



ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN

ZEITSCHRIFT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT · RECHT · TECHNIK UND UMWELT

Artikel-Pdf (18028) · Heft 10|19 · S.10-13



- > PRINT
- > ONLINE
- > DIGITAL



Weitere Informationen unter:

www.et-magazin.de

Grüner Wasserstoff, das dritte Standbein der Energiewende?

Stefan Lechtenböhrer, Sascha Samadi, Anna Leipprand und Clemens Schneider

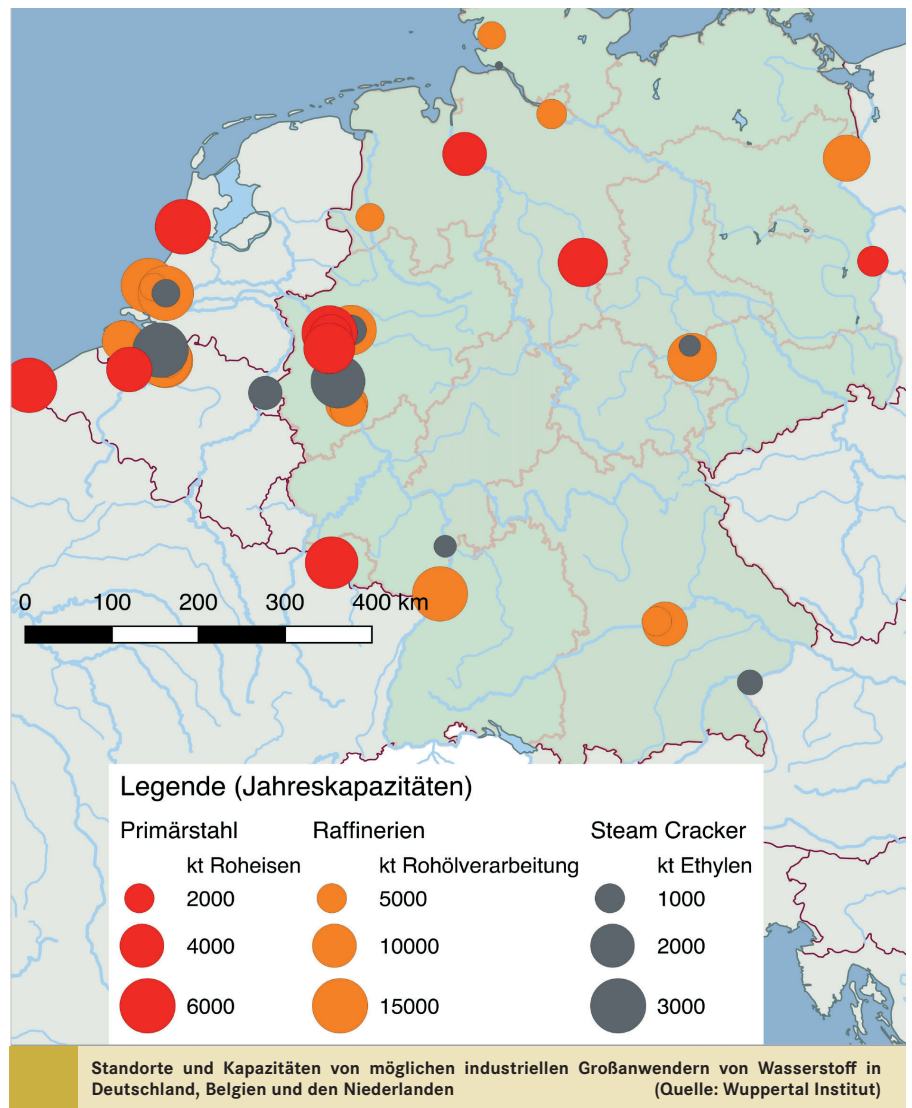
Unter den Stichworten „Sektorenkopplung“ und „Power-to-X“ werden derzeit viele Möglichkeiten der direkten und indirekten Elektrifizierung großer Teile der Endenergienachfrage intensiv diskutiert. In diesem Zusammenhang hat die Diskussion um Wasserstoff als Endenergieträger sowie als Feedstock für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen zuletzt stark an Bedeutung gewonnen. Insbesondere der klimaneutrale Umbau der Grundstoffindustrien und hier vor allem der Grundstoffchemie und der Stahlindustrie würde bedeutende Mengen an grünem Wasserstoff benötigen, die räumlich stark auf die großen Industriekerne fokussiert wären. Ein zeitnaher Einstieg in die Schaffung entsprechender Erzeugungskapazitäten und Infrastrukturen könnte dazu führen, dass Wasserstoff – neben erneuerbaren Energien und Energieeffizienz – zum dritten Standbein der Energiewende avanciert.

Wasserstoff als potenziell CO₂-frei erzeugter Energieträger kann in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen, wenn eine Reduktion von Treibhausgasen um mindestens 95 % (gegenüber 1990) angestrebt wird. Darin stimmen vorliegende Langfristszenarien [1, 2, 3] und andere aktuelle Studien zur zukünftigen Rolle grüner Gase bzw. von Wasserstoff [4, 5] weitgehend überein (siehe Tab.). Für eine nahezu CO₂-freie Wasserstoffbereitstellung müsste dieser auf Basis von erneuerbarem Strom elektrolytisch (grüner Wasserstoff) oder auf Basis von Erdgas mit gleichzeitiger Abspaltung und Speicherung des Kohlenstoffs als reiner Kohlenstoff oder als CO₂ (blauer Wasserstoff) erzeugt werden.

In einem treibhausgasneutralen Energie- und Industriesystem der Zukunft würde Wasserstoff, so die aktuellen Szenarien, vor allem zur Deckung des Endenergiebedarfs in den Sektoren Verkehr und Industrie beitragen und außerdem als Feedstock für die chemische Industrie dienen. Kleinere Mengen Wasserstoff könnten auch zur Rückverstromung und ggf. für die Raumwärmebereitstellung genutzt werden. Wasserstoff wird damit überwiegend in solchen Bereichen zum Einsatz kommen, in denen die direkte Nutzung von Strom schwieriger oder weniger effizient ist.

Wie viel Wasserstoff wird zukünftig gebraucht?

Bereits heute ist die *Grundstoffindustrie* auf Wasserstoff als Feedstock angewiesen. Eine klimaneutrale Industrie wird somit in jedem Fall auf grünen oder blauen Wasserstoff



bauen müssen. So werden in der *Ammoniak-erzeugung* große Mengen Wasserstoff als Grundstoff benötigt. Wenn dieser Wasserstoff zukünftig grün bereitgestellt wird, werden –

gegenüber der gegenwärtig dominierenden Wasserstoffherzeugung über erdgasbasierte Dampfreformierung – in signifikantem Umfang Treibhausgasemissionen vermieden.

Wasserstoff kann aber darüber hinaus in der Industrie auch in neuen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen und dabei noch weit mehr Emissionen einsparen. So kann etwa die *Primärstahlerzeugung* durch den Einsatz von Wasserstoff weitgehend CO₂-frei werden und damit die emissionsintensive, kohlebasierte Hochofen-Route abgelöst werden. Alle wichtigen Stahlerzeuger in Deutschland haben entsprechende Pläne angekündigt [6].

Bei vollständiger Umstellung der Primärstahlerzeugung auf Direktreduktion mit Wasserstoff würden bei gleichbleibender Produktion ca. 80 TWh an Wasserstoff pro Jahr benötigt [5]. Die BDI-Studie setzt dagegen für die Dekarbonisierung der Stahlbranche auf Carbon Capture and Storage (CCS) und weist deshalb keinen Wasserstoffbedarf für Direktreduktion aus.

In der Chemischen Industrie müssen in einer klimaneutralen Zukunft die kohlenstoffhaltigen Grundstoffe ohne den Einsatz fossiler Rohstoffe hergestellt werden. Einige der vorliegenden Szenarien gehen davon aus, dass im Jahr 2050 in großem Umfang synthetische Kraftstoffe und auf Wasserstoffbasis hergestellte chemische Grundstoffe importiert werden (dena: 169 bis 584 TWh, BDI: 251 TWh), und dass nur maximal rund 30 TWh Wasserstoff als Feedstock für die Produktion synthetischer Kraftstoffe und chemischer Grundstoffe in Deutschland eingesetzt werden. Wird weniger importiert, könnten die benötigten Mengen an Wasserstoff deutlich höher liegen. Um 100 % der heute inländisch in der Grundstoffchemie eingesetzten fossilen Rohstoffe durch synthetische Einsatzstoffe aus Wasserstoff und CO₂ zu ersetzen, würden ca. 225 TWh Wasserstoff jährlich benötigt (eigene Abschätzung). Importe oder verstärktes Recycling würden den Bedarf deutlich senken.

Auch für weitere Anwendungsfelder in der Industrie ist Wasserstoff geeignet und kann fossile Kohlenwasserstoffe als Energieträger ersetzen. Dies gilt insbesondere für die *Erzeugung von Prozesswärme* auf hohem Temperaturniveau für energieintensive Branchen. Der endenergetische Wasserstoffbedarf in der Industrie (ohne Stahlerzeugung) im Jahr 2050 liegt in den meisten der betrachteten Klimaschutzenszenarien bei

bis zu 40 TWh, wird in aktuellen Studien mit Wasserstoff- bzw. Gasfokus [4, 5] aber auch mit bis zu 150 TWh angegeben.

Die meisten der betrachteten Szenarien weisen Wasserstoff im Jahr 2050 auch im Verkehr mit 55 bis 219 TWh eine wichtige Rolle zu [2, 4, 5]. Lediglich Szenarien, die im Verkehr sehr stark oder ausschließlich auf importierte synthetische Energieträger setzen [1, 3], sehen keine oder kaum Wasserstoffnutzung in diesem Sektor vor. Wasserstoff und auf Wasserstoff basierende synthetische Energieträger werden den Szenarien zufolge vor allem im Schwerlast-Güterverkehr, im Schiffsverkehr, im nicht-elektrifizierten Schienenverkehr und im Flugverkehr dominieren. Bei den Pkw stellen Batteriefahrzeuge eine wichtige Alternative dar.

Im *Gebäudebereich* können Brennstoffzellen-BHKW in Teilsegmenten genutzt werden, insbesondere, wenn sie mit anderen wasserstoffbetriebenen Stromerzeugern zur Stabilisierung des Stromnetzes eingesetzt werden. In diesem Bereich erwartet die „Wasserstoffstudie NRW“ [5] einen jährlichen Einsatz von rund 36 TWh im Szenario mit Fokus auf Elektrifizierung. Im Szenario mit gezieltem Einsatz von Wasserstoff nutzt der Gebäudesektor sogar 169 TWh Wasserstoff. In die Strom- (Rückverstromung) sowie Wärmeerzeugung fließen schließlich in den meisten Szenarien bis zu 24 TWh Wasserstoff, in den aktuellen Studien mit Wasserstoff- bzw. Gasfokus allerdings mit bis zu 123 TWh deutlich mehr.

In Summe könnte der Bedarf an Wasserstoff in Deutschland für die Bereiche Stahl/Direktreduktion, sonstige Industrie, Verkehr, Umwandlungssektor, Feedstock für chemische Industrie und Gebäude den Szenarien zufolge bis Mitte des Jahrhunderts Werte von über 600 TWh/a erreichen.

Dabei bestehen allerdings noch große Unsicherheiten über die möglichen Gesamt mengen. Entscheidend hierfür ist nach den derzeitigen Szenarioanalysen vor allem die Frage, ob eher synthetische, d. h. aus Wasserstoff und Kohlenstoff erzeugte flüssige oder gasförmige Energieträger und Chemierohstoffe importiert werden, oder ob langfristig insbesondere die Produktion chemischer Grundstoffe in Deutschland auf der Basis von (inländischem oder importiertem)

Wasserstoff und CO₂ (z. B. aus Biomasse, dem Recycling von Kunststoffen oder der Müllverbrennung) erfolgen wird.

Des Weiteren spielt für den zukünftigen Wasserstoffbedarf in einem klimaneutralen Energiesystem eine bedeutende Rolle, ob bzw. wie stark sich die Technologie der CO₂-Abscheidung und Speicherung an industriellen Anlagen der Stahl- und Chemieindustrie durchsetzen wird und wie weitgehend der Verkehr zukünftig direkt elektrifiziert werden kann – z. B. durch Verbesserungen bei Batterietechnologien und/oder durch den Bau eines weitflächigen Netzes an Oberleitungen für den Lkw-Verkehr auf Autobahnen. Erfolge in diesen Bereichen würden den zukünftigen Bedarf an Wasserstoff reduzieren.

NRW und Rheinschiene als mögliche Verbrauchsschwerpunkte

Gerade der potenzielle zukünftige Wasserstoffeinsatz in der Industrie ist durch eine hohe Konzentration der Bedarfe gekennzeichnet (siehe Karte). Rund die Hälfte dieses Bedarfs würde auf Grundlage der heutigen Produktionsstruktur allein auf Standorte in NRW entfallen, wo derzeit etwas mehr als 50 % der deutschen Primärstahlerzeugung und ein ähnlicher Anteil an Grundstoffchemie (einschließlich der Ammoniakherstellung) verortet sind. Vom Energieeinsatz der übrigen Industrie entfällt immerhin noch rund ein Drittel auf NRW, während es nach Abschätzungen des Wuppertal Instituts im Gebäudebereich und im Verkehr gut 20 % sind. Wenn grüner Wasserstoff zukünftig in der Industrie großmaßstäblich genutzt werden wird, entsteht somit ein Verbrauchsschwerpunkt in NRW und entlang der Rheinschiene. Der Gesamtbedarf an Wasserstoff in NRW könnte gemäß den genannten Anteilen mehr als 40 % des Bedarfs in Deutschland ausmachen. NRW könnte daher einen zentralen Kristallisationspunkt für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur darstellen.

Mögliche Quellen für CO₂-frei erzeugten Wasserstoff

Der Transport großer Mengen an Wasserstoff kann gegenüber dem Transport von Strom wesentliche Vorteile bieten, insbesondere

dann, wenn bestehende Erdgasleitungen auf Wasserstofftransport umgestellt werden können, Überschüsse aus der erneuerbaren Stromerzeugung genutzt werden können und dadurch der Bedarf für den Bau neuer Stromtrassen verringert werden kann. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass grüner Wasserstoff zum größeren Teil in der Nähe der erneuerbaren Stromerzeugung produziert werden wird, also zum Beispiel in Regionen mit guten Bedingungen für die erneuerbare Stromerzeugung im Norden Deutschlands und angrenzenden europäischen Ländern (v. a. Nordsee-Anrainer). Von dort könnte der Wasserstoff mit Pipelines oder ggf. Schiffen zu den Verbrauchsschwerpunkten transportiert werden. Die Herstellung von substantiellen Mengen grünen Wasserstoffs erfordert entsprechend große zusätzliche Mengen an Strom aus erneuerbaren Energien. Unter anderem um diese Zusätzlichkeit sicherzustellen, sollten Nachhaltigkeitskriterien sowohl für inländischen als auch importierten Wasserstoff definiert werden [7].

Perspektivisch könnte zusätzlich ein Weltmarkt für grünen Wasserstoff entstehen und dieser auch aus Regionen im weiter entfernten Ausland mit sehr günstigen Produktionsbedingungen nach Deutschland importiert werden (z. B. aus der MENA-Region, Chile oder Argentinien). Konkret zielen z. B. die aktuellen Vorschläge der IEA [8] unter anderem darauf ab, entsprechende Infrastrukturen zu entwickeln und Pilotregionen für die Wasserstoffanwendung in Seehäfen zu schaffen. Insbe-

sondere in Japan und in Australien sind die Diskussionen zur Schaffung eines internationalen Marktes für Wasserstoff bereits fortgeschritten und auch Südkorea hat ein Interesse am Import von Wasserstoff benannt [9,10,11].

Blauer Wasserstoff, der auf Basis von Erdgas mit Abscheidung und unterirdischer Speicherung von CO₂ hergestellt wird, kann zumindest übergangsweise neben grünem Wasserstoff eine Rolle spielen. Die Nutzung von blauem Wasserstoff könnte insbesondere den Aufbau einer leistungsfähigen H₂-Infrastruktur zu frühen Zeitpunkten ermöglichen, zu denen grüner Wasserstoff noch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Eine solche „blaue“ Wasserstoffherzeugung würde voraussichtlich in der Nähe der CO₂-Speicher stattfinden, also z. B. an der Nordseeküste, um die dort etwa vor den Niederlanden, Norwegen und Großbritannien gelegenen potenziellen Lagerstätten nutzen zu können. Auch dieser Wasserstoff könnte z. B. über umgenutzte Erdgasleitungen zu den Verbrauchern gelangen. Alternativ könnte Wasserstoff (aus Erdgas) in der Nähe der Verbrauchsschwerpunkte erzeugt und das abgetrennte CO₂ über Binnenschiffahrtsrouten zu geeigneten CO₂-Lagerstätten im Ausland transportiert werden.

Benötigte Infrastrukturen

Es scheint klar, dass Wasserstoff in den oben skizzierten Dimensionen nur dann in Deutschland eingesetzt werden kann, wenn rechtzeitig eine leistungsfähige

Infrastruktur aufgebaut wird. Große Verbrauchsschwerpunkte müssen über Pipelines mit den Erzeugungsschwerpunkten (die vielfach an der Küste liegen) und/oder mit den entsprechenden Importhäfen verbunden werden. Da der Beimischung von Wasserstoff ins Erdgasnetz technische Grenzen gesetzt sind und viele industrielle Verbraucher reinen Wasserstoff benötigen, ist es sinnvoll, im Zeitverlauf ein eigenes Transportnetz für reinen Wasserstoff aufzubauen. Dazu könnten – zusätzlich zu dem zwischen Antwerpen und Rotterdam sowie an Rhein-Ruhr bereits existierenden Pipelinennetz – Teile des perspektivisch durch den Rückgang der Erdgasförderung in den Niederlanden freiwerdenden Erdgasnetzes zu Wasserstoffleitungen umgerüstet werden. Diese Pipelines könnten größere Teile Nordwestdeutschlands mit den Küstenregionen der Niederlande und Niedersachsens verbinden.

Entsprechende Pläne werden u. a. vom niederländischen Gasnetzbetreiber Gasunie vorangetrieben. Aber auch die Industriecluster in Rotterdam und Amsterdam arbeiten am Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen und entsprechenden Pilotprojekten, wobei es sowohl Pläne gibt, blauen Wasserstoff aus Erdgas mit CCS, als auch grünen Wasserstoff aus Offshore-Windstrom zu erzeugen.

Entscheidend wird es sein, hier eine länderübergreifende Vision zur Entwicklung von Wasserstoffinfrastrukturen und -anwendungen insbesondere mit den Niederlanden zu entwickeln. Diese Vision könnte auf

Tab.: Wasserstoffnutzung in Deutschland im Jahr 2050 in -95 %-Minderungsszenarien im Vergleich

TWh		[1]	[2]	[2]	[3]	[4]	[5]	[5]
		95 %-Pfad	EL95	TM95	GreenEE	95 %-H ₂ **	-95 % EL	-95 % H ₂
Industrie	Primärstahl (DRI)	0 (CCS)	24	24	66		80	80
	Sonstige Industrie (Endenergie)	0 (CCS)	13	40	31	190	38	150
	Feedstock (synth. Kraftstoffe/Chemie)*	2	0	0	0	34	25	25
Verkehr		25	120	92	0	215	55	219
Strom- und Wärmeerzeugung		ca. 24 (über CH ₄)	12	13	0	52	123	19
Haushalte und GHD		0	0	0	0	45	36	169
Gesamt		51	169	169	97	536	357	662

* Obergrenze bei heutiger Produktionsmenge: ca. 225 TWh ** Das Szenario 95 %-E-Methan aus dieser Studie [4] ist hier nicht dargestellt.

europäischer Ebene als grenzüberschreitende Infrastruktur bzw. „Project of Common Interest“ gefördert werden.

Herausforderung des schrittweisen Infrastrukturaufbaus

Die Herausforderung besteht darin, schrittweise eine Infrastruktur aufzubauen, die mit robusten, kleinräumigeren Elementen beginnt und dann im Lauf der Zeit erweitert und vernetzt werden kann, die aber gleichzeitig in der Lage ist, industrielle Pilot- und Großprojekte rechtzeitig mit ausreichenden Mengen an Wasserstoff zu versorgen.

Schon jetzt entstehen an vielen Standorten in Deutschland Projekte zur Herstellung und Nutzung von klimafreundlichem Wasserstoff. Elf geplante Vorhaben zu Wasserstofftechnologien und Sektorenkopplung sind als Reallabore vom BMWi für eine Förderung vorgesehen. Da eine deutlich größere Zahl von Vorschlägen eingereicht wurde, soll der Förderrahmen ausgeweitet werden. Ebenso planen mehrere Stahlhersteller nach ersten Pilot- und Demophasen bereits im kommenden Jahrzehnt großmaßstäbliche Anlagen auf Wasserstoffbasis. Daneben könnten Teile der bisherigen Wasserstoff-Herstellung auf der Basis fossiler Rohstoffe in der Chemischen Industrie, der Stahlindustrie und in den Raffinerien auf Wasserstoff-Produktion durch standortnahe Elektrolyse mit erneuerbaren Energien umgestellt werden. Weitere Einsatzbereiche von grünem Wasserstoff ergeben sich in den Raffinerien, auch hier sind Projekte in Deutschland geplant oder befinden sich schon in der Umsetzung. Wenn CO₂-frei erzeugter Wasserstoff im Rahmen der Minderungsquoten bei Kraftstoffen anrechenbar gemacht wird, würden starke Anreize für die Nutzung in Raffinerien entstehen.

Auch wenn die derzeitigen Pilotprojekte vorwiegend dort entstehen, wo Erzeugungspotenziale und Verbrauch räumlich benachbart sind, wird es sehr bald darum gehen, beide über entsprechende Pipelinesetze zu verknüpfen und so die Basis für ein wachsendes Wasserstoffnetz zu schaffen. Mehrere derzeit geplante Projekte unter Beteiligung von Ferngasnetz-

betreibern haben zum Ziel, entsprechende erste Pipeline-Transportstrukturen für Wasserstoff durch eine Nutzung bestehender Erdgasleitungen zu schaffen.

Bereits im kommenden Jahrzehnt könnten größere Mengen Wasserstoff an zentralen Industriestandorten nachgefragt werden. Allein Thyssenkrupp erwartet für den Standort Duisburg einen kontinuierlich steigenden Wasserstoffbedarf, der für 2025 mit gut 2 TWh und für 2030 mit 6 TWh abgeschätzt wird. Idealerweise werden solche Mengen über Pipelines von relativ kostengünstigen Produktionsstandorten an der Küste bereitgestellt. Um bereits in fünf bis zehn Jahren über die entsprechenden großmaßstäblichen Infrastrukturen zu verfügen, müsste schon sehr bald mit der Umstellung geeigneter Erdgaspipelines begonnen, und geeignete regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden.

Fazit / „Henne-Ei-Problem“ vermeiden

Die Rolle von Wasserstoff in einem zukünftigen Energiesystem wird seit mehreren Jahrzehnten diskutiert und beforscht. Die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens sowie die aktuellen Diskussionen auf EU-Ebene, Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen, verdeutlichen den erheblichen Handlungsdruck beim Klimaschutz. Dieser Handlungsdruck hat das Potenzial, Wasserstoff in den kommenden Jahren zum Durchbruch zu verhelfen. Zum einen wird immer klarer, dass im Verkehrssystem die Abkehr von fossilen Treibstoffen bevorsteht und dies auch mithilfe von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen erfolgen wird. Zum anderen zeigt sich, dass die weitgehende Treibhausgasreduzierung in wichtigen Industrien wie z. B. der Stahlerzeugung und Grundstoffchemie voraussichtlich größere Mengen an emissionsfrei erzeugtem Wasserstoff benötigen wird.

Wenn es gelingt, Kapazitäten zur großmaßstäblichen Wasserstoffherzeugung, eine zentrale Pipelineinfrastruktur und entsprechende Importstrukturen aufzubauen, könnte sich Wasserstoff schon in wenigen Jahren zu einem wichtigen

Standbein der Energiewende entwickeln. Hierfür werden rasche und weitreichende Entscheidungen von Industrie, Infrastrukturbetreibern und Politik auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene erforderlich sein, damit die Entwicklung nicht durch das „Henne-Ei-Problem“ stecken bleibt. Gleichzeitig müssen die entsprechenden Entscheidungen im engen Dialog mit der Bevölkerung getroffen werden, damit die benötigten Infrastrukturen und neuen Anlagen auch von der Öffentlichkeit und den unmittelbar Betroffenen akzeptiert werden können.

Literatur:

- [1] BDI: Klimapfade für Deutschland. Boston Consulting Group und Prognos im Auftrag des BDI, 2018.
- [2] dena: Leitstudie integrierte Energiewende. Gutachterbericht von ewi Energy Research & Scenarios GmbH im Auftrag der dena. Berlin, 2018.
- [3] UBA: Ressourcenschonendes und treibhausgasneutrales Deutschland. Szenario GreenEe. UBA, Dessau-Roßlau 2019.
- [4] UBA: Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors. UBA, Dessau-Roßlau 2019.
- [5] LBST (Ludwig Bölkow Systemtechnik): Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen. Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019.
- [6] Arens, M.; Vogl, V.: Can we find a market for green steel? Steel Times International, www.steeltimesint.com, May/June 2019, 59-61.
- [7] Kasten, P.; Heinemann, C.: Kein Selbstläufer: Klimaschutz und Nachhaltigkeit durch PtX. Öko-Institut, Freiburg, Berlin, Darmstadt, 2019.
- [8] IEA: The Future of Hydrogen. IEA, Paris, 2019.
- [9] Nagashima, M.: Japan's Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications. Études de l'Ifri, Ifri Centre for Energy, Paris, 2018.
- [10] Bruce, S.; Temminghoff M.; Hayward J.; Schmidt E.; Munnings C.; Palfreyman D.; Hartley P.: National Hydrogen Roadmap. CSIRO, Australia, 2018.
- [11] Shin, J.-H.: [Hydrogen Korea] „Hydrogen economy act will be passed this year“, Korea Herald 2018, <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20180828000705>

S. Lechtenböhrer, S. Samadi, A. Leipprand und C. Schneider; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org