in Deutschland komplett auf Wasserstoff umgestellt werden. „Um hundertprozentig sicher zu gehen, führen wir derzeit eine Prüfung bei der Materialprüfanstalt für alle in Deutschland in Pipelines verbauten Stähle durch“, sagt DVGW-Chef Gerald Linke. Auch in Kunststoffleitungen sei der Transport von Wasserstoff „zu 100 % problemlos“. Nach Angaben des DVGW müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein, damit Rohre verspröden können: Vorschädigungen und wechselnde Belastung. Rohre für den Gastransport seien ruhend belastet. „Das Phänomen einer wasserstoffinduzierten Rissbildung unter Druckwechselbeanspruchung kann nicht auftreten“, schreibt der DVGW auf Anfrage.

In den Verdichterstationen, die im Pipelinennetz eingesetzt werden, um das transportierte Gas zu beschleunigen, lässt sich der Wasserstoffgehalt am transportierten Gas nicht ohne Weiteres erhöhen. Die Turbinen werden mit einem Teil des transportierten Gases angetrieben, sind nach DVGW-Angaben aber nur auf Gemische mit maximal 5 % Wasserstoffanteil ausgelegt. Demnach gibt es drei Möglichkeiten. Erstens könnten die Turbinen ersetzt werden; alle 20 Jahre geschieht das ohnehin. Zweitens ließe sich die Fraktion des transportierten Gases, die zum Antrieb der Turbinen genutzt wird, methanisieren, bis ein verträgliches Gemisch erreicht ist. „Entweder wandelt man den im Gas enthaltenen Wasserstoff in Methan um, oder man trennt ihn durch Membrantechnik ab“, sagt Linke. Die dritte Möglichkeit liegt darin, beim

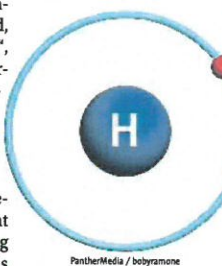
Antrieb der Verdichter Turbinen durch Elektromotoren zu ersetzen.

Besonders anfällig sind die Elektroden, an denen in Elektrolyseuren der Wasserstoff produziert wird. Gängige Abwehrmechanismen wie Beschichtungen helfen hier nicht weiter, weil die aktive Oberfläche in Kontakt mit dem Wasserstoff sein muss. Aus zwei gravierenden Gründen ist das problematisch. Erstens müssen die Elektroden häufig getauscht werden, zweitens bestehen sie oft aus besonders teuren Metallen wie Iridium und Platin. „Der Gedanke, dass wir mit den heute verfügbaren Elektroden Wasserstoff für 8 Mrd. Menschen produzieren, ist nichts als eine Träumerei“, warnt der Materialwissenschaftler Baptiste Gault vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung.

Baustelle 3: Die Erdgasnetze reichen nicht aus. Noch steht nicht fest, wie viel Wasserstoff final in Deutschland verbraucht wird. Abhängig davon, in welchen Prozessen fossile Energieträger durch Wasserstoff ersetzt werden sollen, kommen die Erdgasnetze schnell an ihre Grenzen.

Fest steht: Nicht nur die Stahlindustrie, auch Teile des Mobilitätssektors und weitere Schwerindustrien sollen von Erdöl und Kohle loskommen. All dieser Wasserstoff muss durch Netze transportiert werden, die heute dem Energieträger Erdgas vorbehalten sind. „Wahrscheinlich wird das Erdgasnetz für die riesigen Mengen Wasserstoff nicht ausreichen“, warnt PTB-Experte Beyer.

Zwei Maßnahmen könnten das Problem lösen. Erstens könnte das Netz im Rahmen eines milliardenschweren Programms erweitert werden. Zweitens ließe sich die Kapazität erhöhen, indem der Druck heraufgesetzt wird. Nach der Devise: mehr Durchsatz durch höhere Geschwindigkeit. Hierfür allerdings sind die heutigen Netze ungeeignet.



PantherMedia / bobyramone



Foto: Imago Images/Bitzau Scapito/Mads Claus Rasmussen

Erdgaspipeline im Bau: Das Baltic Pipe Project bindet Polen über Dänemark an norwegische Gasfelder an. Ob diese Röhren im Rahmen einer europäischen Wasserstoffwirtschaft genutzt werden könnten, muss geprüft werden.

Baustelle 4: Eine Importinfrastruktur gibt es noch nicht. Es gibt eine etablierte Erdgasinfrastruktur – auch für den Import. Die beruht weitgehend auf Pipelines. Hinzu kommt als globale Verteilstruktur der Transport von Flüssigerdgas (LNG: Liquefied Natural Gas) in entsprechenden Kühltankschiffen.

Genauso könnte eine Importinfrastruktur für Wasserstoff aussehen, denn 80 % des Wasserstoffs sollen laut Wasserstoffstrategie der Bundesregierung importiert werden. Das Szenario: In sonnenreichen Staaten – Australien, Niger, Saudi-Arabien, Portugal – wird in Gigawatt-Solarparks Ökostrom generiert. Mit diesem wird vor Ort mit Elektrolyseuren Wasserstoff erzeugt, der via Pipeline oder Schiff exportiert wird.

Die Umstellung des Erdgassystems läuft auf einen zeitweise parallelen Betrieb zweier Infrastrukturen hinaus. Prinzipiell ließen sich Pipelines (nach Prüfung, s. o.) auch für Wasserstoff nutzen. Bei einem LNG-Tanker wird das schon schwieriger. LNG wird bei -164 °C bis -161 °C transportiert, Wasserstoff verdampft bei -253 °C. 2019 lief in Japan bei Kawasaki Heavy Industries der erste Wasserstofftanker vom Stapel.

Fakt ist: Die nötige Infrastruktur für den Transport riesiger Mengen Wasserstoff nach Deutschland gibt es Stand heute nicht. Aber als Uniper im November letzten Jahres die Pläne für ein großes LNG-Terminal in Wilhelmshaven aufgab, war eines der Ersatzszenarien an gleicher Stelle ein Wasserstoffterminal. Es kommt also etwas in Bewegung.

Baustelle 5: Es fehlt an Regeln für die Wasserstoffwirtschaft. Die heutige Erdgasinfrastruktur ist von ausgereiften Regelwerken und Normen flankiert. Ein Äquivalent für Wasserstoff entwickelt sich nicht über Nacht.

Dass der DVGW die Herausforderung einer Wasserstoffwirtschaft

dennoch gelassen angeht, hat zwei Gründe. Erstens sind selbst tief greifende Wechsel in der Gaszusammensetzung nicht neu für das Gasfach (s. Baustelle 2). Zweitens ist Wasserstoff im deutschen Gasnetz bereits in Grundzügen mitgedacht worden. Laut DVGW-Regelwerk ist ein Wasserstoffgehalt von 10 Vol.-% im Erdgas zulässig. Die große Frage ist, wann dieser Wert überschritten wird. Laut Dennis Klein vom DIN-Normenausschuss Gastech schaffte der DVGW aktuell „die Grundlagen für Wasserstoffbeimischung bis 20 Vol.-% und reinen Wasserstoff für eine Versorgung durch das Erdgasnetz“.

Um den Prozess zu beschleunigen, hat der DVGW ein 15-Mio.-€-Projekt aufgesetzt. „Wir gehen davon aus, dass wir in ungefähr drei bis vier Jahren unser Regelwerk von rund 1000 Arbeitsblättern angepasst haben werden“, sagt Vorstandschef Linke. In einem zweiten Schritt soll ein Regelwerk für Gasgemische mit bis zu 30 % und mit genau 100 % Wasserstoffanteil entstehen.

Nach Angaben des DIN-Experten Dennis Klein schreitet auch auf EU-Ebene die Normung voran: „Derzeit erarbeiten EU-Kommission, CEN und Cenelec (Normungskomitees der EU, d. Red.) einen EC-Normungsauftrag für alle Nutzungswege von Wasserstoff, um baldmöglichst ein kohärentes Normenwerk verfügbar zu machen. Auch Methanisierung soll abgedeckt werden.“

Die europäischen Normen EN 13445 und EN 13480 für (chemische) Apparate und Druckbehälter sind laut Frank Wohnsland vom DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau ohnehin weitgehend unabhängig von darin verwendeten Medien formuliert. Dadurch sei zwar der Betrieb mit Wasserstoff normativ bereits abgedeckt. „Aber die gegebenenfalls erforderlichen – zusätzlichen – für das Fluid spezifischen Lösungen sind nicht oder nur selten im Detail spezifi-

ziert“, sagt Wohnsland. „Es wäre sehr ratsam, für das spezielle Medium Wasserstoff normative Lösungen und Anforderungen in den genannten Normen in größerer Detailtiefe mitaufzunehmen.“

Bei der wasserstoffspezifischen Normung könne man, so Wohnsland, von bereits bekannten Anwendungsfällen ausgehen. Um Zeit zu sparen, sei es deshalb sinnvoll, Werkstoffe und Verfahren aus etablierten Prozessen heranzuziehen und zu evaluieren, ob vor dem Normungsprozess noch wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich seien.

Die eigentliche Normung dauert typischerweise zwischen zweieinhalb und drei Jahren. Das lässt sich aber laut Wohnsland verkürzen, wenn man den Weg einer Technischen Spezifikation nehmen würde, die erst später zu einer richtigen Norm wird. „Im konkreten Fall des Wasserstoffs, bei dem es sich ja in vielen Fällen um eine Erweiterung oder Detaillierung bereits bestehender etablierter Konstruktionsnormen handeln würde, könnte dies ein vielversprechender Ansatz sein.“

Ein letzter kniffliger Punkt im Zusammenhang mit der Wasserstoffinfrastruktur ist die Metrologie. Aktuell sind zum Beispiel Gaszähler nicht für 20 % Wasserstoff ausgelegt, ebenso wie die Prozesschromatografen, mit denen man die Zusammensetzung des Gases ermittelt. „Sie können Wasserstoff nicht detektieren. Hier hat der DVGW in seinem Innovationsprogramm neue Geräte entwickelt, die auch Wasserstoff ermitteln können. Diese Lücke kann also geschlossen werden“, sagt DVGW-Chef Linke.

Doch damit sind die Probleme nicht gelöst. Beispiel Elektrolyseur. Stand heute gibt es keine einheitliche Definition des Wirkungsgrads, das heißt: Es gibt keinen Rückbezug auf nationale Normale. „Man kann davon ausgehen, dass es jeder richtig macht, aber jeder macht es anders“, sagt Michael Beyer von der PTB. Ihm graut vor Fehlinvestitionen, weil man sich beim Messwesen nicht früh genug geeinigt hat: „Wir brauchen nationale Normale, weil milliardenschwere Investitionen und folgenschwere Technologieentscheidungen daran hängen“, mahnt Beyer.

AUS DER HISTORIE

1996

Wasserstoffpionier

„Wasserstoff auf japanisch“ vom 19. Juli 1996. Der Textauszug beweist: So richtig viel ist nicht passiert in der Wasserstoffwirtschaft.

„Die Industriegesellschaft ist abhängig von fossilen Brennstoffen wie Erdöl, Kohle oder Erdgas. Das weiß auch Kenzo Fukuda. Doch anders als die meisten Energieexperten hat der Japaner beschlossen, etwas dagegen zu tun. „Deshalb“, so Fukuda auf der Welt-Wasserstoff-Konferenz Ende Juni in Stuttgart, „wollen wir Energiesysteme entwickeln, die erneuerbare Energien nutzen, Luft und Wassers nicht verunreinigen und möglichst wenig Kohlendioxid freisetzen.“ [...]

Zu den Forschungszielen gehören leistungsfähige Elektrolyseure zur Wasserstoffherstellung. Die Elektroden sollen bereits 1998 eine Fläche von 2500 cm² erreichen.“

■ www.vdi-nachrichten.com/100-jahre

**100
JAHRE**

VDI nachrichten

TECHNIK IN
SZENE GESETZT.