



Wasserstoff als Erfolgsfaktor der Energiewende

Die ungelösten Fragen des Wasserstoff-Markthochlaufs

Agon Kamberi, Arif Reiner Schütze, Helmut Kergel

September 2023

Die ungelösten Fragen des Wasserstoff-Markthochlaufs

Inhalt

- I. **EU-Definition „erneuerbarer Wasserstoff“ und RED-Richtlinie – eine Kurskorrektur?**
- II. **Herausforderungen der Standardisierung und Normung von Wasserstofftechnik**
- III. **Industrielle Erzeugung von Wasserstoff und Transportoptionen aus dem Ausland**
- IV. **Umwidmung der Gasnetze oder neue Wasserstoffinfrastruktur?**
- V. **Anwendungsfelder und Vorbereitung der Markteinführung einer Querschnittstechnologie – wo soll der Wasserstoff zum Einsatz kommen?**
- VI. **Welche Rolle kann die Digitalisierung beim Wasserstoff-Markthochlauf spielen?**
- VII. **Förderung des Markthochlaufs von Wasserstoff**
- VIII. **Ausblick und Handlungsempfehlungen**
- IX. **Glossar**
- X. **Über die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH**

Der Aufbau einer internationalen Wasserstoffwirtschaft und entsprechende wechselseitige Kooperationen stehen noch am Anfang. Seit dem Jahr 2017 haben mehr als 30 Staaten auf internationaler Ebene strategische Pfade zur Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft verabschiedet. Die Erwartungen sind groß, dass Wasserstoff zum „Game Changer“ für die Defossilisierung wird und einen entscheidenden Beitrag für den globalen Klimaschutz leistet.

In Fachkreisen werden aktuell Stimmen laut, die einen raschen Übergang von der Forschung in die Anwendung fordern, da die Technologie im Grunde für ausgewählte technische Anwendungen bereits erprobt ist. Die Technologie verspricht im großtechnischen Maßstab weitere Verbesserungspotenziale, die letztlich durch Skaleneffekte ein wirtschaftliches Potenzial in der Zukunft ermöglichen sollen. Die Hochskalierung wurde bislang allerdings zu wenig untersucht.

Die dafür notwendige Infrastruktur muss jedoch in einer bisher unbekanntem Geschwindigkeit aus- bzw. aufgebaut werden. Ein grundsätzliches Problem liegt in den bisher fehlenden rechtlichen Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene und in

der Europäischen Union (EU). Dies führt zu Planungsunsicherheiten und Zurückhaltung bei den Akteuren.

Zurecht wird von Politik, Industrie und Zivilgesellschaft inzwischen immer häufiger die Frage gestellt, wann die Voraussetzungen für eine Markteinführung der Wasserstofftechnologien soweit gegeben sind und daraufhin mit einer breiten, flächendeckenden Anwendung von Wasserstoff und dessen Folgeprodukten zu rechnen ist.

Das vorliegende Impulspapier analysiert gesamtheitlich, welche Schritte für den Markthochlauf von Wasserstoff gegangen werden müssen und welche offenen Fragen als Voraussetzung für eine Markteinführung der Technologie politisch, technisch und rechtlich gelöst werden müssen. Welche Hemmnisse bestehen aktuell entlang der Wertschöpfungskette und welche Fragestellungen diesbezüglich sind noch ungelöst?

Aufgezeigt wird die aktuelle Ausgangslage mit den wichtigsten Fragestellungen sowie Zusammenhängen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die für einen schnellen Markthochlauf von Wasserstoff entscheidend sind. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass anwenderseitig hier zunächst nur die Sektoren Industrie, Strom und der Verkehr betrachtet werden, der Sektor Wärme dagegen nicht.

Die Abschnitte eins bis sieben sind als einzelne Stränge zu verstehen, welche parallel politisch bzw. technisch verfolgt werden und aufeinander Einfluss haben.

Das Bundeskabinett hat am 26. Juli 2023 die Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) beschlossen und darin den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft breit adressiert. Das vorliegende Impulspapier entstand parallel dazu. Es behandelt viele der dort identifizierten Hemmnisse und geht in einzelnen Aspekten darüber hinaus, um einen möglichen Weg zum erfolgreichen Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft aufzuzeigen.

I. EU-Definition „erneuerbarer Wasserstoff“ und RED-Richtlinie – eine Kurskorrektur?

Eine der größten Unstimmigkeiten auf internationaler Ebene, sowie auch innerhalb der EU, ist die grundsätzliche Definition von grünem Wasserstoff und was diesen von Wasserstoff aus fossilen Quellen abgrenzt.

Im weltweiten Vergleich wird strategisch ein Strommix zur Erzeugung von Wasserstoff verfolgt. Dieser kann auch Atomstrom enthalten, wie unter anderem in den USA, Kanada, Frankreich und Australien. In Deutschland steht hingegen ausschließlich die Erzeugung von grünem Wasserstoff über erneuerbaren Strom zur Diskussion. Hierbei ist zu beachten, dass eine ausschließliche Nutzung Erneuerbarer Energien (EE) zur Wasserstoffherzeugung eine längere Umstellungszeit benötigt bzw. geringere installierte Kapazitäten nach sich ziehen würde.¹ Die unterschiedlichen Herangehensweisen erschweren eine einheitliche Definition grünen Wasserstoffs auf internationaler Ebene.

Ende März 2023 wurde eine umfassende Neugestaltung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (engl. Renewable Energy Directive (RED) III) angekündigt, in der der Zielwert des Anteils von EE in verschiedenen Sektoren deutlich angehoben werden soll.²

Laut der aktuellen RED II und den delegierten Rechtsakten müssen bestimmte Kriterien erfüllt sein, um die Voraussetzung für erneuerbaren Wasserstoff zu erfüllen. Der Prozess muss mindestens 70 Prozent CO₂ im Vergleich zum fossilen Referenzwert einsparen, es müssen allerdings bestimmte Kriterien für den Bezug von erneuerbarem Strom eingehalten und Lieferkettennachweise vorgelegt werden. Eine wörtliche EU-Definition von grünem Wasserstoff wird es womöglich nicht geben, allerdings wird allgemein davon ausgegangen, dass Wasserstoff als „grün“ bezeichnet werden kann, wenn dieser nachweisbar und ausschließlich aus EE erzeugt wird.

Die RED II wurde kürzlich überarbeitet und die Trilog-Verhandlungen zwischen Europäischer Kommission, Rat der Europäischen Union und dem Europäischen Parlament haben eine Einigung hervorgebracht. Die Richtlinie muss noch förmlich vom EU-Parlament und dem Europäischen Rat abgenommen

werden. Künftig sollen erneuerbare Kraftstoffe mit nicht-biologischem Ursprung wie Wasserstoff und dessen Folgeprodukte neben dem Verkehrssektor auch im Industrie- und Wärmesektor zum Einsatz kommen. Die Nachhaltigkeitsanforderungen und Kriterien für den Bezug von erneuerbarem Strom für erneuerbare Kraftstoffe sind bereits in Art. 27 RED II geregelt.³

Die Strombezugs-kriterien, also eine Direktverbindung oder ein Netzanschluss mit über 90 % EE-Anteil im Stromnetz, sowie die Netz- bzw. Systemdienlichkeit sind in der Richtlinie eindeutig formuliert und aus Sicht des Innovationsförderers VDI/VDE-IT begrüßenswert.

Das dort aufgeführte Kriterium „Zusätzlichkeit“ legt dar, dass die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff auf zusätzlich installierten EE-Kapazitäten basieren soll, mit dem Ziel, den Anteil des erneuerbaren Stroms im Netz zu erhöhen. Auf diese Weise soll die Wasserstoffherzeugung zur Defossilisierung beitragen und die Elektrifizierungsbemühungen ergänzen. Der alleinige Ausbau der EE ist jedoch nicht ausreichend. Durch die hieraus resultierenden höheren Strommengen muss parallel auch das Stromnetz ausgebaut werden.

Das Kriterium der „Zusätzlichkeit“ stellt für Akteure, die ab dem Jahr 2028 in Wasserstoffherzeugungsanlagen investieren möchten, ein klares Hemmnis für einen zügigen Hochlauf einer inländischen Wasserstoffwirtschaft dar, da die wirtschaftlich günstigen Potenziale an EE und Ausbaufächen mit geeigneten Bedingungen bereits durch bestehende Anlagen belegt sind und somit ein wirtschaftlicher Betrieb von Elektrolyseuren bei Volllast kaum möglich sein wird. Somit dürfte die Wasserstoffherzeugung unter Volllast als eigenes Geschäftsmodell in Europa vorerst unattraktiv bleiben. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass EE-Anlagen abhängig vom Standort tendenziell höhere Stromerzeugungskosten hätten, was sich auf die Gestehungskosten von Wasserstoff auswirkt und somit die heimische Produktion kaum konkurrenzfähig zu Importwasserstoff macht.

In Bezug auf den delegierten Rechtsakt zu Art. 27 ist die VDI/VDE-IT der Auffassung, dass der systemdienliche Betrieb der Elektrolyseure in einem Stromsystem mit überwiegend, das heißt zu mehr als 90 %, volatilen EE-Anlagen die attraktivere Variante ist.

1 DEHEMA, acatech (Hrsg.), S. 14 f.; Internationale Wasserstoffstrategien im Vergleich, Frankfurt 12/2022. Online verfügbar unter: https://www.wasserstoff-kompass.de/fileadmin/user_upload/img/news-und-media/dokumente/2022_H2_Laenderanalyse.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023

2 Die RED ist ein Teil des „Fit for 55“-Pakets, welches die EU-Klimaziele definiert.

3 Der delegierte Rechtsakt zu Art. 27, in dem die Strombezugs-kriterien spezifiziert sind, wurde am 10. Februar 2023 verabschiedet. Mit dem delegierten Rechtsakt zu Art. 27 RED II wird der Grundsatz der „Zusätzlichkeit“, neben der Erneuerbarkeit, geografischer und zeitlicher Korrelation, sowie Netz- bzw. Systemdienlichkeit, präziser dargelegt. Selbiges gilt für den delegierten Rechtsakt zu Art. 28 RED II, der die Methodik zur Berechnung der Treibhausgasemissionsreduktion enthält, die durch die Erzeugung bzw. Nutzung von erneuerbaren Kraftstoffen erreicht werden soll.

DENA (Hrsg.), S. 27 ff.; Geschäftsmodelle für dezentrale Wasserstoffkonzepte – Zeit zum Nachsteuern, Berlin 05/2023. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/STUDIE_Geschäftsmodelle_fuer_dezentrale_Wasserstoffkonzepte_-_Zeit_zum_Nachsteuern.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023

Damit dürften Elektrolysekapazitäten in erster Linie nicht zur Erzeugung von Wasserstoff eingesetzt werden, sondern als Stütze und zur Realisierung der notwendigen Flexibilität für den zunehmenden Anteil der EE-Anlagen im Stromsystem. Durch den Einsatz von Elektrolyseuren als abschaltbare Lasten würde primär eine systemdienliche Funktion für das Stromsystem zum Tragen kommen, wobei es erst bei einem Überschuss von EE, und somit bei einem günstigen Strombezugspreis, zur Erzeugung von Wasserstoff kommen würde. Durch eine sukzessive Erhöhung des Anteils an EE- und Elektrolysekapazitäten sowie weiteren Flexibilitätsoptionen wäre der Einsatz von teuren Gas- und Dampf-Kraftwerken, Reservekapazitäten (Netzreserve, Kapazitätsreserve und Sicherheitsbereitschaft) sowie Redispatch-Maßnahmen zur Stabilisierung des Stromnetzes bzw. von Netzengpässen immer weniger erforderlich und mit Kosteneinsparungen für das Stromsystem einhergehend.

II. Herausforderungen der Standardisierung und Normung von Wasserstofftechnik

Der sicherheitstechnische Umgang mit Energiegasen wie Wasserstoff, Erdgas oder synthetischem Methan, ihre Beschaffenheit und die entsprechend angewandte Gastechnik sind in der Praxis bereits erprobt. Wasserstofftechnik wird im Industrie- und Verkehrssektor größtenteils standardisiert eingesetzt, zum Beispiel die Beschaffenheitsanforderungen von Wasserstoff, Anforderungen an Wasserstofftankstellen (derzeit in Überarbeitung), Sicherheitsnormen für Wasserstoff, Speicher und Werkstoffe in Wasserstofftechnik, Elektrolyseure (zum Teil in Überarbeitung) oder Brennstoffzellentechnik für mobile und stationäre Anwendungen (zum Teil in Überarbeitung).⁴

Die größte Herausforderung besteht derzeit darin, die existierenden Normen in internationale Standards umzuformen. Dies gilt insbesondere, wenn es darum geht, bereits existierende Gasnetze für den Transport von Wasserstoff zu ertüchtigen und sowohl diese als auch neue Wasserstoffnetze entsprechend zu zertifizieren.

In Bezug auf die Transport- und Verteilnetzinfrastruktur gibt es in Deutschland keine Standards und Normen, die sich explizit auf Wasserstoff beziehen. In diesem Fall wird auf das

Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) zurückgegriffen, welches jedoch kein separates Wasserstoff-Regelwerk enthält, sondern das bestehende Regelwerk vor allem bezogen auf ein wasserstoffhaltiges methanreiches Gas erweitert.⁵

Zu Beginn des Jahres 2023 wurde seitens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die Einrichtung eines deutschen Strategieforums für Standardisierung verkündet. Dieses Strategieforum hat seine Arbeit Ende März 2023 aufgenommen und soll bis Ende 2025 einen Überblick über den aktuellen Stand der Normung und Standardisierung im Bereich Wasserstofftechnologien schaffen und einen strategischen Fahrplan ausarbeiten. Die Normungs-Roadmap wird im Rahmen eines Verbundprojekts umgesetzt und soll Anforderungen und Herausforderungen für die gesamte Wertschöpfungskette identifizieren und Handlungsbedarfe formulieren.⁶

III. Industrielle Erzeugung von Wasserstoff und Transportoptionen aus dem Ausland

Eine günstige industrielle Produktion von erneuerbarem Wasserstoff ist an günstige Bedingungen für EE gebunden. Diese Bedingungen werden derzeit übereinstimmend größtenteils in sonnen- und windreichen Ländern verortet.

Der Standort Deutschland wird eine wichtige Rolle beim Markthochlauf der Wasserstofftechnologie spielen. Die erforderliche innovative Technologie für die industrielle Erzeugung, den Transport, die Speicherung und Anwendung von Wasserstoff sowie den Folgeprodukten wird in Deutschland entwickelt, erprobt, vermarktet und soll exportiert werden.

Die großtechnische Erzeugung von Wasserstoff in Deutschland ist nur bei sehr günstigen Strompreisen attraktiv, beispielsweise bei einem Überschuss an erneuerbarem Strom. Ein häufiger Überschuss an erneuerbarem Strom ist derzeit etwa in Schleswig-Holstein vorhanden, kann aber bisher nicht genutzt werden, weil der rechtliche Rahmen dies derzeit noch nicht zulässt und entsprechende Geschäftsmodelle noch nicht existieren.

4 DIN e.V., DKE, DVGW e.V. S. 13 ff.; Positionspapier: Mehrwerte und Vorteile durch Normen und Standards. Im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie, Berlin/Frankfurt am Main/Bonn 05/2021. Online verfügbar unter: <https://www.din.de/resource/blob/800748/937afb41a5554cbd6e9df60e9b2cfa77/21-06-din-dke-dvgw-positionspapier-wasserstoff-data.pdf>, zuletzt geprüft am 16.06.2023

5 Im „Leitfaden Gasinfrastruktur“ – Merkblatt G 221 (M) des DVGW finden sich Hinweise und Empfehlungen für Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb von Gasinfrastrukturen nach dem § 113c EnWG, sowohl für Neubau als auch für Umstellung der Gasnetze auf Wasserstoff (einschließlich wasserstoffhaltiger Gase) zur Versorgung der Allgemeinheit. S. Schrader, A. S. 8; Was heißt eigentlich H₂-ready? Voraussetzungen für die leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Wasserstoff und wasserstoffhaltigen Gasen, Bonn 06/2023. Präsentation „H₂-Readiness in der Gasbranche“ – 16. Juni 2023. Schrader, Andreas, Leiter Gasinfrastruktur beim DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

6 VDE; Pressemeldung: Normung von Wasserstofftechnologien stärkt klimaneutrale Wirtschaft. Start des Verbundprojekts Normungsroadmap Wasserstofftechnologien. Online verfügbar unter: <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/2023-03-31-normungsroadmap-h2>, zuletzt geprüft am 20.06.2023.

Die industrielle Produktion von Wasserstoff in Deutschland erfordert die Ausschöpfung der wirtschaftlichen Ausbaupotenziale und den zügigen Ausbau der EE, der aufgrund bürokratischer Hürden und offener Fragestellungen zur Akzeptanz in der Bevölkerung in den vergangenen Jahren nur langsam vorangeschritten ist. Die Produktion von heimischem Wasserstoff wird primär aus Gründen der Systemrelevanz erforderlich sein (siehe Abschnitt V).

Unter diesem Gesichtspunkt und den Kriterien der „Zusätzlichkeit“ (siehe Abschnitt I) ist der Import von Wasserstoff und dessen Folgeprodukten aus Ländern mit hohem EE-Potenzial schneller realisierbar und kostengünstiger als die inländische Produktion. Die Bundesrepublik Deutschland hat mehrere bilaterale Vereinbarungen unter anderem mit Kanada, Australien, Chile und Marokko abgeschlossen, um künftig den hohen Wasserstoffbedarf über Importe aus diesen Ländern decken zu können.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, auf welchem Weg der Wasserstoff bzw. seine Folgeprodukte nach Deutschland transportiert werden sollen. Grundsätzlich kommen zwei verschiedene Transportwege in Frage, zum einen per Pipeline und zum anderen per Schiff. Welche Option besser geeignet ist, hängt davon ab, welche Distanzen zu überbrücken sind und zu welchem Zweck die Einfuhr der Produkte bzw. Edukte benötigt wird, also ob der Wasserstoff stofflich oder energetisch genutzt werden soll.

Pipelines eignen sich für den Transport von Wasserstoff über kürzere und mittlere Distanzen. Auf Basis der Erkenntnisse zu bestehenden Gaspipelines dürfte sich der Wasserstofftransport bis zu einer Distanz von 4.000 km rentieren. Über diese Entfernung hinaus ist der Wasserstofftransport per Schiff kostengünstiger.⁷ Eine Kombination der beiden Transportoptionen dürfte langfristig interessant werden, da ein europaweites Wasserstoff-Pipelinennetz von der EU und Deutschland in ihren Strategiepapieren anvisiert wird. Im Unterschied zum Gasnetz dürfte sich beim Wasserstoffnetz jedoch eher ein Infrastrukturgeflecht mit mehreren Wasserstoffquellen und -senken bilden. Langfristig gesehen würde dadurch das Risiko einer Importabhängigkeit minimiert werden.

Die Preisentwicklung von erneuerbarem Wasserstoff für das Jahr 2030 wird in diversen internationalen Studien unterschiedlich prognostiziert, liegt jedoch im Korridor zwischen

1,50 €/kgH₂ und 6,33 €/kgH₂.⁸ Die USA definieren für ihren Markt verschiedene Zielpreise, zum Beispiel 1 \$/kgH₂ für die stationäre Energieversorgung und 2 \$/kgH₂ für den Verkehrssektor.⁹ Die Zielmarke für Wasserstoff in Europa muss jedoch unter 2 €/kgH₂ liegen, um sich flächendeckend in der breiten Anwendung durchzusetzen, vorrangig in den Sektoren Industrie und nachfolgend im Verkehr. Reiner Wasserstoff wird zunehmend in der Industrie benötigt und zwar insbesondere dort, wo hohe Prozesstemperaturen erforderlich sind, wie beispielsweise in der Eisen- und Stahlindustrie oder der Zement- und Baukalkherstellung.

Bei regenerativen (Zwischen-)Produkten wie Ammoniak oder Alkoholen, die aus erneuerbarem Wasserstoff hergestellt werden, können die bestehenden globalen Lieferwege genutzt werden, da diese bei niedrigen Drücken und Umgebungstemperatur flüssig sind (siehe Abschnitt V).

Ein Markt kann nur von der Nachfrageseite her entstehen. Auf welchem Weg und in welcher Form Wasserstoff nach Deutschland importiert wird, hängt ebenso von der Nachfrage ab. Es ist denkbar, dass Wasserstoff und seine Folgeprodukte je nach Anwendungszweck und Importmöglichkeit auf unterschiedlichen Wegen und in unterschiedlichen Mengen nach Deutschland importiert werden. Dies setzt jedoch eine sichere, ausreichend dimensionierte und flächendeckende Infrastruktur voraus.

Eine einzige Transportoption wird es nicht geben, sondern je nach nachgefragtem Produkt verschiedene Transportoptionen nebeneinander. Gemäß den politischen Zielsetzungen des EU-Pakets „Fit for 55“ ist davon auszugehen, dass lediglich erneuerbarer Wasserstoff und die entsprechenden Folgeprodukte importiert werden.

7 s. Staiß, F. et al, S. 26.; Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030, Materialband (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 11/2022. Online verfügbar unter: https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2022_ESYS_Analyse_Import_Wasserstoff_web.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023.

8 VDI, S. 24; Wasserstoff für den Schienenverkehr, Berlin 09/2022. Online verfügbar unter: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/wasserstoff-fuer-den-schienenverkehr>, zuletzt geprüft am 30.05.2023.

9 DECHEMA, acatech (Hrsg.), S. 8; Internationale Wasserstoffstrategien im Vergleich, Frankfurt 12/2022. Online verfügbar unter: https://www.wasserstoff-kompass.de/fileadmin/user_upload/img/news-und-media/dokumente/2022_H2_Laenderanalyse.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023.

IV. Umwidmung der Gasnetze oder neue Wasserstoffinfrastruktur?

Eine Beimischung von Wasserstoff zu Erdgas, die derzeit bis zu 10 Vol.-%¹⁰ erlaubt ist, findet bisher nicht statt, da sich hierdurch einerseits der Gasbezugspreis für Nutzende verteuern würde und andererseits Wasserstoff derzeit auch noch nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht.¹¹ Ein weiteres Problem der Wasserstoffbeimischung zum Erdgas ist, dass unter Verlust des höheren Brennwertes des Erdgases eventuell höhere Verbräuche bzw. höhere Kosten auf Bestandskunden und Nutzende zukommen würden, was zu Akzeptanzproblemen führen würde. Eine Umwidmung bzw. eine höhere prozentuale Beimischung von Wasserstoff auf der Gasverteilnetzebene ist aus heutiger Sicht verfrüht, da die kleinskalige Technik für Gewerbe- und Haushaltskunden, respektive auf der Gasverteilnetzebene, nicht entwicklungsreif bzw. nicht kostengünstig erhältlich ist und zusätzlich aufgebaut bzw. angepasst werden müsste. Hier könnten die Prozesse und Erkenntnisse aus der Marktraumumstellung (Umstellung von L- auf H-Gas) in West- und Nordwestdeutschland hilfreich sein.¹²

Die großflächige Versorgung von Industrie und Verkehr mit Wasserstoff erfordert eine Infrastruktur, die teilweise aus der bestehenden Erdgasinfrastruktur umgewidmet werden könnte und teilweise komplett neu aufgebaut werden muss.

Eine Umwidmung der Gasinfrastruktur, sowohl auf Fernleitungs- als auch Verteilnetzebene, ist kostengünstiger als der Neubau einer neuen Wasserstoffinfrastruktur, aber nicht in jedem Fall möglich, da Wasserstoff und Erdgas als Brückentechnologie zeitlich und örtlich parallel zum Einsatz kommen sollen. Insbesondere die Verteilnetzebene, an die verarbeitendes Gewerbe, Handel und Haushalte angeschlossen sind, ist für einen schnellen Markthochlauf von Wasserstoff grundsätzlich nicht geeignet. Für einen schnellen Markthochlauf kommen entsprechend nur Fernleitungsnetze in Frage, die für den Erdgastransport nicht mehr benötigt werden.

Die Umstellung von Erdgasleitungen für den Wasserstofftransport wird von der Bundesnetzagentur (BNetzA) ebenfalls als vorzugswürdig betrachtet, sofern nachgewiesen werden kann, dass das restliche Erdgasnetz die Versorgung weiterhin erfüllen kann.¹³

Eine angepasste Lösung für einen schnellen Markthochlauf von Wasserstoff soll nun von den Gasfernleitungsnetzbetreibern (FNB) kommen. Das Bundeskabinett hat Ende Mai 2023 den Gesetzentwurf zur Schaffung eines Wasserstoff-Kernnetzes beschlossen, welches in den kommenden Monaten von den FNB modelliert werden soll. Den FNB sind die inländischen Produktionskapazitäten bzw. energieintensiven Verbraucher und die zu bewältigenden technischen Herausforderungen wie zum Beispiel Anschlussvoraussetzungen bekannt, um ein Gasfernleitungsnetz zur Versorgung eines großen Industriestandortes auf H₂-ready¹⁴ umzuwidmen. Die FNB haben bereits im Rahmen einer Marktpartnerabfrage mehr als 31 Verbrauchssenken und -quellen im Jahr 2020 identifiziert, die Ausgangspunkt für das präsentierte „H₂-Startnetz 2030“ waren.¹⁵

Die Realisierung eines Wasserstoffnetzes, vorrangig auf Basis der bestehenden Erdgasnetze, erfordert einen stabilen regulatorischen Rahmen für die Energiegasnetze. Im Wasserstoffbericht 09/2022 der FNB, zum aktuellen Ausbaustand und zur Entwicklung einer künftigen Netzplanung, wurden eine Reihe von Empfehlungen an die BNetzA und an den Gesetzgeber adressiert.¹⁶ Unter anderem lehnen es die FNB ab, Erdgas- und Wasserstoffnetzbetrieb im Hinblick auf die EU-Regulierung zu entflechten. Allerdings plädieren sie für die Beibehaltung der bewährten Entflechtung der wettbewerblichen Aktivitäten fortzuführen, nämlich von Erzeugung und Versorgung einerseits sowie der nicht-wettbewerblichen Aktivitäten des Transports andererseits.

Die FNB haben die Vision einer ersten deutschlandweiten Wasserstoffinfrastruktur mit einer Gesamtlänge von 5.900 km. Das umfunktionierte FNB-Netz für Wasserstoff würde zu 90 % aus dem bestehenden Gasfernleitungsnetz

¹⁰ die technische Verträglichkeit der Endanwendungen im Bestand wird vom DVWG bei 20 % indiziert.

¹¹ DVGW, S 4; Prozentuale Wasserstoff-Beimischung. Online verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/sicherheit-h2-beimischung-dvgw.pdf>, zuletzt geprüft am 30.05.2023.

¹² Die Marktraumumstellung sieht aufgrund der erschöpften Vorkommen in den Niederlanden seit 2016 bis voraussichtlich 2030 die Umstellung des Gasnetzes von niederkalorischem Erdgas (L-Gas) aus den Niederlanden auf hochkalorisches Erdgas (H-Gas) aus Norwegen vor, zuvor unter anderem überwiegend aus Russland.

¹³ BNetzA; Infrastrukturbetreiber, online verfügbar unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Infrastrukturbetreiber/start.html>, zuletzt geprüft am 30.05.2023

¹⁴ H₂-ready bedeutet hier, dass die Tauglichkeit einer Infrastruktur hinsichtlich Anwendung von Wasserstoff gegeben ist. Nach DVGW-Information GAS Nr.29 erfordert H₂-Readiness eine mehrstufige Bewertung auf die hier im Einzelnen nicht eingegangen wird. s. DVGW, S.6; DVGW-Information GAS Nr. 29, Bonn 01/2023. Online verfügbar unter: <https://www.dvgw-regelwerk.de/plus/#technische-regel/dvgw-gas-information-nr-29/48be24>, zuletzt geprüft am 04.09.2023

¹⁵ NEP, S. 149; Entwurf zum Netzentwicklungsplan Gas 2020-2030. Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP_2020/Entwurf.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023

¹⁶ Die Bundesnetzagentur kann auf der Grundlage „Bericht zur erstmaligen Erstellung des Netzentwicklungsplans Wasserstoff“ gem. § 28q EnWG Empfehlungen für die rechtliche Implementierung eines verbindlichen Netzentwicklungsplans Wasserstoff abgeben.

bestehen. Mit diesem Netz könnte ein Großteil der zukünftigen energieintensiven Verbrauchssenen erschlossen werden. Problematisch sind hier die Entflechtungsvorschriften der EU. Demnach dürften die FNB rechtlich keine Wasserstoffnetze betreiben oder ihre Netze dafür umwidmen.

Die Anbindung großer, energieintensiver Industriestandorte an eine Wasserstoffinfrastruktur erfordert große Mengen an preiswertem Wasserstoff, der hierzulande nicht erzeugt werden kann und daher importiert werden muss. Sofern der Import über den Seeweg erfolgt, wovon in der NWS überwiegend ausgegangen wird, sind Umschlagterminals für Wasserstoff und Folgeprodukte erforderlich. Unter der Annahme, dass Erdgas eine Brückentechnologie bleibt, bedeutet dies im Umkehrschluss, dass für einen Markthochlauf von Wasserstoff neue Umschlagterminals und Speicher benötigt werden.

Da der Aufbau einer neuen Wasserstoffversorgungskette mehrere Jahre Zeit benötigt, ist ein paralleler Betrieb von Erdgas- und Wasserstoffinfrastruktur erforderlich.

Es sei hier kurz erwähnt, dass bei der Speicherinfrastruktur, zum Beispiel in Bezug auf Kavernenspeicher, derzeit ebenfalls noch Rechtsunsicherheit besteht, die jedoch durch mögliche regulatorische Erleichterungen beseitigt werden kann.¹⁷

V. Anwendungsfelder und Vorbereitung der Markteinführung einer Querschnittstechnologie – wo soll der Wasserstoff zum Einsatz kommen?

Die Wasserstofftechnologie wird als Querschnittstechnologie künftig in verschiedenen Sektoren genutzt werden, weshalb auch von Sektorenkopplung oder Sektorkopplung gesprochen

werden wird. Allerdings ist der Einsatz von Wasserstoff nicht überall technisch und wirtschaftlich sinnvoll.

Dort, wo eine direkte Elektrifizierung kostengünstiger und mit geringerem Aufwand möglich ist, wäre der Einsatz von Wasserstoff wirtschaftlich nicht sinnvoll. Bei einem Markthochlauf von Wasserstoff ist davon auszugehen, dass sowohl der Wasserstoff selbst als auch der Zugang zu einer Wasserstoffversorgungskette knapp werden wird. Aus diesem Grund vertritt die VDI/VDE-IT den Standpunkt, dass für einen schnellen Markthochlauf neben erneuerbarem Wasserstoff vorerst und vorübergehend auch Wasserstoff aus fossilen Quellen in Betracht gezogen werden sollte.

Die Nutzung von Wasserstoff ist ein wichtiger Teil der Lösung zur Defossilisierung bestimmter Produktionsketten, allerdings nicht die Lösung für alle erdenklichen technischen Anwendungen. Die Anwendung von Wasserstoff ist in erster Linie für die Defossilisierung der energieintensiven Industrie relevant. Der Einsatz von Wasserstoff bzw. dessen Folgeprodukten wie Ammoniak oder Alkoholen in der Mobilität ist lediglich dort sinnvoll, wo Gewichtseinsparungen mit Kosteneinsparungen und steigender Distanzreichweite einhergehen. Dies ist beispielsweise im Flugverkehr, im Schiffsverkehr, im Schwerlastverkehr oder bei landwirtschaftlichen Maschinen der Fall.

Ammoniak oder Alkohole, die aus erneuerbarem Wasserstoff hergestellt werden, können über bestehende globale Lieferwege importiert werden, sofern wirtschaftliche oder technische Anreize dafür geschaffen werden (siehe Abschnitt VII). Das Entwicklungspotenzial von regenerativen wasserstoffbasierten Kraftstoffen wird weiter erschlossen werden und könnte zukunftsweisende Lösungen für ausgewählte Verkehrsträger liefern, etwa im Schiffs- und Flugverkehr. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte untersuchen unter

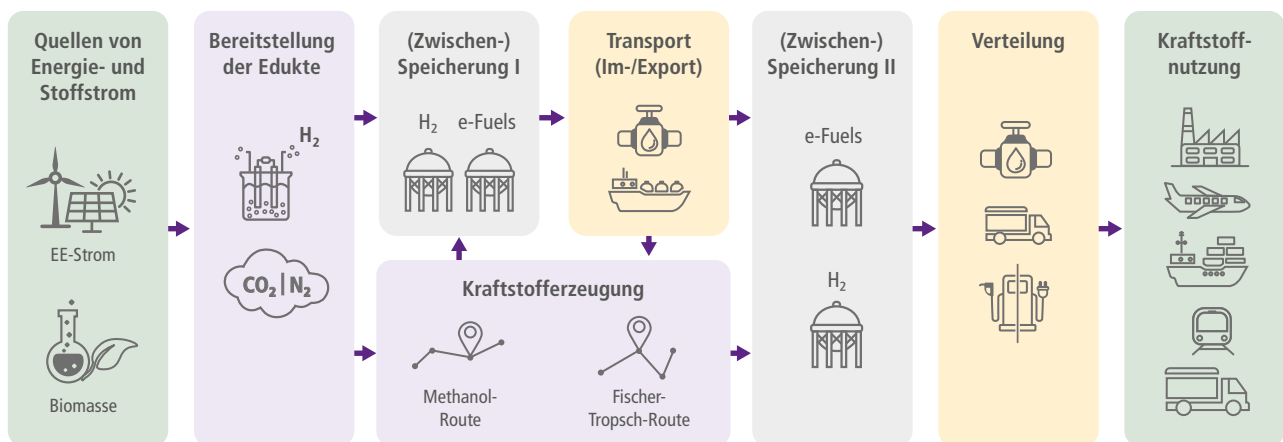


Abbildung 1: Wertschöpfungsstufen zur Defossilisierung der Sektoren Industrie und Verkehr auf Basis von Wasserstoff bzw. Folgeprodukten und erneuerbaren Quellen (Quelle: eigene Darstellung).

¹⁷ IKEM e. V., S. 4 f. Studie zum Rechtsrahmen einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft (Leitprojekt TransHyDE), Berlin 12/2022. Online verfügbar unter: https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2022/12/20221319_TransHyDE-Studie_Regulatorik.pdf, zuletzt geprüft am 30.05.2023

anderem die Prozesskette „Methanol-to-Jetfuel“ für den Einsatz im Flugverkehr sowie Ammoniak für den Schiffsantrieb.

Im straÙengebundenen Verkehr werden Wasserstoff und dessen Folgeprodukte vereinzelt im Schwerlastverkehr benötigt, hier dominieren jedoch auf absehbare Zeit die klassischen fossilen Energieträger den Markt. Ob eine batterie- oder oberleitungsbasierte Elektrifizierung technisch und ökonomisch sinnvoll ist, wird derzeit untersucht. Der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr könnte hier von den stetigen Entwicklungen der Elektromobilität in der Automobilindustrie in den letzten Jahren profitieren. Denn insbesondere schwere und teure Komponenten wie Batterien könnten durch Wasserstofftanks ersetzt werden und mit Brennstoffzellen die elektrische Energie als Antriebstechnologie im Schwerlastverkehr liefern.

Im Luftverkehr hingegen könnte die langwierige Zertifizierung durch die American Society for Testing and Materials (ASTM) die Anwendung von Wasserstoff und dessen Folgeprodukten, den sogenannten e-Fuels, entscheidend verzögern. Bisher gibt es nämlich weltweit keine andere Stelle, die eine Zertifizierung von Flugkraftstoffen durchführt. Beschleunigte Zertifizierungsverfahren sind zwar grundsätzlich möglich, jedoch nur wenn der neuartige Kraftstoff lediglich prozentual beigemischt wird.

Eine weitere wichtige Anwendung ist der Einsatz von Wasserstofftechnologien im Stromsektor. Dabei ist das konventionelle Stromsystem so aufgestellt, dass das Angebot (Stromerzeugung) der Nachfrage (Stromverbrauch) unmittelbar angepasst wird, da die fossilen Brennstoffe zur Stromerzeugung vorrätig gehalten bzw. planbar bezogen werden (siehe Abschnitt VI). In einem Stromsystem mit überwiegend EE-Anlagen ist diese Planmäßigkeit allerdings nicht gegeben, da die Stromerzeugung volatil ist. Bei Überschuss und einem Überangebot von Strom auf dem Markt kann es zudem zu negativen Strompreisen kommen. Negative Strompreise treten häufig bei hohen Einspeisungen von Wind- und Solarstrom oder einem geringen Stromverbrauch auf. Die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse kann technisch eine wichtige Stütze für das Stromversorgungssystem sein und der Entstehung von negativen Strompreisen entgegenwirken. Bei einem Überschuss an erneuerbarem Strom ist oft die Rede von Netzengpässen und einer Überlastung der Netze. In diesem Zeitfenster müssen aktuell die EE-Anlagen vorübergehend abgeregelt werden, damit die Netze stabil bleiben. Diese Korrekturmaßnahmen erzeugen zusätzliche Kosten. Dieser angeordnete Eingriff des Netzbetreibers in den marktbasiereten Fahrplan von Stromerzeugungsanlagen wird als „Redi-

spatch“ bezeichnet. Die marktbedingten Redispatch-Kosten sind im Zeitraum von 2013 bis 2021 von 113 Millionen € auf rund 590 Millionen € pro Jahr angestiegen.¹⁸ Bei unverändertem Marktdesign des Stromsystems ist anzunehmen, dass die Redispatch-Kosten weiterhin steigen werden, insbesondere aufgrund der gestiegenen Rohstoffpreise der Energieträger.

Die vollständige Ausschöpfung des EE-Potenzials erfordert neben dem Netzausbau eine zusätzliche flexible Stütze, wie zum Beispiel Elektrolyseure, die dezentral die Stromnetze entlasten. Unter diesen Umständen eröffnet sich die Möglichkeit, innovative Geschäftsmodelle zur Erzeugung von heimischem Wasserstoff und die notwendigen Flexibilitäten für das Stromsystem zu schaffen.

Die Erzeugung von Wasserstoff ist für den künftigen Strommarkt nicht nur erforderlich, sondern eine netz- bzw. systemdienliche Maßnahme. Die Integration von volatilen EE-Anlagen und die Defossilisierung des Stromnetzes macht den Aufbau von Gegenlasten notwendig. Dies würde die Redispatch-Kosten erheblich mindern und die Wasserstoffproduktion erst bei günstigen Strompreisen ermöglichen. Aus dieser Perspektive bedarf es eines innovativen Markt designs, das sowohl die Produktion aus EE-Kapazitäten als auch Flexibilitäten vermarktet.

Dass ein solches Marktdesign technisch umsetzbar ist, wurde in Schleswig-Holstein in einem Forschungsprojekt nachgewiesen (siehe Abschnitt VI).

VI. Welche Rolle kann die Digitalisierung beim Wasserstoff-Markthochlauf spielen?

Plattformen zur Vernetzung der Akteure sind erste Schritte zur Eingliederung digitaler Technologien beim Wasserstoffmarkthochlauf. In Berlin und Brandenburg wurde zu diesem Zweck im Jahr 2021 erstmalig ein digitaler Wasserstoffmarktplatz aufgebaut, der einen Überblick über die Akteure in der Region sowie dort verortete Forschungsprojekte liefert. Darüber hinaus sind auf der Website auch die regionalen Quellen und Senken von Wasserstoff erfasst.

Die Plattform „Energie intelligent koordinieren“ (ENKO) hat die verschiedenen Bereiche der Flexibilisierung des Energiesystems erfolgreich erprobt. Anwendungsfelder waren zum Beispiel IT-Sicherheit für die Energiewirtschaft, Sektorkopplung, Datenanalyse, Bewertung und Prognose, Optimierung und Vernetzung. ENKO war zentraler Bestandteil des For-

¹⁸ BDEW, S. 8; Redispatch in Deutschland. Auswertung der Transparenzdaten April 2013 bis einschließlich Dezember 2021, Berlin 07/2022. Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20220728_BerichtRedispatch.pdf, geprüft am 07.06.2023

schungsprojektes „NEW 4.0“ und wird nach Abschluss des Projekts vom Netzbetreiber „Schleswig-Holstein Netz“ weiterbetrieben. Denn die ENKO-Plattform hat gezeigt, dass ein softwarebasiertes System technisch umgesetzt werden kann und die nötige Systemdienlichkeit zur Netzstabilisierung liefert. Bis zum Abschluss eines Rechtsrahmens wird die Flexibilisierungsplattform ENKO ohne Vergütung für die Bereitstellung von systemdienlicher Flexibilität betrieben.¹⁹

Die Flexibilisierung des Stromsystems bedeutet auch, dass sich künftig Stromverbraucher bzw. Stromspeicher flexibel anpassen müssen, um systembedingt die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Eine Abkehr vom heute gültigen Prinzip „Erzeugung-folgt-Last“ ist deshalb notwendig, weil grundlastfähige fossile Technologien wie Kernkraft, Braun- und Steinkohle künftig in Deutschland nicht mehr zur Verfügung stehen werden. Andere Technologien wie Biogas, Wasserkraft oder Gezeitenkraftwerke sind nur teilweise bzw. vorübergehend grundlastfähig und an topografische Gegebenheiten gebunden. Angebot und Nachfrage von Strom werden heute weiterhin nahezu vollständig über konventionelle Kraftwerke ausgeglichen, obwohl der Anteil der EE weiter steigen soll. In Abbildung 2 wird ein Stromsystem der Zukunft mit verschiedenen Flexibilitätsoptionen dargestellt. Insbesondere batterieelektrische Anwendungen und Wasserstofftechnologien

könnten in Zukunft eine bedeutende Rolle als systemdienliche Flexibilitätsoptionen einnehmen.

Die Teilnahme von Flexibilitätsanbietern auf einer solchen digitalen Plattform eröffnet Möglichkeiten, das Stromsystem technisch zu flexibilisieren und bietet die Möglichkeit der Etablierung neuer Geschäftsmodelle. Hiervon können sowohl Endanwender als auch energieintensive Verbraucher, einschließlich Betreiber von Elektrolyseuren und von geologischen Langzeitspeichern, profitieren. Die Etablierung eines solchen Marktdesigns bedarf eines verlässlichen Rechtsrahmens und einer Digitalisierungsoffensive im Stromsystem.

Die Digitalisierung als Querschnittstechnologie kann künftig eine wichtige Rolle bei der Wasserstoffversorgung und -vermarktung einnehmen und neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Unser skizziertes Leitbild „Internet des Wasserstoffs“ verdeutlicht die breiten Anwendungsmöglichkeiten von digitalen Anwendungen in einer möglichen künftigen Wasserstoffwirtschaft.²¹

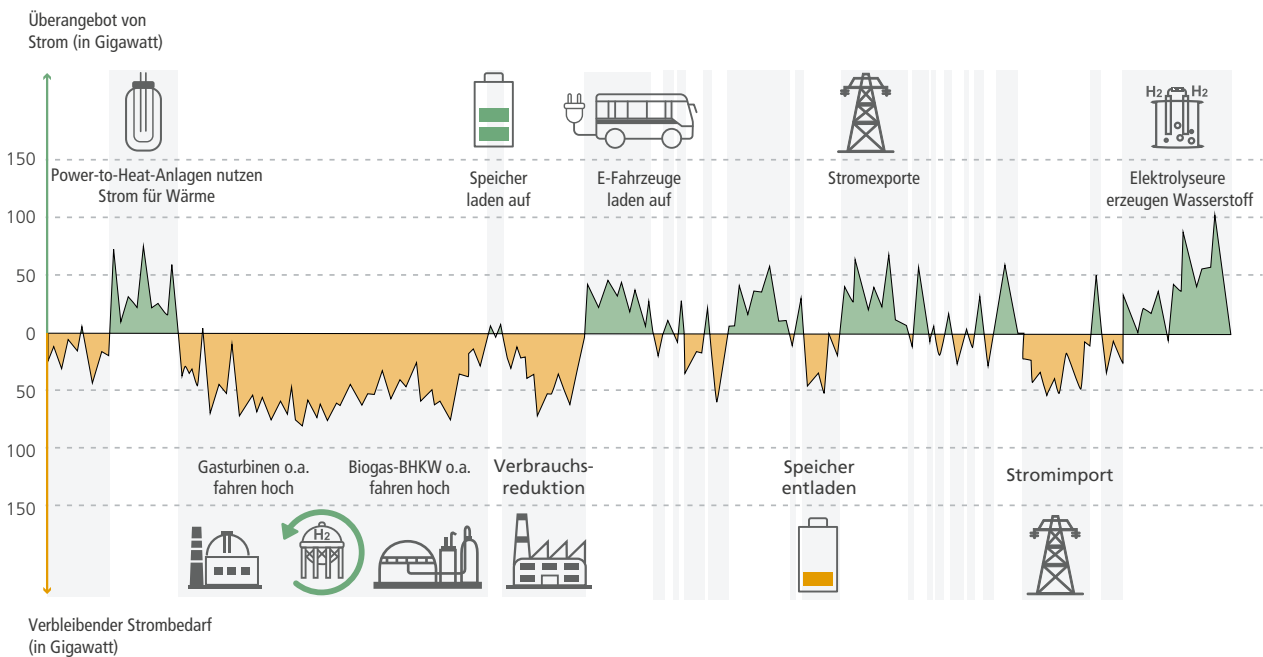


Abbildung 2: Systemdienliche Flexibilitätsoptionen in einem Flexibilitätmarkt der Zukunft, Quelle: eig. Darstellung nach AEE (2019).²⁰

19 ENKO 2.0; Energie intelligent Koordinieren (ENKO) aus dem Projekt NEW 4.0 ist bei Schleswig-Holstein Netz AG angesiedelt. Online verfügbar unter: <https://www.enko.energy/enko2-0/>, geprüft am 30.05.2023

20 AEE (2019); Flexibilität für den Strommarkt der Zukunft. URL: <https://www.unendlich-viel-energie.de/presse/nachrichtenarchiv2019/flexibilitaet-fuer-den-strommarkt-der-zukunft2019>, abgerufen am 08.06.2023

21 VDI/VDE-IT (2021); Klimaneutralität mit dem „Internet des Wasserstoffs“, Berlin 08/2021. Online verfügbar unter: https://vdi-vde-it.de/sites/default/files/document/Internet_des_Wasserstoffs_Poster_A3.pdf, zuletzt abgerufen am 08.06.2023

VII. Förderung des Markthochlaufs von Wasserstoff

Auf EU-Ebene sind die „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) Wegbereiter für eine künftige Wasserstoffwirtschaft. Dabei handelt es sich um strategische Förderprogramme der Europäischen Kommission, die ein zentrales Förderinstrument für den Wasserstoffhochlauf auf EU-Ebene darstellen. Über das „IPCEI Hydrogen“ sollen Wasserstoffprojekte von gesamteuropäischem Interesse gefördert werden.

Auf Bundesebene werden bereits mehrere Förderprogramme umgesetzt bzw. neue ins Leben gerufen, um Wasserstoff in verschiedenen Sektoren nutzbar zu machen. Beispielhaft sei hier die „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Entwicklung regenerativer Kraftstoffe“ genannt, die auf Demonstrations- und Entwicklungsvorhaben von erneuerbaren Kraftstoffen für den Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr fokussiert. Die Maßnahme will unter anderem die Reife von Technologien für den Markteintritt und Hochlauf von erneuerbaren Kraftstoffen anheben. Weitere Förderrichtlinien hinsichtlich „Investitionen in Erzeugungsanlagen“ und „Markthochlauf von Power-to-Liquid-Kerosin“ werden Ende des Jahres 2023 erwartet. Diese Förderprogramme konzentrieren sich zuvorderst auf die erzeu-gerseitige Förderung.

Mit dem Modell der Deutschen Energie-Agentur (dena) für die Defossilisierung der Industrie liegt ein Finanzierungskonzept vor, das die privaten Finanzierungsmöglichkeiten der Netzbetreiber für den Aufbau des Wasserstoffnetzes nutzt und zugleich marktfähige Netzentgelte in der Phase des Aufbaus der Wasserstoffinfrastruktur sicherstellen kann. Die Klimaschutzverträge als „Contracts for Difference“ zwischen der Industrie und dem Staat sind der zentrale Baustein des BMWK für die nächste Phase der Energiewende – die Defossilisierung der Industrie. Mit diesem Finanzierungskonzept soll erstmalig anwenderseitig und vorrangig die energieintensive Industrie gefördert werden.

Künftig ist die Förderung von Wasserstoffanwendungen auch in anderen Sektoren wie Verkehr, Wärme oder Energiewirtschaft notwendig, um diese Sektoren, neben der direkten Elektrifizierung, vollständig zu defossilisieren.

VIII. Ausblick und Handlungsempfehlungen

Der Inflation Reduction Act (IRA) aus den USA kam Ende des Jahres 2022 überraschend schnell als Reaktion auf die steigende Inflation und enthält Förderprogramme für die Energiesicherheit und den Klimaschutz. Der IRA ist ein zentraler Baustein für den Markthochlauf von Wasserstoff in den Vereinigten Staaten und setzt die EU-Kommission unter Zugzwang. Derzeit lassen die fehlenden regulatorischen Bedingungen auf euro-

päischer Ebene allerdings keine schnelle Wegbereitung für den Markthochlauf von Wasserstoff vermuten (s. Abschnitt I).

Im Folgenden wird zusammenfassend dargelegt, welche Stränge mittelfristig auf politischer Bundes-, Landes- und EU-Ebene für einen Hochlauf des Wasserstoffmarkts zu verfolgen sind:

In den nächsten Jahren wird es darauf ankommen, Infrastrukturprojekte zu entwickeln, gesetzlich zu verankern und umzusetzen. Dabei sind prioritär das inländische Wasserstoff-Kernnetz, welches größtenteils aus bestehenden Gasfernleitungen aufgebaut werden kann, sowie Speicherkapazitäten und Umschlagterminals anzugehen. Darüber hinaus sind die Anschlussbedingungen für energieintensive Verbraucher aus der Industrie zu definieren.

Wasserstoff gehört wie andere Gase zu den Energiegasen und ist somit keine neue Technologie. Neu ist jedoch ihr Potenzial, wesentlich zur Defossilisierung beizutragen und sich zur einer Querschnittstechnologie zu entwickeln. Für einen schnellen Markthochlauf ist es für den Anfang wichtig, zuerst die energieintensive Industrie mit Wasserstoff zu versorgen. Mit den aktuellen Regelwerken für Energiegase des DVWG kann der Auf- bzw. Umbau der Infrastruktur und der Anschluss der Verbraucher durchgeführt werden.

Die EU baut auf erneuerbaren Wasserstoff. Der hohe Bedarf wird künftig über Importe gedeckt werden müssen, da erneuerbarer Wasserstoff in Regionen mit EE-Potenzial kostengünstiger und schneller zur Verfügung stehen wird als hierzulande. Eine einheimische industrielle Wasserstoff-erzeugung wird im Inland zunächst nicht wirtschaftlich lukrativ sein. Deshalb ist es für den Anfang erforderlich, auch weitere Bezugsquellen neben erneuerbarem Wasserstoff zuzulassen.

Sowohl hierzulande, als auch in Ländern mit hohem EE-Potenzial, bedarf es in den nächsten zehn Jahren eines massiven Ausbaus an EE-Anlagen und Elektrolysekapazitäten. Für diesen Ausbau sind regulatorische Erleichterungen nötig, um die Elektrifizierungsbemühungen unter anderem im Verkehrssektor zu unterstützen. Der Aufbau von Elektrolysekapazitäten ist vor allem für das heimische Stromsystem und die heimischen Elektrolysehersteller von Relevanz und sollte entsprechend gefördert werden.

Der Stromsektor braucht frühzeitig ein neues Strommarkt-design mit Flexibilitätsmärkten verbunden mit einer Digitalisierungsoffensive. Parallel ist der Ausbau des Stromnetzes voranzutreiben. Das Aufgeben des „Erzeugung-folgt-Last“-Prinzips ist vor allem deshalb wichtig, weil der Ausstieg aus grundlastfähigen Technologien wie Kern- und Kohlekraft gesetzt ist. Die Digitalisierung hat ein großes Potenzial, den Ausbau einer Wasserstofftechnik über den Stromsektor hinaus sektorenübergreifend entscheidend zu beschleunigen.

Die multiple Herausforderung besteht darin, die erläuterten Stränge in den vorherigen Abschnitten parallel umzusetzen und in einer Wasserstoffwirtschaft zusammenzuführen. Der Wasserstoff wird zu Beginn kostbar und knapp sein. Die Erzeugung von Wasserstoff bringt zweierlei Vorteile mit sich: Zum einen die Erhöhung des Angebots an Wasserstoff und zum anderen die Stabilisierung des Stromsystems beim sukzessiven EE-Ausbau.

Eine Priorisierung der Wasserstoffanwendung in den einzelnen Sektoren wird in der Fortschreibung der NWS nicht explizit formuliert, was aus Sicht der VDI/VDE-IT wünschenswert wäre. Eine zielführende Priorisierung könnte daher wie folgt aussehen: Die Nutzung von Wasserstoff ist aus heutiger Perspektive vorrangig für die Defossilisierung der Industrie relevant. Wasserstoff und seine Folgeprodukte werden allerdings ab dem Jahr 2030 eine wichtige Rolle im Verkehrssektor einnehmen müssen, um die Defossilisierung des Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehrs zu ermöglichen. Aus dieser Perspektive spielt der Einsatz von Wasserstoff bzw. dessen Folgeprodukten im Verkehrssektor bis dahin eine untergeordnete Rolle.

Im Hinblick auf das Stromsystem lässt sich aus der Fortschreibung der NWS herauslesen, dass die Ausarbeitung des Strommarktdesigns nachrangig verfolgt wird. Ohne ein Strommarktdesign mit Flexibilitätsmärkten verbunden mit einer Digitalisierungsoffensive ist die Ausschöpfung der EE-Potenziale jedoch nur bedingt möglich.

In der Fortschreibung der NWS soll die Querschnittstechnologie Digitalisierung bisher nur für Genehmigungsverfahren und für Zertifizierungszwecke eingesetzt werden. Digitale Lösungen haben ein großes Potenzial den Ausbau einer Wasserstofftechnik über den Stromsektor hinaus sektorenübergreifend entscheidend zu beschleunigen. Ferner werden neue, datengetriebene Geschäftsmodelle entstehen. Mit unserer erwähnten Vision „Internet des Wasserstoffs“ wird anhand einer Ideensammlung für künftige kleinteilige Anwendungen die Verknüpfung der Wasserstoffinfrastruktur mit einer digitalen Infrastruktur skizziert. Hierbei werden mögliche Geschäftsmodelle im Kontext der Energiewende vorgestellt.

Die Entwicklung und der umfassende Auf- und Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft ist als globales Ziel zu verstehen. Darüber hinaus ist es aber auch notwendig, konkret die Implementierung voranzutreiben, im lokalen, regionalen und nationalen Kontext. Bereits heute bieten die Landes- und Bundesinstitutionen vielfältige Förderungsmöglichkeiten für Projekte zur Forschung und Entwicklung. Das Spektrum und die Erprobung derartiger Programme müssen jedoch erweitert werden.

Einige der derzeit vorliegenden Strategiepapiere zur Einführung einer Wasserstoffwirtschaft auf Landesebene beschreiben die Notwendigkeit zum Aufbau von kleinteiligen Anwendungen und demonstrativen Insellösungen. Hier sieht die VDI/VDE-IT ab dem Jahr 2030 einen besonderen Bedarf und es werden unterschiedliche interdisziplinäre Kooperationen für einen Aufbau, Betrieb und die Nutzung solcher Anlagen notwendig sein.

IX. Glossar

Defossilisierung	Ersetzen der fossilen durch erneuerbare Quellen.
Energiegase	Wasserstoff, Synthesegas, Biogas, Methan etc.
Erneuerbarer Wasserstoff	Wasserstoff darf nach der geltenden Erneuerbare-Energien-Richtlinie (engl. Renewable Energy Directive II, RED II) als erneuerbar bezeichnet werden, wenn mindestens 70 % CO ₂ im Vergleich zum fossilen Referenzwert eingespart, bestimmte Kriterien für den Bezug von erneuerbarem Strom eingehalten und Lieferkettennachweise vorgelegt werden.
Flexibilitätsoptionen	Flexible Technologien oder Maßnahmen zur Flexibilisierung des Stromsystems. Die Bundesnetzagentur definiert Flexibilität als „die Veränderung von Einspeisung oder Entnahme in Reaktion auf ein externes Signal (Preissignal oder Aktivierung) mit dem Ziel, eine Dienstleistung im Energiesystem zu erbringen“.
Folgeprodukte von Wasserstoff	Ammoniak, Alkohole (zum Beispiel Methanol, Ethanol, höhere Alkohole), Kohlenwasserstoffe, regenerative Kraftstoffe (zum Beispiel e-Kerosin und weitere Fraktionen).
Netzengpass	Tritt auf, wenn die Übertragungskapazität des Stromnetzes erreicht ist.
Redispatch	Der angeordnete Eingriff des Netzbetreibers in den marktbasierten Fahrplan von Stromerzeugungsanlagen wird als „Redispatch“ bezeichnet.
Reservekapazität	Netzreserve, Kapazitätsreserve und Sicherheitsbereitschaft sind Maßnahmen zur Stromversorgungssicherheit.
Sektorenkopplung/Sektorkopplung	Vernetzung der Sektoren Industrie, Strom, Verkehr und Wärme im energetischen Sinne.
Stromsystem	Umfasst die Erzeugungsanlagen, die Umwandlung, die Übertragungs- und die Verteilnetze.
Systemdienlichkeit	Fahrweise von Flexibilitätsoptionen zur Entlastung der Stromnetze und zur Stabilisierung bzw. Unterstützung des Stromsystems.
Zusätzlichkeit	Der Begriff „Zusätzlichkeit“ aus der RED II legt dar, dass die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff auf zusätzlich installierten Kapazitäten für Erneuerbare Energien basieren soll, mit dem Ziel, den Anteil des erneuerbaren Stroms im Netz zu erhöhen.

X. Über die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (VDI/VDE-IT) ist seit über vierzig Jahren für zahlreiche Bundes- und Landesministerien als Projektträger sowie in der Begleitforschung und Evaluation tätig. In dieser Zeit wurden vielfältige technologische Entwicklungen von ersten Ideen bis hin zum breiten und alltäglichen Einsatz in der Praxis unterstützt und mitgestaltet. Dabei sind besonders (potenzielle) Anwender und Nutzer sowie die Auswirkungen auf gesellschaftliche Entwicklungen im Fokus, ebenso wie kleine und mittlere Unternehmen, die die neuen Technologien schnell aufgreifen und umsetzen können, gegebenenfalls auch unter Entwicklung neuartiger Geschäftsmodelle.

Zunehmende Bedeutung gewinnt darüber hinaus auch, die breite Akzeptanz neuartiger Lösungen sicherzustellen. Die VDI/VDE-IT mit ihren weitreichenden Erfahrungen in der zielorientierten Moderation von interdisziplinären Multi-Stakeholder-Prozessen kann hier wichtige Beiträge leisten, zum Beispiel indem sie industriegetriebene Konsortien und Gruppierungen zusammenstellt, die Demonstrationslösungen umsetzen. Die Erfahrungen als Projektträger sind hilfreich, entsprechende Förderprogramme mit zu entwerfen oder bestehende Programme zu adaptieren und später mit den Akteuren aus Industrie, Forschung, Gesellschaft sowie der Verwaltung umzusetzen. Die etablierten Prozesse eines professionellen und durchgängigen Qualitätsmanagements (nach ISO 9001) und eine hohe Qualität, Effizienz, die Einhaltung geltender Verwaltungsvorschriften sowie Datensicherheit nach ISO 27001 bilden die Basis der Aktivitäten. Gleichzeitig trägt ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess entscheidend zur fortlaufenden Optimierung der Arbeitsabläufe bei.



Agon Kamberi ist wissenschaftlicher Berater für Fragestellungen der Energiewirtschaft und der Einführung von Wasserstofftechnologien. Neben begleitenden Projektträgereigenschaften im Kontext der Forschungsförderung übernimmt er Analyse- und Beratungsaufgaben im Hinblick auf Technologietrends. Er ist seit Juni 2021 Mitarbeiter der VDI/VDE-IT am Standort Berlin.



Arif Reiner Schütze ist wissenschaftlicher Berater für chemisch-technische Prozesse. Er betreut Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Kontext der regenerativen Kraftstoffe und berät Zuwendungsgeber und -empfänger im Rahmen von verschiedenen Projektträgerschaften. Er ist seit Februar 2022 Mitarbeiter der VDI/VDE-IT am Standort Berlin.



Helmut Kergel ist Seniorberater für Fragen der Cluster- und Regionalentwicklung. Er leitet das „European Secretariat for Cluster Analysis (ESCA)“ und koordiniert die hausinterne Kompetenzentwicklung zum Thema „Wasserstoffwirtschaft“. Er ist seit 1988 Mitarbeiter der VDI/VDE-IT am Standort Berlin.

Herausgegeben von
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1 | 10623 Berlin
www.vdivde-it.de

Bildnachweis
Wanan/AdobeStock (Titelbild)

Berlin, September 2023