

Nationale Wasserstoffstrategie

Künftige Wasserstoffpreise und Auswirkungen auf die Nachfrage

In der deutschen Wasserstoffstrategie wird von einem schnellen Anstieg von Angebot und Nachfrage ausgegangen. Doch die künftigen Wasserstoffpreise sind mit großen Unsicherheiten behaftet und werden eher unterschätzt. Deshalb sollte eine Konzentration auf die Bereiche erfolgen, die den Wasserstoff und seine Derivate unbedingt benötigen.

Von Martin Wietschel

In der Überarbeitung der nationalen Wasserstoffstrategie hat die Bundesregierung festgelegt, bis 2030 in Deutschland 10 Gigawatt Elektrolyse-Kapazität aufzubauen zu wollen (Bundesregierung 2023). Unter Auswertung der gängigen Szenarien wird darin für das Jahr 2030 von einem prognostizierten Bedarf in Höhe von 95 TWh bis 130 TWh und für 2045 von 290 bis 440 TWh ausgegangen. Zur Einordnung: Die aktuelle jährliche Endenergiennachfrage in Deutschland liegt bei 2500 TWh. Rund 50 % bis 70 % sollen durch Importe aus dem Ausland in Form von Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten gedeckt werden.

Die künftige Wasserstoffnachfrage hängt von Klimazielen und Preisentwicklung ab

Riemer et al. (2022) zeigen auf der Basis der Auswertung vieler internationaler Studien, dass bei ambitionierten Klimazielen die globale Nachfrage nach Wasserstoff bis 2050 bei 4 % bis 11 % des Endenergiebedarfs liegen könnte. Als ein wesentlicher Treiber dafür werden die Klimaziele gesehen. Je ambitionierter sie sind, desto höher fällt die prognostizierte Wasserstoffnachfrage aus. Gerade bei Treibhausgasminderungszielen von 80 % und mehr sehen fast alle Studien einen relevanten Wasserstoffbedarf in 2050.

Verschiedene Studien demonstrieren in ihren technisch-ökonomischen Analysen, dass das globale erneuerbare Potenzial ausreicht, um diesen prognostizierten globalen Wasserstoffbedarf durch grünen Wasserstoff zu decken (siehe Franzmann et al. 2023 und Shirizadeh et al. 2023). Dies gilt selbst, wenn man deutlich einschränkende Kriterien zugrunde legt und etwa einen Ausschluss von Regionen mit Wasserstress oder von geopolitisch instabilen Regionen vornimmt (siehe

Pfennig et al. 2021 und Forschungszentrum Jülich et al. 2023). Somit wird neben den Klimazielen der Preis von Wasserstoff ein wesentlicher Faktor sein, der die Nachfrage bestimmt.

Aktuell noch relevante Lücke zwischen Angebot und künftigem Bedarf

Derzeit besteht noch eine relevante Lücke zwischen den künftigen Bedarfen und den tatsächlichen Aktivitäten zum Aufbau der Produktionskapazitäten. Wie die IEA in ihrem aktuellen Review (IEA 2023 b) aufzeigt, ist zuletzt die Zahl der angekündigten Projekte zur emissionsarmen Wasserstofferzeugung deutlich angestiegen. Allerdings haben nur 4 % dieser potenziellen Anlagen eine endgültige Investitionsentscheidung getroffen. Auch die Zahl an Herstellern von Elektrolyseuren, die ehrgeizige Expansionspläne angekündigt haben, nimmt rasch zu. Derzeit sind aber nur 0,7 GW an Elektrolyseleistung weltweit installiert (IEA 2023 b). Die IEA-Studie benennt aktuelle Hemmnisse: Die Interessen und die Politik möglicher Exportländer sind nicht immer auf einen Export orientiert. Mögliche Investitionen werden durch fehlende Planungssicherheit gehemmt. Die Ausrüstungs- und Finanzierungskosten steigen und Banken werden skeptischer. Eindeutige Bekenntnisse zum Schaffen von Produktionskapazitäten einerseits und Abnahmезusicherungen vonseiten der Nutzer andererseits sind selten. Die Regulierung ist international unterschiedlich, was grenzübergreifende Vorhaben bremst. Verschiedene geopolitische Krisenherde schaffen neue Unsicherheiten.

Weiterhin benötigt der Aufbau der Produktionskapazitäten und Transportinfrastrukturen Zeit. Die Herstellung von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten verlangt hohe Investitionen, und über die gesamte Herstellungs-, Transport- und Einsatzkette fallen in der Regel vergleichsweise hohe Energieverluste an, sodass Wasserstoff und seine Derivate im Vergleich eher etwas teurere Energieträger sein werden.

Um allerdings 10 % des Endenergiebedarfs durch Wasserstoff und seine Derivate decken zu können, werden circa 3.500 GW Elektrolyseleistung benötigt. Weiterhin bräuchte man, wenn man die Nachfrage durch grünen Wasserstoff decken will, dafür circa 4.500 GW an erneuerbarer Stromproduktionsleistung. Derzeit beträgt die gesamte weltweit installierte erneuerbare Stromproduktion 3.100 GW. Das heißt, man müsste die installierte erneuerbare Leistung um rund 130 % erhöhen, um allein den Bedarf für grünen Wasserstoff und seine

Derivate abdecken zu können. Dabei ist zu beachten, dass die Erneuerbaren etwa zur Substitution bestehender fossiler Anlagen auch noch ausgebaut werden müssen. Zudem müssten für kohlenstoffhaltige Wasserstoffderivate noch „Direct Air Capture“-Anlagen gebaut werden, die ebenfalls nur mit Erneuerbaren zu betreiben sind, wenn man treibhausgasneutral sein will. Diese Anlagen sind derzeit noch nicht kommerziell verfügbar. Und auch entsprechende Syntheseanlagen müssten errichtet werden.

Die mögliche Preisentwicklung ist sehr unsicher

Wie die vorangestellten Ausführungen gezeigt haben, hinkt die aktuelle Entwicklung beim Aufbau von Produktions- und Infrastrukturkapazitäten einer möglichen Nachfrageentwicklung hinterher, was sich auf die Marktpreise auswirken könnte (siehe auch Wietschel et al. 2024). Derzeit herrscht noch eine große Unsicherheit bezüglich der Entwicklung der Wasserstoffpreise. Bisherige Analysen zur Wirtschaftlichkeit von Wasserstoffpreisen basieren in der Regel auf der Berechnung möglicher Herstell- und Transportkosten und weisen eine hohe Bandbreite auf. Die Auswertung verschiedener Studien zu den Versorgungskosten für grüne chemische Energieträger an der europäischen Grenze (Genge et al. 2023) zeigt erhebliche Unterschiede, wobei für alle Energieträger ein Faktor vier im Jahr 2030 und Faktor fünf im Jahr 2050 identifiziert wurde. Als Hauptfaktoren für die Kostenunterschiede wurden die Produktionskosten identifiziert, die insbesondere von den gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten und den Investitionen für erneuerbare Energiequellen, Elektrolyseure und trägerspezifische Umwandlungsprozesse abhängen. Auch die Transportkosten tragen zu den Unterschieden bei, die hauptsächlich von der Wahl des Energieträgers und den gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten beeinflusst werden. Die verschiedenen Studien nehmen hier teilweise deutlich unterschiedliche Werte an, insbesondere hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung (siehe Franzmann et al. 2023). Ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet sind die Kostendegressionen aufgrund von Größeneffekten (siehe IEA 2020). Einige Studien berücksichtigen zudem nicht alle Kostenbestandteile, etwa die Kosten für Transport oder für die Speicherung in Häfen, die laut IEA (2023a) und Ishimoto et al. (2020) jedoch sehr hoch sein können.

Zusätzlich werden in den Studien oft nur die reinen Herstellkosten ohne Steuern und Abgaben ausgewiesen. Auch werden keine Gewinnaufschläge, keine F & E-Kosten, keine Vertriebskosten etc. berücksichtigt. Zudem funktionieren eine Wirtschaft beziehungsweise ein Markt nicht auf der Basis von Herstellkosten. Die Analyse anderer Energiemarkte wie der Öl- und Gasmärkte zeigt, dass die Importpreise auch wesentlich durch weitere Faktoren wie Knappheiten oder strategischem Verhalten geprägt sind und oftmals weit über den Explorations- und Transportkosten liegen. Eine ökonomische Bewer-

tung von Wasserstoff- und Derivatimporten muss deshalb über die reine Analyse der Herstellkosten hinausgehen (siehe Wietschel et al. 2021).

Unterschätzte Preise – Fokussierung auf bestimmte Anwendungen nötig

Wenn es auch noch viele Unsicherheiten gibt, kann man bilanzieren, dass künftige Marktpreise tendenziell eher unterschätzt werden. Grüner Wasserstoff und seine Derivate werden kurz- und mittelfristig wahrscheinlich eher knapp und teuer sein (siehe z. B. SRU 2021, Wachsmuth et al. 2021, Odenweller et al. 2022, Ansari et al. 2023, Wietschel et al. 2023).

In Wietschel et al. (2023) werden die Preiselastizitäten der Wasserstoffnachfrage in den einzelnen Anwendungsbereichen berechnet. Ein Kernergebnis ist, dass ein sehr wichtiger Treiber für die Nachfrage von Wasserstoff die sogenannten „No Regret“-Anwendungen sind. Dies sind Anwendungen, bei denen nach heutigem Kenntnisstand kaum andere ökonomisch attraktive Technologieoptionen zur Verfügung stehen, um die ambitionierten Treibhausgasminderungsziele von Deutschland zu erreichen. Sie sind somit weitgehend preisunelastisch. Dies sind insbesondere die stoffliche und energetische Nutzung in bestimmten Anwendungen der Industrie (Stahlsektor, Grundstoffchemie). Die Analysen in Wietschel et al. (2023) zeigen, dass die Nachfrage hier in 2045 250 TWh beträgt, was 10% des heutigen Endenergiebedarfs von Deutschland entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, dass es zu keinen Standortverlagerungen ins Ausland kommt. Der internationale Flug- und Schiffsverkehr weist ebenfalls eine hohe preisunelastische Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen zur Treibhausgasminderung auf (209 TWh in 2045). Weil diese Sektoren somit wohl vorrangig Wasserstoff und biogene Syntheseprodukte nachfragen werden, folgt daraus aber auch, dass günstiger Wasserstoff in den anderen Sektoren eher nicht zur Verfügung stehen wird. Gerade bei weiteren Verkehrsanwendungen (Pkw, Lkw, Busse, Schienenfahrzeuge sowie der nationale Flug- und Schiffsverkehr), bei denen die direkte Elektrifizierung oft eine Alternative bietet, zeigen die Berechnungen, dass Wasserstoff nur dann in größerem Umfang zum Einsatz kommt, wenn er sehr günstig zur Verfügung steht.

Eine Wasserstoffstrategie sollte deshalb klare Präferenzen auf die Bereiche setzen, in denen sie unbedingt benötigt werden, um die Klimaziele zu erreichen und Fehlallokationen zu vermeiden.

Literatur

Ansari, D./Pepe, J. M. (2023): Toward a hydrogen import strategy for Germany and the EU Priorities, countries, and multilateral frameworks. SWP Working Paper Nr. 01, June 2023. Berlin, Stiftung Wissenschaft und Politik. www.swp-berlin.org/publications/products/arbeitspapiere/Ansari_Pepe_2023_Hydrogen_Import_Strategy_WP.pdf

Bundesregierung (2023): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie NWS 2023. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Forschungszentrum Jülich et al. (2023): H2 ATLAS-AFRICA. Jülich, Forschungszentrum Jülich. www.h2atlas.de/de

Genge, L./Scheller, F./Müsgen, F. (2023): Supply costs of green chemical energy carriers at the European border: A meta-analysis. In: International Journal of Hydrogen Energy 48/98: 38766–38781. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.06.180

Franzmann, D. et al. (2023): Green hydrogen cost-potentials for global trade. In: International Journal of Hydrogen Energy 48/85: 33062–33076. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.012

IEA (2020): Energy technology perspectives 2020. Paris, International Energy Agency. www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020

IEA (2023 a): Technology Perspectives 2023. Paris, International Energy Agency. www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023

IEA (2023 b): Global Hydrogen Review 2023. Paris, International Energy Agency. www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023

Ishimoto, Y. et al. (2020): Large-scale production and transport of hydrogen from Norway to Europe and Japan: Value chain analysis and comparison of liquid hydrogen and ammonia as energy carriers. In: International Journal of Hydrogen Energy 45/2020: 32865–32883. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.09.017

Pfennig, M./von Bonin, M./Gerhardt, N. (2021): PTX-Atlas – Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen. Teilbericht im Rahmen des Projektes: DeV-KopSys. Kassel, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik.

Riemer, M./Zheng, L./Pieton, N./Eckstein, J./Kunze, R./Wietschel, M. (2022): Future hydrogen demand: A crosssectoral, multiregional meta-analysis. HYPAT Working Paper 04/2022. Karlsruhe, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.

Shirizadeh, B. et al. (2023): Towards a resilient and cost-competitive clean hydrogen economy: the future is green. In: Energy Environmental Science 16/2023: 6094–6109. DOI: 10.1039/D3EE02283H

SRU (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse. Stellungnahme. Berlin, Sachverständigenrat für Umweltfragen.

Odenweller, et al. (2022): Wasserstoff und die Energiekrise: fünf Knackpunkte. Kopernikus-Projekt Ariadne. Berlin, Ariadne Projekt. <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-und-die-energiekrise-funf-knackpunkte>

Wachsmuth, J. (2021): The potential of hydrogen for decarbonising EU industry. Brussels, European Parliament. www.europarl.europa.eu/

RegData/etudes/STUD/2021/697199/EPRS_STU(2021)697199(ANN1)_EN.pdf

Wietschel, M. et al. (2021): Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: von Kosten zu Preisen. HYPAT Working Paper 01/2021. Karlsruhe, Fraunhofer ISI. https://hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HYPAT_Working-Paper-01_2023_Preiselastische-Nachfrage.pdf

Wietschel, M./Weißenburger, B./Rehfeldt, M./Lux, B./Zheng, L./Meier, J. (2023): Preiselastische Wasserstoffnachfrage in Deutschland – Methodik und Ergebnisse. HYPAT Working Paper 01/2023. Karlsruhe, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HYPAT_Working-Paper-01_2023_Preiselastische-Nachfrage.pdf

Wietschel, M./Weißenburger, B./Wachsmuth, J./Müller, V. P. (2024): Was wissen wir über Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten und was lässt sich daraus für eine deutsche Importstrategie ableiten? HYPAT Impulspapier Nr. 1/2024. Karlsruhe, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2024/HYPAT_Impulspapier_Importstrategie_Wasserstoff.pdf

AUTOR + KONTAKT

Prof. Dr. Martin Wietschel ist Leiter des Competence Centers Energietechnologien und Energiesysteme am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.



Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe.
Tel.: +49 721 6809-254,
E-Mail: martin.wietschel@isi.fraunhofer.de,
Internet: www.isi.fraunhofer.de

GAIA Masters Student Paper Award

The international journal GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society invites Masters students to participate in the
2025 GAIA Masters Student Paper Award.

Submission guidelines and more information:
www.oekom.de/zeitschriften/gaia/student-paper-award
 Deadline for submission: November 25, 2024.

The winner will be selected by an international jury and will be granted a prize money of EUR 1,500 endowed by the Selbach Umwelt Stiftung and Dialogik gGmbH, as well as a free one-year subscription to GAIA, including free online access. The winner may also be encouraged to submit his or her paper for publication in GAIA.



Selbach Umwelt Stiftung



Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft

Die Rolle der nationalen Wasserstoffstrategie für eine effiziente Dekarbonisierung in Deutschland

Zur Förderung des Hochlaufs einer deutschen Wasserstoffwirtschaft gibt es seit 2020 eine nationale Wasserstoffstrategie. Sie wurde 2023 von der Ampelregierung überarbeitet. Setzt sie angemessene Leitlinien für die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland?

Von Frieder Schmelzle und Florian Kern

Wasserstoff ist ein zentraler Baustein der Energiewende. Wird er klimaneutral produziert, etwa mittels Elektrolyse und erneuerbar generiertem Strom (sogenannter „grüner“ Wasserstoff), steht stofflich gespeicherte Energie bereit, die vielseitig nutzbar ist. Zu unterscheiden sind hierbei einerseits Anwendungen, die neben Wasserstoff oder seinen Folgeprodukten (zum Beispiel synthetische Kraftstoffe) auch auf andere regenerative Energieträger zurückgreifen können. Beispiele sind Kraftfahrzeuge oder Gebäudeheizungen. Hierfür stehen andere marktfähige Technologien bereit, etwa mit grünem Strom betriebene Fahrzeuge und Wärmepumpen (siehe Beitrag von Clausen in diesem Heft). Andererseits gibt es sogenannte „No Regret“-Anwendungen, die mangels Alternativen auf absehbare Zeit darauf angewiesen sind, Wasserstoff zur Dekarbonisierung zu nutzen. Hierzu gehört die Herstellung von Stahl oder chemischen Grundstoffen. Eine Priorisierung solcher Anwendungen erscheint sinnvoll, da grüner Wasserstoff absehbar knapp und teuer bleibt (siehe Beitrag von Wieteschel in diesem Heft). Spiegelt die deutsche Wasserstoffstrategie dies wider?

Entstehung und Weiterentwicklung der nationalen Wasserstoffstrategie

Die Bundesregierung legte 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) vor. Sie definiert Maßnahmen, die einen politischen Rahmen für Produktion, Transport und Nutzung von Wasserstoff setzen sollen. Die NWS ist Teil eines breiteren Policy-Mixes auf Bundesebene (definiert als relevante politische Ziele und Instrumente), dessen Entstehung 2006 mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoff-

zellentechnologie (NIP) begann. Das NIP hatte insbesondere die technologische Entwicklung von Brennstoffzellen in Deutschland und den Aufbau von Wertschöpfungsketten zum Ziel und mobilisierte dafür rund 1,4 Milliarden Euro an Fördermitteln (BMVBS et al. 2006; BMVI/BMWi 2017). Im Jahr 2016 wurde das NIP für weitere zehn Jahre aufgelegt (NIP II) mit dem Ziel, Mobilität mit Brennstoffzellen wettbewerbsfähig zu machen (BMVI/BMWi 2017). Hierfür wurden circa 1,3 Milliarden Euro Fördermittel und private Investitionen aufgewendet (NOW 2022). Im Rahmen des Corona-Konjunkturpaketes wurden 2020 rund 7 Milliarden Euro für die Förderung von Wasserstofftechnologien in Deutschland und 2 Milliarden Euro für internationale Partnerschaften bereitgestellt (Bundesregierung 2020 a). Diese Schritte markieren den Entstehungskontext der NWS.

Im Zeitverlauf ist der Klimaschutz als Ziel stärker in den Mittelpunkt der deutschen Wasserstoffpolitik gerückt (Kern et al. 2023). Die deutsche Industrie soll weitestmöglich „in eine auf grünem Wasserstoff basierende Produktion überführt werden“ (Bundesregierung 2020 b: 6). In der Fortschreibung der Strategie (NWS II) wurden die strategischen Leitplanken der NWS weitestgehend bekräftigt (Bundesregierung 2023). „No Regret“-Anwendungen werden nicht explizit priorisiert, aber als hauptsächliche Anwendungsbereiche zu Beginn des Markthochlaufs genannt. Im Vergleich zur NWS verdoppelte die Fortschreibung das Ziel der angestrebten Elektrolysekapazität in Deutschland von 5 GW auf mindestens 10 GW. Während die NWS II langfristig nur grünen Wasserstoff als nachhaltige Lösung sieht, wird davon ausgegangen, dass zunächst auch blauer Wasserstoff eine Rolle spielen wird (zur Diskussion hierzu siehe Beitrag von Keßler in diesem Heft). Er wird aus Erdgas gewonnen und der Großteil des CO₂ abgeschieden und gespeichert, was aufgrund von Restemissionen langfristig nicht nachhaltig ist. Gleichzeitig ist die Gaswirtschaft daran interessiert, blauen Wasserstoff als Zwischenlösung zu etablieren (Deckwirth/Katzemich 2023).

Was die nationale Wasserstoffstrategie leistet – und was nicht

Die Bewertung der NWS II fällt gemischt aus. Einerseits ist eine zentrale Strategie grundsätzlich notwendig und hilfreich, um den Markthochlauf zu unterstützen. Auch ist sie in ihren