

## »»» Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft – wo steht Deutschland?

Nr. 475, 12. November 2024

Autorin: Anke Brüggemann, Telefon 069 7431-1736, [anke.brueggemann@kfw.de](mailto:anke.brueggemann@kfw.de)

Grüner Wasserstoff ist ein zentraler Baustein für das Erreichen von Klimaneutralität. Essenziell ist er für die Dekarbonisierung der Industrie, von Teilen des Transportsektors wie der Flug- und Schiffsverkehr auf Langstrecken sowie als saisonales Speichermedium zur Absicherung der Strom- und Wärmeversorgung in längeren Phasen mit geringer Wind- und Solarnergieeinspeisung. Der Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft befindet sich noch in einem frühen Stadium – in Deutschland und auch weltweit. Die Wertschöpfungskette – von der Produktion, über den Transport und der Speicherung bis hin zu den Wasserstoffanwendungen – muss erst noch aufgebaut und die dafür notwendigen Technologien im Industriemaßstab skaliert werden.

Vor diesem Hintergrund sind die Ziele der deutschen Wasserstoffstrategie für das Jahr 2030 in Bezug auf den Ausbau der inländischen Elektrolysekapazitäten für die Produktion von Wasserstoff (10 GW) und die geplanten Importe ambitioniert. Rund 0,1 GW Elektrolysekapazität waren Ende 2023 in Deutschland in Betrieb, weltweit rund 1,4 GW. Auch perspektivisch wird grüner Wasserstoff weltweit ein knappes Gut bleiben – und Deutschland in hohem Maße auf Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten angewiesen sein. Ein frühzeitiges Zugehen auf potenzielle Exportländer ist daher wichtig. Aus Kostengesichtspunkten wird reiner Wasserstoff voraussichtlich zukünftig per Pipeline aus der EU und den EU-Anrainerstaaten importiert, Wasserstoffderivate wie Ammoniak oder wasserstoffbasierte Kraftstoffe (E-Fuels) per Schiff von Ländern außerhalb Europas.

Aufgrund von Marktversagenstatbeständen ist die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff gegenüber fossilen Alternativen derzeit noch nicht gegeben. Eine weitere Herausforderung besteht darin, den Aufbau der Wertschöpfungsketten für grünen Wasserstoff nachfrage- und angebotsseitig synchron voranzubringen. Mittels Koordinierung ist Investitionssicherheit für die relevanten Akteure zu schaffen. Politische Weichenstellungen und wirtschaftliche Anreize sind daher für den Markthochlauf entscheidend. Durch verlässliche Rahmenbedingungen und Fördermechanismen gilt es die Nachfrage nach Wasserstoff und seinen Derivaten anzureizen, die Finanzierung der Infrastruktur für den Transport und die Speicherung des Wasserstoffs sicherzustellen, den Aufbau der heimischen Elektrolysekapazitäten voranzutreiben sowie die Wasserstoffimportpläne umzusetzen.

Mit den jüngsten politischen Beschlüssen zum Aufbau und der Finanzierung des Wasserstoff-Kernnetzes in Deutschland,

dem Start der Ausschreibungen für Klimaschutzverträge mit der Industrie, der beihilferechtlichen Genehmigung von Investitionszuschüssen für zahlreiche IPCEI-Wasserstoffinfrastrukturprojekte in Deutschland sowie der Verabschiedung der Importstrategie wurden wichtige Meilensteine für die Beschleunigung des Wasserstoffhochlaufs in Deutschland geschaffen. Weitere Schritte sind indes erforderlich, so beispielsweise die Entwicklung eines Ordnungs- und Finanzierungsrahmens für die Errichtung von Verteilernetzen und Wasserstoffspeicher oder zeitnahe Beschlüsse auf EU-Ebene zur Planung und Finanzierung der transeuropäischen Pipelinekorridore. Zur Etablierung eines Wasserstoffmarktes ist darüber hinaus die Entwicklung eines international anerkannten Herkunftsnachweis- und Zertifizierungssystems für das Handelsgut Wasserstoff von Bedeutung sowie das Vorantreiben von Nachhaltigkeitsstandards. Darüber hinaus bedarf es weiterer Maßnahmen zur Stärkung der Nachfrage nach grünem Wasserstoff und seinen Derivaten, was wesentliche Voraussetzung für Investitionen auf der Angebotsseite ist.

Der Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland stellt eine enorme Kraftanstrengung dar und erfordert erhebliche Investitionen. Gleichzeitig sind diese Investitionen Voraussetzung zur Sicherung des zukünftigen Wohlstands. Rund 150 Staaten haben sich mittlerweile zum Ziel der Treibhausgasneutralität bekannt, die insgesamt rund 90 % der globalen Wirtschaftsleistung repräsentieren. Dies wird zu einem weltweiten Anstieg der Nachfrage nach Klimaschutztechnologien und treibhausgasneutralen Produkten führen. Vor diesem Hintergrund wird die ausreichende Versorgung mit erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff in Zukunft für viele Branchen ein maßgeblicher Standortfaktor sein. Deshalb sind Investitionen in die grüne Wasserstoffinfrastruktur auch Investitionen in die Zukunftsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland.

### **Grüner Wasserstoff ist ein zentraler Baustein für das Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland**

Im Einklang mit den internationalen Verpflichtungen aus dem Pariser Klimaschutzabkommen hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden. Vorliegende Klimaneutralitätsszenarien, die mögliche Entwicklungspfade für ein klimaneutrales Deutschland abbilden, zeichnen ein eindeutiges Bild: Der Einsatz von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten wird neben der deutlichen Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie dem beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien für die Zielerreichung unerlässlich sein.<sup>1</sup> Unter grünem Wasserstoff versteht man Wasserstoff (H<sub>2</sub>), welcher durch die Elektrolyse von Wasser unter Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien

hergestellt wird. In weiteren Verfahrensschritten kann der so erzeugte Wasserstoff unter Zuführung einer nachhaltigen Kohlenstoffquelle (z. B. aus Biomasse oder Direct Air Capture) oder anderen chemischen Elementen wie Stickstoff zu einer Reihe von Folgeprodukten weiterverarbeitet werden. Zu nennen sind hier wasserstoffbasierte Energieträger und chemische Grundstoffe wie Methanol, Ammoniak, Ethylen oder synthetische Kraftstoffe (E-Fuels). Gegenwärtig wird Wasserstoff fast ausschließlich auf Basis von klimaschädlichen fossilen Energieträgern hergestellt – vornehmlich aus Erdgas (auch grauer Wasserstoff genannt).

Der Einsatz von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten ist insbesondere für die Dekarbonisierung solcher Energieanwendungsbereiche von Bedeutung, in denen die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien entweder technisch nicht möglich ist oder nur zu sehr hohen Kosten erfolgen kann. Zudem ermöglicht die rohstoffliche Nutzung von grünem Wasserstoff die Substitution fossiler Energieträger, die derzeit als Feedstock in der Industrie eingesetzt werden. Das klimapolitische und wirtschaftliche Interesse an klimaneutralem Wasserstoff ist daher weltweit groß. Dies spiegelt sich auch darin wider, dass eine Vielzahl von Ländern Strategien zum Markthochlauf einer Wasserstoffwirtschaft entwickelt haben.<sup>2</sup>

Deutschland und die Europäische Union haben im Jahr 2020 jeweils eigene Wasserstoffstrategien vorgelegt. Mit dem Ziel, den Markthochlauf zu beschleunigen, hat Deutschland im Sommer 2023 seine Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) fortgeschrieben.<sup>3</sup> In ihr werden Zielbilder für das Jahr 2030 definiert sowie staatliche Maßnahmen aufgelistet, die dazu beitragen sollen, die ausreichende Verfügbarkeit von klimaneutralem Wasserstoff und seinen Derivaten sicherzustellen, den Aufbau einer leistungsfähigen Wasserstoffinfrastruktur zu unterstützen sowie die Etablierung von Wasserstoffanwendungen voranzutreiben. Dabei wird allein auf Basis erneuerbarer Energien hergestellter grüner Wasserstoff als auf Dauer vereinbar mit dem Klimaneutralitätsziel eingestuft. Um indes den Markthochlauf wasserstoffbasierter Anwendungen insbesondere in der Industrie frühzeitig voranzutreiben, soll gemäß der Wasserstoffstrategie übergangsweise auch der Einsatz von kohlenstoffarm produziertem Wasserstoff möglich sein – zumindest bis ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung steht. Explizit genannt werden hier blauer oder türkiser Wasserstoff, der aus Erdgas in Verbindung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (CCS) gewonnen wird, sowie auf Abfall- und Reststoffen basierender oranger Wasserstoff (Box 1).

#### Box 1: Definition gängiger Wasserstoffarten

**Grüner Wasserstoff:** Mit der Novelle der 37. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes von November 2023 wurde die Definition von grünem Wasserstoff gesetzlich konkretisiert. Demnach gilt Wasserstoff nur dann als "grün", wenn der bei der Elektrolyse verwendete Strom zu 100 % aus erneuerbaren Energien nicht-biogenen Ursprungs stammt. Außerdem muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Herstellung um mindestens 70 % gegenüber fossilen Alternativen gesenkt sein, wobei die Emissionen entlang der gesamten Lieferkette berücksichtigt werden müssen, einschließlich des Transports des Wasserstoffs. Im Jahr 2023 hat die Europäische Kommission zudem in einem delegierten Rechtsakt im Rahmen der europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED II) festgelegt, dass der bei der

grünen Wasserstoffproduktion eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energien Kriterien der Additionalität und der Gleichzeitigkeit erfüllen muss. Das Zusätzlichkeitskriterium besagt, dass für den Strombezug neuer Elektrolyseure spätestens ab dem Jahr 2028 neu errichtete und ungeforderte erneuerbare Energien-Anlagen kontrahiert werden müssen. Dies soll vermeiden, dass bereits vorhandene erneuerbare Energien Kapazitäten großflächig für die Wasserstoffproduktion herangezogen werden und fossile Kraftwerke dadurch mittelbar für die Stromversorgung anderer Nachfragesektoren hochgefahren werden müssen. Die Gleichzeitigkeitsregel bedeutet, dass die Produktion des bezogenen Stroms aus erneuerbaren Energien zeitlich und bilanziell ungefähr mit dem Stromverbrauch des Elektrolyseurs übereinstimmen muss. Konkret heißt dies, dass bis 2029 der kontrahierte Strom im selben Monat produziert werden muss wie der Wasserstoff, ab 2030 in derselben Stunde. Diese zeitliche Korrelation soll gewährleisten, dass erneuerbarer Wasserstoff nur zu Zeiten erzeugt wird, an denen ausreichend erneuerbare Energien zur Verfügung stehen. Um den Stromnetzausbaubedarf zu reduzieren, müssen zudem Strom und Wasserstoff in der Regel in derselben Stromgebotszone erzeugt werden.

**Grauer Wasserstoff:** Wasserstoff wird gegenwärtig aus Kostengründen überwiegend aus Erdgas mittels Dampfreformierung hergestellt. Dabei wird Erdgas in Wasserstoff und Kohlendioxid aufgespalten. Letzteres wird in die Atmosphäre emittiert.

**Blauer Wasserstoff:** Blauer wird wie grauer Wasserstoff mittels Dampfreformierung aus Erdgas hergestellt. Die dabei freigesetzten Kohlendioxidemissionen werden allerdings abgeschieden und anschließend unterirdisch gespeichert bzw. als Rohstoff weiterverwendet (CCS/CCU).

**Türkiser Wasserstoff:** Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Erdgas (Methanpyrolyse) hergestellt wird. Als Abfallprodukt entsteht fester Kohlenstoff, der deponiert oder als Rohstoff genutzt werden kann.

**Oranger Wasserstoff:** Wasserstoff, der aus Abfall- und Reststoffen gewonnen wird (z. B. durch Gasifizierung bei hohen Temperaturen oder Vergärung).

Blauer, türkiser und oranger Wasserstoff sind emissionsärmer als grauer Wasserstoff und werden daher als kohlenstoffarm bezeichnet. Sie sind jedoch nicht emissionsfrei. Beispielsweise verbleiben klimawirksame Vorkettenemissionen bei der Förderung, der Verarbeitung und dem Transport von Erdgas. Auch bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung verbleiben Restemissionen.

**Förderung:** Die Nationale Wasserstoffstrategie beschränkt die direkte finanzielle Förderung der Wasserstoffherzeugung auf grünen Wasserstoff und seine Derivate. Anwendungsseitig kann auch die Nutzung von kohlenstoffarm erzeugtem Wasserstoff gefördert werden. Dabei gilt für erneuerbar und kohlenstoffarm hergestellten Wasserstoff in der EU ein einheitlicher Treibhausgas-Grenzwert von max. 3,4 kg CO<sub>2e</sub>/kg H<sub>2</sub>.

Die vorliegende Analyse gibt einen Überblick darüber, wo Deutschland auf dem Weg zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft steht. Im Fokus stehen dabei die folgenden angebots- und nachfrageseitigen Fragestellungen: Welcher klimaneutraler Wasserstoffbedarf wird mittel- und langfristig in

Deutschland erwartet? Wo kommt der Wasserstoff perspektivisch her? Wie viel Produktionskapazitäten gibt es aktuell? Wie schnell wächst die notwendige Transportinfrastruktur? Welche Hemmnisse und Herausforderungen gilt es beim Markthochlauf zu adressieren? Welche staatlichen Fördermaßnahmen wurden bereits ergriffen? Und wo besteht noch weiterer Handlungsbedarf?

**Starker Anstieg des Wasserstoffbedarfs ab 2030 erwartet**

Im vergangenen Jahr wurden rund 42 TWh Wasserstoff in Deutschland produziert und verbraucht. Dabei handelt es sich nach wie vor zum Großteil um grauen Wasserstoff (93,7 %). Lediglich 0,4 % des Wasserstoffs wurde durch die Elektrolyse von Wasser hergestellt. 5,9 % sind als Nebenprodukt bei der Chlorherstellung angefallen.<sup>4</sup> Wasserstoff wird derzeit überwiegend in der chemischen Industrie, z. B. bei der Ammoniak- und Methanolherstellung, eingesetzt sowie in Raffinerien zur Entschwefelung von Kraftstoffen. Dabei wird Wasserstoff vornehmlich rohstofflich genutzt.

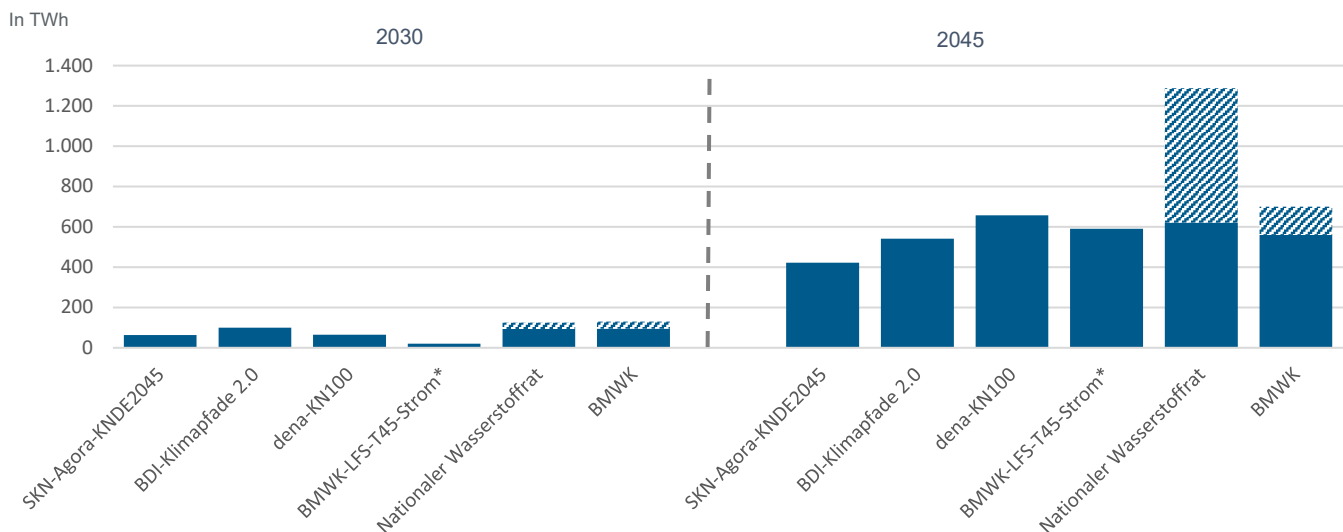
Anhaltspunkte für den zukünftigen Bedarf von grünem Wasserstoff in Deutschland liefern verschiedene Klimaneutralitätsszenarien, die in den vergangenen Jahren erstellt wurden. Zudem haben sowohl die Bundesregierung als auch der Nationale Wasserstoffrat (NWR), welcher von der Bundesregierung als unabhängiges, überparteiliches Beratungsgremium einberufen wurde, Prognosen zum zukünftigen Wasserstoffbedarf vorgelegt. Grafik 1 zeigt, dass die Annahmen zur Entwicklung der Wasserstoffnachfrage einerseits deutlich variieren und andererseits Konsens über einen stark wachsenden Bedarf besteht. Demnach liegt die Spannbreite des abgeschätzten Bedarfs an klimaneutralen Wasserstoff und seinen Derivaten für das Jahr 2030 zwischen 20 und 130 TWh. Die Bundesregierung geht in der Fortschreibung der NWS 2023 von einem Bedarf in Höhe von 95 bis 130 TWh aus und deckt sich damit weitgehend mit der Prognose des Nationalen Wasserstoffrats (94 bis 125 TWh<sup>5</sup>). Hierfür wird gemäß Schätzung des NWR eine Elektrolyseleistung von 39 bis 52 GW im Jahr 2030 benötigt.

Gemeinsamkeit besteht bei allen abgebildeten Szenarien bzw. Prognosen, dass zwischen 2030 und 2045 ein starker Anstieg der Wasserstoffnachfrage erwartet wird. Die Bandbreite der Abschätzung der Nachfragemenge ist allerdings groß und bewegt sich für das Jahr 2045 zwischen 422 und 1.288 TWh. Der Nationale Wasserstoffrat prognostiziert einen Gesamtwasserstoffbedarf (inkl. Derivate) von 620 bis 1.288 TWh und repräsentiert damit den oberen Rand der Abschätzung.<sup>6</sup> Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) schätzt den Bedarf auf 560 bis 700 TWh, wovon 200 TWh auf Wasserstoffderivate entfallen.<sup>7</sup> Dies entspricht in etwa dem Durchschnitt der ermittelten Bedarfe der anderen aufgeführten Szenarien bzw. Prognosen.

Die große Schwankungsbreite des errechneten Wasserstoffbedarfs 2045 spiegelt die Unsicherheit der Abschätzung langfristiger Entwicklungen wider. Wesentlichen Einfluss auf den erwarteten Wasserstoffbedarf haben die Annahmen

- zur Entwicklung der Energie- und Ressourceneffizienz und zum Energieverbrauch in Deutschland,
- zum Umfang der direkten Elektrifizierung in den verschiedenen Sektoren (als Dekarbonisierungsalternative zum Wasserstoffeinsatz),
- zur Höhe des zur Verfügung stehenden, nachhaltigen Biomassepotenzials (als Dekarbonisierungsalternative zum Wasserstoffeinsatz),
- zum Ausmaß des Einsatzes von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung bzw. Nutzung (als Dekarbonisierungsalternative zum Wasserstoffeinsatz) und
- zur erwarteten Kostenentwicklung von Wasserstoff und dessen Derivaten im Vergleich zu anderen Dekarbonisierungsoptionen.<sup>8</sup>

Grafik 1: Erwarteter Bedarf an klimaneutralen Wasserstoff in Deutschland (inkl. Derivate) im Jahr 2030 und 2045



Anmerkung: Schraffierte Fläche gibt eine Bandbreite an.

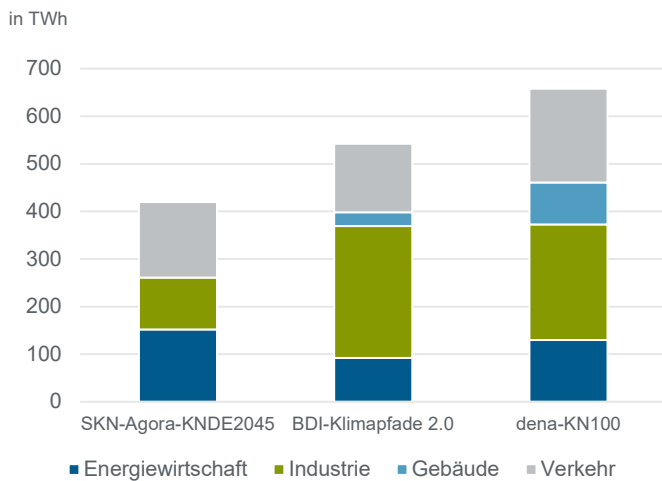
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Stiftung Klimaneutralität et al. (2022, Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien), Nationaler Wasserstoffrat (2024) und BMWK (2023).<sup>9</sup>

Darüber hinaus liegen sowohl den hier ausgewiesenen Klimaneutralitätsszenarien (Grafik 1) als auch den Prognosen des Nationalen Wasserstoffrats die Annahme zugrunde, dass es nicht zu umfangreichen Veränderungen der Wirtschaftsstruktur in Deutschland kommt. Sollten Grundstoffe oder Vorprodukte, wie z. B. Eisenschwamm für die Stahlproduktion oder Ammoniak und Ethylen für den Einsatz in der Chemieindustrie, künftig vermehrt aus Ländern mit besseren Standortbedingungen für die Elektrolyse von grünem Wasserstoff importiert werden, würde sich das entsprechend mindernd auf den inländischen Wasserstoffbedarf auswirken.

**Essenziell ist grüner Wasserstoff für die Dekarbonisierung der Industrie und von Teilen des Transportsektors sowie im Bereich der saisonalen Energiespeicherung**

Grundsätzlich sind grüner Wasserstoff und seine Derivate vielfältig einsetzbar und können sowohl als Energieträger als auch rohstofflich genutzt werden. Entsprechend unterscheiden sich die Klimaneutralitätsszenarien und Prognosen nicht nur in der Schätzung der benötigten Gesamtmengen, sondern auch in der sektoralen Allokation deutlich (Grafik 2).

**Grafik 2: Bedarf an klimaneutralem Wasserstoff (inkl. Derivaten) im Jahr 2045 nach Sektoren für ausgewählte Klimaneutralitätsszenarien**



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Stiftung Klimaneutralität et al. (2022).

Hohe Schnittmengen für den Einsatz von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten sieht man allerdings für solche Anwendungsbereiche, in denen auch perspektivisch keine oder nur schwer umsetzbare Alternativen zur Dekarbonisierung zur Verfügung stehen. Zu diesen Anwendungsbereichen, die auch als „No-regret-Anwendungen“ für grünen Wasserstoff bezeichnet werden, gehören:<sup>10</sup>

- **Rohstoffliche Nutzung in der Industrie, insbesondere in der Stahl- und chemischen Industrie:** Um Stahl zukünftig emissionsfrei herstellen zu können, muss die derzeit vorherrschende kohlebasierte Hochofenroute durch das Eisen-Direktreduktionsverfahren abgelöst werden. Mithilfe von grünem Wasserstoff wird bei diesem Verfahren Eisenschwamm erzeugt, der anschließend zu Stahlprodukten weiterverarbeitet werden kann. In der chemischen Industrie werden gegenwärtig große Mengen fossiler Energieträger – vor allem Erdgas und Erdöl – als Feedstock verwendet, um daraus wichtige chemische Grundstoffe wie Ammoniak, Methanol und sogenannte High Value Chemicals (wie Ethylen, Propylen und weitere Ausgangsstoffe für die

Kunststoffproduktion) herzustellen. Die rohstoffliche Nutzung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten in der chemischen Industrie ermöglicht die Substitution dieser fossilen Energieträger und damit eine signifikante Treibhausgasminderung.

- **Energetische Nutzung in Bereichen mit nicht bzw. schwer elektrifizierbarem Energieverbrauch, wie in Teilen des Transportsektors oder bei Hochtemperaturprozessen in der Industrie:** Nach derzeitigem Stand der Technik sind in einigen Bereichen des Transportsektors keine Elektrifizierungsoptionen durch den direkten Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien erkennbar. Dies gilt insbesondere für Teilbereiche des Flug- und Schiffsverkehrs, wo über lange Strecken viele Personen oder schwere Güter transportiert werden müssen. Der Einsatz von klimaneutralen Kraftstoffen (E-Fuels) wird hier erforderlich sein, um Klimaneutralität erreichen zu können. Darüber hinaus bestehen in der Industrie schwer elektrifizierbare Hochtemperaturprozesse, die auf den Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff als Brennstoff angewiesen sein dürften. Zu nennen sind hier beispielsweise gasbeheizte Industrieprozesse in der Mineral- und Stahlindustrie, die eine sehr hohe Energiedichte erfordern.
- **Einsatz als saisonales Speichermedium zur Absicherung der Strom- und Wärmeversorgung:** Bei steigenden Anteilen fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung kommt Wasserstoff eine zunehmende Bedeutung als saisonales Speichermedium zu, um in längeren Zeiträumen mit geringer Wind- und Solarenergieeinspeisung, der sogenannten Dunkelflaute, Strom bereitzustellen. Durch eine Kombination von Wasserelektrolyse mittels Stroms aus erneuerbaren Energien, der Zwischenspeicherung des grünen Wasserstoffs in Kavernenspeichern und der Rückverstromung des Wasserstoffs in wasserstofffähigen Gaskraftwerken kann diese Speicherfunktion ausgefüllt werden. Bei Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung kann so auch residuale Wärmelast zur Absicherung der Fernwärmeversorgung zur Verfügung gestellt werden.

Die Umwandlung von erneuerbarem Strom in grünen Wasserstoff und seinen Folgeprodukte ist mit hohen Energieverlusten verbunden. Vor diesem Hintergrund ist allein aus Kosten- und Effizienzgründen zu erwarten, dass die Nachfrage nach Wasserstoff bis 2030 in der dezentralen Wärmeerzeugung sowie bei leichten Nutzfahrzeugen und Pkw aufgrund günstigerer Dekarbonisierungsalternativen – wie die direkte Elektrifizierung – eher moderat ausfallen wird.<sup>11</sup> Beispiel Auto: Für die gleiche Fahrstrecke benötigt ein mit synthetischem Kraftstoff (E-Fuels) fahrendes Auto mit Verbrennungsmotor etwa sechsmal so viel erneuerbaren Strom wie ein entsprechendes batteriebetriebenes Elektroauto. Ein Brennstoffzellen-Pkw benötigt etwa zweieinhalbmals so viel.<sup>12</sup>

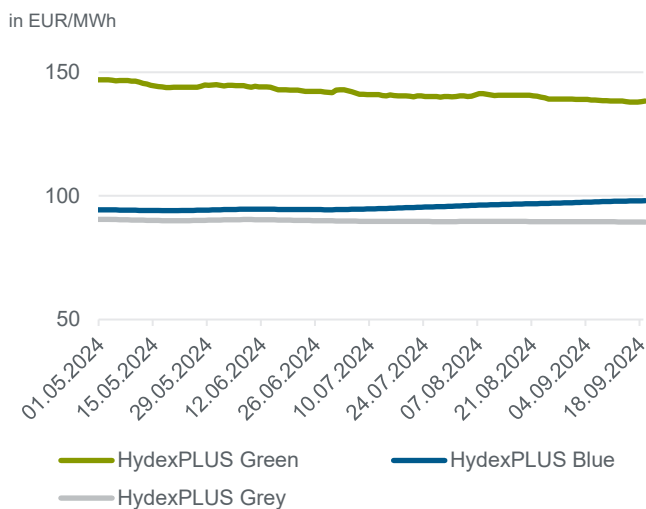
**Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff gegenüber fossilen Alternativen ist noch nicht gegeben**

Derzeit sind die Herstellungskosten von grünem Wasserstoff noch deutlich höher als die der fossilen Alternativen. Der Vollkostenindikator HydrexPlus von E-Bridge zeigt beispielsweise, dass sich die Herstellungskosten für grünen Wasserstoff in Deutschland in den letzten fünf Monaten zwischen 146 und 138 EUR/MWh H<sub>2</sub> bewegt haben (Grafik 3). Damit lagen sie deutlich über den durchschnittlichen Produktionskosten von grauem Wasserstoff im selben Zeitraum (90 EUR/MWh H<sub>2</sub>).

Diese Wirtschaftlichkeitslücke zeigt, dass die breite Marktdurchdringung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten kein Selbstläufer ist. Bestehende Anreize durch die CO<sub>2</sub>-Bepreisung sind noch zu gering, als dass sich die Umstellung von fossilbasierten Produktionsprozessen bzw. Verfahren auf grünen Wasserstoff wirtschaftlich rechnen würde. Dies macht deutlich, dass es für den Markthochlauf einer grünen Wasserstoffwirtschaft eines zusätzlichen förderpolitischen und regulatorischen Rahmens bedarf, der die Nutzung von grünem Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Energieträgern wettbewerbsfähig werden lässt und langfristig Investitionssicherheit bietet.

Prognosen für die Herstellungskosten von grünem Wasserstoff in Deutschland und Europa weisen eine große Spannweite aus.<sup>13</sup> Langfristig ist durch Größenvorteile und Lerneffekte bei einer großvolumigen Skalierung der Elektrolyseure und steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen eine Annäherung der Herstellungskosten von fossilem und klimaneutralen Wasserstoff zu erwarten. Den größten Einfluss auf die künftige Kostenentwicklung von grünem Wasserstoff dürfte jedoch die Preisentwicklung des bei der Elektrolyse eingesetzten erneuerbaren Stroms haben. Strombezugskosten machen aktuell rund zwei Drittel der Erzeugungskosten des grünen Wasserstoffs aus.<sup>14</sup>

Grafik 3: Herstellungskosten für Wasserstoff



Anmerkung: Der Kostenindex HydrexPLUS beschreibt für Deutschland die jeweils günstigsten Vollkosten der grünen, blauen und grauen Wasserstoffherzeugung (ohne Transportkosten für den Wasserstoff).

Quelle: E-Bridge (2024).

Grafik 3 zeigt, dass die Herstellungskosten für blauen Wasserstoff (Spannweite von 94 bis 98 EUR/MWh in den letzten fünf Monaten) bereits nahezu Kostenparität mit grauem Wasserstoff erreicht haben. Die Prognosen für die Kostenentwicklung von blauem Wasserstoff weisen ebenfalls eine große Bandbreite aus und hängen stark vom Bezugspreis des fossilen Energieträgers Erdgas ab.<sup>15</sup> Erwartet wird, dass blauer Wasserstoff mittelfristig seinen Kostenvorteil gegenüber grünem Wasserstoff erhalten wird, wenngleich der Preisunterschied sukzessive abnimmt.<sup>16</sup> Vor diesem Hintergrund ist damit zu rechnen, dass kohlenstoffarmer blauer Wasserstoff in der Hochlaufphase der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland eine relevante Rolle spielen wird. Angesichts des stark steigenden Wasserstoffbedarfs – insbesondere für die Dekarbonisierung der Industrie – kann er dazu beitragen, anfängliche Knappheiten zu überwinden, bis grüner Wasserstoff in ausreichenden Mengen und wettbewerbsfähigen Preisen zur Verfügung steht.

Wie für grünen Wasserstoff bestehen allerdings auch beim blauen Wasserstoff aktuell keine weltweit signifikanten Produktionskapazitäten. Da der Aufbau der blauen Wasserstoffproduktionen Investitionen in neue Infrastrukturen erfordert – insbesondere für den CO<sub>2</sub>-Transport und die Langfristspeicherung der Kohlendioxidemissionen – besteht das Risiko fossiler Lock-in-Effekte. Hinzu kommt das Risiko, dass der Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft gehemmt werden könnte, wenn grüner Wasserstoff in Konkurrenz mit dem derzeit kostengünstigeren blauen Wasserstoff um Absatzmärkte und finanzielle Mittel für Investitionen gerät. Mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität ist daher zentral, dass durch staatliche Regulierung der Vorrang des Hochlaufs einer grünen Wasserstoffwirtschaft sichergestellt wird und bereits frühzeitig Kriterien für die Beendigung der „Übergangslösung blauer Wasserstoff“ festgelegt werden. Da die verbleibenden Treibhausgasemissionen von blauem Wasserstoff je nach Herkunftsland (Methanschlupf bei Erzeugung und Transport von Erdgas) und der verwendeten CCS-Technologien stark variieren können, ist für einen ambitionierten Klimaschutz zudem die Festlegung von Grenzwerten für die Treibhausgasintensität des blauen Wasserstoffs von hoher Bedeutung.<sup>17</sup>

### Produktion von grünem Wasserstoff steht erst am Anfang – nicht nur in Deutschland, sondern weltweit

Grüner Wasserstoff wird bisher weltweit nur in sehr geringen Mengen hergestellt (Stand 2023: unter 100.000 Tonnen<sup>18</sup>). Für einen schnellen Markthochlauf in Deutschland ist daher eine inländische Wasserstoffproduktion sinnvoll und notwendig. Außerdem bietet ein Heimatmarkt die Möglichkeit, relevante Technologien und Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu erproben und durch Skalierung Kostensenkungspotenziale zu erschließen. Entsprechend wurde in der Nationalen Wasserstoffstrategie das Ziel formuliert, bis 2030 eine heimische Elektrolysekapazität von 10 GW aufzubauen. Damit könnten voraussichtlich jährlich rund 28 TWh<sup>19</sup> (bzw. 850.000 Tonnen) grüner Wasserstoff produziert werden.

Mit dem Ziel, die Stromnetze zu entlasten und den Stromnetzausbaubedarf zu reduzieren, soll zudem ein Großteil der bis 2030 zu errichtenden Elektrolyseure systemdienlich verortet und betrieben werden.<sup>20</sup> Konkret bedeutet dies, dass Standorte priorisiert werden sollen, die über ein hohes Angebot von erneuerbaren Energien verfügen, und dass Elektrolyseure flexibel entsprechend des Dargebots an erneuerbaren Energien betrieben werden sollen. Vom BMWK beauftragte Studien zeigen, dass dies vornehmlich auf Elektrolysestandorte in Norddeutschland hinauslaufen dürfte, die zum einen hohe Stromerzeugungspotenziale durch Windenergie an Land und auf See aufweisen und zum anderen über kostengünstige Möglichkeiten zur Wasserstoffspeicherung in unterirdischen Kavernenspeichern<sup>21</sup> verfügen. Auch ostdeutsche Regionen verfügen über gute Standortbedingungen.<sup>22</sup> Solange keine gut ausgebaute Netzinfrastruktur zum Transport des Wasserstoffs verfügbar ist, sollen gemäß NWS jedoch auch andere, weniger systemdienliche Elektrolysestandorte zu Demonstrationszwecken möglich sein (beispielsweise in den künftigen Verbrauchszentren von Wasserstoff in West-, Mittel- und Süddeutschland).

Wo steht Deutschland aktuell beim Aufbau der Elektrolysekapazität? Die installierte Leistung von Elektrolyseuren betrug im Februar 2024 etwa 66 MW. Dies entspricht weniger als 1 % der geplanten inländischen Kapazität von 10 GW bis 2030.

322 MW Elektrolyseleistung befinden sich derzeit im Bau bzw. für sie wurde bereits eine finale Investitionsentscheidung (FID) getroffen. Darüber hinaus wurden weitere Projekte mit einer elektrischen Leistung von 9,7 GW bis 2030 angekündigt, die sich allerdings noch in der Planungsphase befinden.<sup>23</sup> Hier ist noch unsicher, ob die Vorhaben tatsächlich realisiert werden.

Eine ähnlich große Diskrepanz zwischen Projekten in der Planung und Vorhaben mit finaler Investitionsentscheidung sind in Europa und weltweit zu beobachten. Im Jahr 2022 wurde im REPowerEU-Plan das Ziel festgelegt, bis zum Jahr 2030 10 Mio. t Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen in der EU zu erzeugen. Für die Zielerreichung müssen etwa 120 GW Elektrolysekapazität in der EU bis 2030 aufgebaut werden. Ende 2023 waren bislang jedoch nur 0,2 GW Leistung in Betrieb, rund 3 GW im Bau oder mit einer FID sowie 202 GW in der Planungsphase. Sofern alle Projekte, die im Bau sind oder mindestens die FID erreicht haben, planmäßig umgesetzt werden, wird bis Ende 2024 eine installierte Elektrolysekapazität von rund 0,7 GW in der EU erwartet.<sup>24</sup>

Weltweit sind Elektrolysekapazitäten von 840 GW geplant, tatsächlich durchfinanziert oder in Bau befinden sich jedoch lediglich 15 GW. Die bereits installierte globale Elektrolysekapazität erreichte Ende 2023 ca. 1,4 GW. Der auf Deutschland entfallende Anteil liegt damit bei rund 5 %. Auf der Grundlage der angekündigten Projekte, die mindestens die FID erreicht haben oder im Bau sind, könnte die weltweit installierte Kapazität bis Ende 2024 auf 5 GW anwachsen. China nimmt dabei mit einem erwarteten Anteil von ca. 70 % an diesen Kapazitäten eine führende Position ein.<sup>25</sup>

Diese Zahlen verdeutlichen, dass sich der Markthochlauf des grünen Wasserstoffs trotz ehrgeiziger Ausbauziele noch in einem sehr frühen Stadium befindet. Dies gilt nicht nur für Deutschland und Europa, sondern auch weltweit. Die Gründe, dass für viele Elektrolyseprojekte noch keine finale Investitionsentscheidung getroffen wurde, sind vielfältig. Haupthindernisse dürften bislang fehlende großvolumige und langfristige Abnahmeverträge für grünen Wasserstoff, regulatorische Unsicherheiten, lange Genehmigungsverfahren, nicht vorhandene Infrastruktur für den Transport und die Speicherung sowie die derzeitige Knappheit bei der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien sein.<sup>26</sup> Hinzu kommen Kostensteigerungen bei den Elektrolyseuren sowie gestiegene Zinsen, die die Finanzierung zusätzlich erschweren. Staatliche Förderprogramme zur Stimulierung der Wasserstoffnachfrage und der -produktion laufen erst langsam an bzw. konnten noch nicht ihre volle Wirkung entfalten.<sup>27</sup>

### **Ein Großteil des deutschen Wasserstoffbedarfs muss zukünftig importiert werden – ein frühzeitiges Zugehen auf mögliche Exportländer ist daher wichtig**

Angesichts des erheblichen Wasserstoffbedarfs wird Deutschland bereits im Jahr 2030 in hohem Maße auf Importe von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten angewiesen sein. Die Bundesregierung rechnet unter Auswertung gängiger Klimaschutzszenarien mit einer Importquote von 50 bis 70 % des für das Jahr 2030 prognostizierten Wasserstoffbedarfs (entspricht ca. 49 bis 90 TWh) und erwartet nach 2030 weiter ansteigende Importanteile.<sup>28</sup> Das begrenzte Flächenpotenzial für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland sowie bessere Standortbedingungen und damit Kostenvorteile für die Erzeugung von Wind- und Sonnenstrom in anderen

Ländern sind die wesentlichen Gründe hierfür. Voraussetzung dafür, dass Deutschland diese hohen Importanteile tatsächlich realisieren kann, ist jedoch, dass der bislang schleppende internationale Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft deutlich an Tempo gewinnt. Dabei zeigen Analysen, dass grundsätzlich weltweit ausreichendes Potenzial für erneuerbare Energien zur Herstellung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten existiert, um die globale Nachfrage auch bei ambitionierten Klimaschutzziele decken zu können. Dies gilt selbst dann, wenn einschränkende Annahmen wie der Ausschluss von Produktionsländern mit Wasserknappheit oder geopolitisch instabilen Regionen zugrunde gelegt werden.<sup>29</sup>

Mit Blick auf den internationalen Handel wird erwartet, dass perspektivisch der überwiegende Teil der globalen Wasserstoffproduktion auf heimischen Märkten zum Einsatz kommen wird. Nur ein kleiner Teil von rund einem Drittel wird grenzüberschreitend gehandelt. Dies entspricht in etwa der derzeitigen Situation auf den Erdgasmärkten.<sup>30</sup> Zudem zeigen Analysen, dass aus heutiger Sicht nur eine begrenzte Anzahl von Ländern aufgrund ihrer Industriestruktur, ihrer Standortbedingungen für erneuerbare Energien und ihrer Klimaschutzambitionen einen höheren Importbedarf von klimaneutralem Wasserstoff haben werden. Innerhalb der EU sind es neben Deutschland im Wesentlichen die Niederlande und Belgien, außereuropäisch vor allem Japan und Südkorea. Vor diesem Hintergrund ist absehbar, dass die Exporteure von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten kurz- und mittelfristig eine starke Marktposition innehaben werden und ein starker Wettbewerb um verfügbare Wasserstoffmengen auf dem Weltmarkt bestehen dürfte. Es ist daher im Interesse Deutschlands, frühzeitig auf mögliche Exportländer zuzugehen, um sich benötigte Liefermengen frühzeitig zu sichern.<sup>31</sup> Ziel ist dabei gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie, im Sinne der Versorgungssicherheit breit diversifizierte Importkanäle zu erschließen.

### **Reiner Wasserstoff wird perspektivisch per Pipeline aus der EU und den EU-Anrainerstaaten importiert, Wasserstoffderivate per Schiff von Ländern außerhalb Europas**

Aus welchen Ländern wird Deutschland potenziell seine Importe beziehen? Studien kommen zum Ergebnis, dass die kostengünstigste Option für den Bezug von reinem Wasserstoff der Import per Pipeline aus der EU bzw. den EU-Anrainerstaaten (z. B. Nordafrika) ist. Europa selbst verfügt über umfangreiche Potenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (insbesondere Skandinavien, Britische Inseln, Frankreich, Iberische Halbinsel und Südosteuropa), die für die Wasserstoffherzeugung genutzt werden könnten. Zudem sind Pipelines mit Abstand die günstigste Transportoption für reinen Wasserstoff auf kürzeren und mittleren Distanzen.<sup>32</sup> Dagegen würde der Transport von reinem Wasserstoff per Schiff in verflüssigter oder gebundener Form (z. B. mittels LOHC – liquid-organic-hydrogen carrier) aus weiter entfernten Regionen zu deutlich höheren Importkosten führen (20 bis 40 %).<sup>33</sup> Um die nötigen Anbindungen Deutschlands an die europäischen Nachbarländer zu schaffen, ist frühzeitig sicherzustellen, dass ein europäisches Wasserstoffnetz entsteht. Dies kann sowohl durch Pipelineneubau als auch durch Umwidmung bestehender Erdgaspipelines erfolgen.

Dagegen ist bei Wasserstoffderivaten wie Ammoniak oder E-Fuels zu erwarten, dass diese perspektivisch aus Wirtschaftlichkeitsgründen vor allem außerhalb Europas erzeugt

und von dort importiert werden. Die Transportkosten sind hier weniger relevant, da sich Wasserstoffderivate aufgrund ihrer hohen Energiedichte in der Regel gut per Schiff transportieren lassen und dabei zum Teil auf etablierte Schiffstransportlogistik zurückgegriffen werden kann. Bedeutender sind die Erzeugungskosten, da die Herstellung von Wasserstoffderivaten im Vergleich zum reinen Wasserstoff aufgrund von Umwandlungsverlusten deutlich energieintensiver ist. Länder außerhalb Europas mit besonders günstigen Erzeugungspotenzialen für erneuerbare Energien haben hier Produktionsvorteile.<sup>34</sup> Zu den zehn Ländern mit den größten Potenzialen zur Herstellung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten außerhalb Europas zählen die USA, Australien, Argentinien, Russland, Ägypten, Kanada, Mexiko, Libyen, Chile und Saudi-Arabien.<sup>35</sup> Wie viel letzten Endes aus welcher Region importiert werden kann, hängt jedoch nicht nur von den jeweiligen techno-ökonomischen Erzeugungspotenzialen und Kosten ab, sondern auch von den topografischen, infrastrukturellen und administrativen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Exportländern. Damit der internationale Handel mit Wasserstoffderivaten in Gang kommen kann, ist neben dem Aufbau der erforderlichen Produktionskapazitäten der Ausbau der Transportinfrastruktur wie Schiffe und Hafeninfrastruktur frühzeitig anzugehen.

Da der Aufbau von Herstellungs- und Transportinfrastrukturen kapital- und zeitintensiv ist, wird mit größeren Importmengen von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten erst nach 2030 gerechnet.<sup>36</sup> Die Bundesregierung erwartet, dass zumindest bis 2030 der Großteil des Wasserstoffimports in Form von Derivaten schiffsbasiert erfolgen wird. Ab 2030 soll dann der pipelinebasierte Import von grünem Wasserstoff aus Europa und ggf. angrenzenden Regionen zunehmend stärker ausgebaut werden.<sup>37</sup> Anhand angekündigter Projekte ist bereits absehbar, dass in der frühen Phase des grünen Wasserstoffhochlaufs, insbesondere wasserstoffbasierter Ammoniak bei den Importen eine bedeutende Rolle einnehmen wird.<sup>38</sup> Ammoniak, das in verflüssigter Form per Schiff transportiert werden kann, wird bereits heute weltweit gehandelt. Die Ammoniaklogistik ist seit Jahrzehnten etabliert. Grüner Ammoniak könnte als fossilfreie Alternative in der Düngemittelproduktion eingesetzt, als Treibstoff im Schiffsverkehr genutzt oder mithilfe eines Ammoniak-Crackers in reinen grünen Wasserstoff zurückgewandelt werden.

### **Grundvoraussetzungen für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland sind der Ausbau erneuerbarer Energien und die Schaffung einer Infrastruktur für den Transport und die Speicherung des Wasserstoffs**

Zentrale Gelingenheitsbedingungen für den Markthochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland sind neben dem Aufbau der Elektrolysekapazitäten auch die zügige Erschließung von Stromerzeugungspotenzialen aus erneuerbaren Energien und die Schaffung einer Infrastruktur für den Transport des Wasserstoffs. Welche Herausforderungen ergeben sich dadurch konkret für den Infrastrukturaufbau in Deutschland?

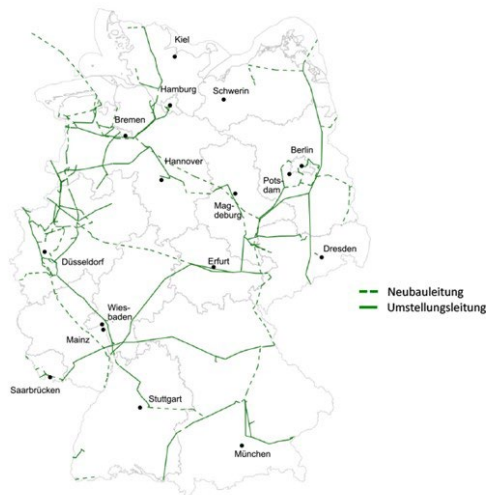
Je nach Art des eingesetzten erneuerbaren Energieträgers und dessen Standortbedingungen müssen für jedes GW Elektrolyseleistung in Deutschland ein bis vier GW zusätzliche elektrische Leistung aus erneuerbaren Energien installiert werden. Überschlägige Berechnungen ergeben, dass für die im Jahr 2030 angestrebte deutsche Wasserstoffproduktion von 28 TWh rund 40 TWh Strom aus erneuerbaren Energien benötigt werden.<sup>39</sup> Das entspricht ca. 8 % des gesamten deutschen Bruttostromverbrauchs des vergangenen Jahres. Auf dem Weg zur Klimaneutralität wird neben der Elektromobilität und der Elektrifizierung der Wärmebereitstellung also auch die heimische Wasserstoffproduktion zu einem steigenden Strombedarf in Deutschland führen. Damit dieser klimaneutral gedeckt werden kann, ist ein zügiger weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland essenziell. Mit Blick auf das von der EU festgelegte Zusätzlichkeitskriterium für den eingesetzten erneuerbaren Strom ist dies auch Voraussetzung für einen Hochlauf der Elektrolysekapazitäten in Deutschland.

Damit der importierte und der in Deutschland produzierte grüne Wasserstoff zu den zukünftigen Verbraucherschwerpunkten innerhalb Deutschlands transportiert werden kann, ist zudem der Aufbau einer Pipelineinfrastruktur erforderlich. Bereits Ende 2023 wurde mit dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG, Novelle vom 29.12.2023) die rechtliche Grundlage für die Schaffung eines Wasserstoff-Kernetzes geschaffen. Ziel ist der Aufbau eines deutschlandweiten, effizienten, schnell realisierbaren und ausbaufähigen Wasserstoff-Kernetzes, das die zukünftigen wesentlichen Wasserstoffproduktionsstätten und die potenziellen Importpunkte mit den zukünftigen wesentlichen Wasserstoffverbrauchspunkten (wie große Industriezentren, Kraftwerke) und Wasserstoffspeichern verbindet. Das Gesetz sieht vor, dass der Aufbau des Wasserstoff-Kernetzes durch die Fernleitungsnetzbetreiber erfolgen soll.

Die aktuellen Planungen sehen ein Kernnetz mit rund 9.040 km Leitungen vor, die zu rund 60 % aus umgestellten Leitungen aus dem bestehenden Erdgasnetz und zu 40 % aus Neubauleitungen bestehen (Grafik 4).<sup>40</sup> Die Leitungen des Kernnetzes sollen sukzessive im Zeitraum von 2025 bis 2032 in Betrieb genommen werden. Für einzelne Kernnetz-Projekte soll eine Inbetriebnahme auch nach 2032 bis 2037 möglich sein, sofern dies im Rahmen der Netzentwicklungsplanung von der Bundesnetzagentur entsprechend festgelegt wird. Dies soll eine zielgenaue Anpassungsmöglichkeit hinsichtlich der tatsächlichen Bedarfsentwicklung ermöglichen. Der Investitionsbedarf für den Aufbau des Wasserstoff-Kernetzes wird auf rund 19 Mrd. EUR geschätzt.<sup>41</sup> Das aktuell geplante Wasserstoff-Kernnetz stellt gleichwohl keine Endausbaustufe dar. Im Rahmen der gesetzlich verankerten integrierten Netzentwicklungsplanung soll das Kernnetz fortlaufend ab 2026 kosteneffizient weiterentwickelt werden, um auf neue Nachfragsituationen reagieren zu können. Derzeit umfasst das operative Wasserstoffnetz in Deutschland nur rund 420 km.<sup>42</sup>

#### Grafik 4: Genehmigtes Wasserstoff-Kernnetz

Genehmigtes Wasserstoffkernnetz



Quelle: Bundesnetzagentur (2024).

Für die Importe von Wasserstoffderivaten per Schiff müssen darüber hinaus ausreichend Importterminals an deutschen Küsten aufgebaut werden. Gemäß Nationaler Wasserstoffstrategie sollen hierbei die derzeit entstehenden Importinfrastrukturen für Flüssiggas (LNG) ein wichtiger Ausgangspunkt sein. Das LNG-Beschleunigungsgesetz aus dem Jahr 2022 sieht vor, dass landgebundene LNG-Terminals bereits im Genehmigungsverfahren den Nachweis von „green readiness“ erbringen müssen. Dadurch soll eine Nachnutzung der Terminals für die Anlandung von Wasserstoffderivaten wie Ammoniak, Methanol oder LOHC ermöglicht werden. Hierzu sind Anlagenkomponenten bereits von Anfang an so zu konzipieren, dass sie für eine spätere Umrüstung geeignet sind. Betroffen hiervon sind die geplanten landseitigen festen LNG-Terminals in Stade, Brunsbüttel und Wilhelmshaven.

Auch Wasserstoffspeicher werden zukünftig ein zentrales Element der Wasserstoffinfrastruktur sein. Der Speicherbedarf in Deutschland wird bis zum Jahr 2045 auf 70 bis 100 TWh geschätzt. Erste Speicherbedarfe entstehen schon vor 2030.<sup>43</sup> Für die saisonale Speicherung großer Mengen von Wasserstoff sind insbesondere unterirdische Salzkavernen geeignet. Im europäischen Vergleich verfügt Deutschland hier über die größten Potenziale, hauptsächlich in Norddeutschland.<sup>44</sup> Bestehende Kavernenspeicher in Salzsteinformationen werden derzeit vor allem zur Erdgasspeicherung genutzt. Auf dem Weg zur Klimaneutralität können hier durch Umwidmung perspektivisch 35 bis 50 TWh Wasserstoff gespeichert werden. Dementsprechend müssen zur Wasserstoffspeicherung auch weitere, neue Kavernen erschlossen werden. Vor dem Hintergrund der langen Realisierungszeiträume muss dies frühzeitig angegangen werden.

#### Markversagen und Henne-Ei-Problem macht staatliches Handeln entlang der gesamten Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff erforderlich

Insgesamt zeigt der Blick auf Nachfrage, Angebot und Infrastruktur, dass sich der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft noch in einer frühen Phase befindet. Die Wertschöpfungskette

des grünen Wasserstoffs – von der Produktion über den Transport und der Speicherung bis hin zu den Wasserstoffanwendungen – muss erst noch aufgebaut und die dafür notwendigen Technologien im Industriemaßstab skaliert werden. Dies erfordert erhebliche Investitionen. Momentan besteht das größte Investitionshemmnis darin, dass der Einsatz von grünem Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Alternativen noch betriebswirtschaftlich unattraktiv ist. Die gesamtwirtschaftlichen Kosten des Klimawandels durch den Einsatz fossilbasierter Technologien werden weltweit nicht vollständig in die betrieblichen Kalkulationen eingepreist. Dadurch erleiden klimafreundliche Technologien Wettbewerbsnachteile. Mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität braucht es daher zumindest in der Start- und Marktaufbauphase der grünen Wasserstoffwirtschaft staatliche Rahmensetzung und Förderinstrumente, damit die notwendigen Investitionen getätigt und sich Geschäftsmodelle entwickeln können. Der Nationale Wasserstoffrat sieht einen staatlichen Unterstützungsbedarf bis weit in die 2030er-Jahre.<sup>45</sup>

Eine weitere Herausforderung besteht darin, den Aufbau der Wertschöpfungsketten über alle Stufen hinweg parallel und synchron voranzubringen. Nur dies schafft Investitionssicherheit für alle Akteure. Unsicherheit über die ausreichende Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff und den Netzzugang können beispielsweise potenzielle Wasserstoffabnehmer aus der Industrie davon abhalten, ihre Produktionsprozesse umzustellen. Dagegen können eine unsichere Nachfrageentwicklung und eine fehlende Transportinfrastruktur Investitionen in Produktionsanlagen für grünen Wasserstoff hemmen. Potenzielle Betreiber von Wasserstoffnetzen und -speichern sind mit Risiken bezüglich des zukünftigen Infrastrukturbedarfs und der geringen Auslastung am Anfang des Wasserstoffhochlaufs konfrontiert. Um dieses Henne-Ei-Problem aufzulösen, bedarf es staatliche Koordinierung von Angebot, Nachfrage und Transport sowie staatliche Unterstützung entlang der gesamten Wertschöpfungskette des grünen Wasserstoffs.<sup>46</sup> Durch verlässliche Rahmenbedingungen und Fördermechanismen gilt es bei den relevanten Akteuren, Vertrauen in gleichzeitige Ko-Investitionen entlang der Wertschöpfungskette zu schaffen.<sup>47</sup>

**Auf Bundesebene wurden bereits zahlreiche Maßnahmen zur Förderung des Markthochlaufs auf dem Weg gebracht**  
Zentrale Ansatzpunkte für staatliche Rahmensetzung und Förderung sind:

- Schaffung von Nachfrage nach grünem Wasserstoff durch Etablierung von Wasserstoffanwendungen in den Wirtschaftssektoren,
- Errichtung der Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff,
- Aufbau heimischer Elektrolysekapazitäten (inkl. der benötigten Kapazitäten für erneuerbare Energien) sowie
- Sicherung der künftigen Importmöglichkeiten.



Grafik 5: Maßnahmen und Instrumente zur Förderung des Markthochlaufs der grünen Wasserstoffwirtschaft

Etablierung von Wasserstoffanwendungen / Nachfragestärkung	Aufbau heimischer Transportinfrastruktur	Aufbau heimischer Elektrolysekapazitäten	Förderung des internationalen Angebots an Wasserstoff und seinen Derivaten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaschutzverträge (KSV) für die Industrie</li> <li>• Förderbescheide an die Stahlindustrie zur Dekarbonisierung der Stahlproduktion</li> <li>• Kraftwerksstrategie</li> <li>• EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III)</li> <li>• ReFuelEU Aviation, FuelEU Maritime</li> <li>• EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS I), CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM)</li> <li>• Important Projects of Common European Interest (IPCEI)</li> <li>• H2Global</li> <li>• Bundesförderung Industrie und Klimaschutz, KfW-Förderprogramme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzieller und regulatorischer Rahmen für das Wasserstoff-Kernnetz</li> <li>• Important Projects of Common European Interest (Hy2Infra-Welle)</li> <li>• Wasserstoffbeschleunigungsgesetz</li> <li>• LNG-Beschleunigungsgesetz</li> <li>• Nationale Hafenstrategie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Important Projects of Common European Interest (Hy2Infra-Welle)</li> <li>• „Auctions-as-a-Service“ der European Hydrobank</li> <li>• Windenergie-auf-See-Gesetz</li> <li>• Nationales Investitionsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien</li> <li>• Wasserstoffbeschleunigungsgesetz</li> <li>• KfW-Förderprogramme</li> <li>• Diverse Beschlüsse zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien (u. a. Festlegung von Flächenzielen für den Ausbau von Windkraft, Beschleunigung von Genehmigungsverfahren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• European Hydrobank</li> <li>• H2Global</li> <li>• Green Hydrogen Fund der EIB</li> <li>• PtX-Entwicklungsfonds</li> <li>• Klimapolitische Sektorleitlinien für Garantieinstrumente der Außenwirtschaftsförderung</li> </ul>

Quelle: KfW Research in Anlehnung an Bundesregierung (2024).

Auf Bundesebene wurden bereits zahlreiche Maßnahmen zur Förderung des Markthochlaufs der grünen Wasserstoffwirtschaft beschlossen. Viele von ihnen wurden erst vor kurzem verabschiedet, zum Teil müssen sie noch konkretisiert werden, weshalb sie ihre Wirkung noch nicht voll entfalten konnten. Grafik 5 gibt einen Überblick über die Initiativen, Regularien und Förderprogramme.

### Klimaschutzverträge, Zuschüsse und Quotenvorgaben zur Ankurbelung der Wasserstoffnachfrage

Die Schaffung einer gesicherten Nachfrage nach Wasserstoff ist die Basis für die Entwicklung eines Marktes. Beiträge zu einem raschen und großskaligen Anstieg der Wasserstoffnachfrage sollen insbesondere die folgenden Förderinstrumente leisten:

- **Erste Auktion für Klimaschutzverträge im Industriesektor:** Das neue Förderinstrument der Klimaschutzverträge soll Investitionen in moderne, klimafreundliche Produktionsverfahren in den energieintensiven Industrien anstoßen, z. B. in der Papier-, Glas-, Stahl- und Chemieindustrie. Die Klimaschutzverträge gleichen dabei die Mehrkosten klimafreundlicher Produktionsverfahren gegenüber konventionellen Verfahren über einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren aus und sichern damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Die Förderung ist dynamisch angelegt, d. h. je geringer der rechnerische Nachteil gegenüber der konventionellen Anlage wird, desto geringer fällt die Zahlung des Staates aus. Sollte die klimafreundliche Produktion im Laufe der Zeit günstiger werden als die konventionelle, kehrt sich der Zahlungsfluss um, d. h. die geförderten Unternehmen zahlen dann ihre Mehreinnahmen an den Staat („Contract for Difference“). Welche Unternehmen gefördert werden, entscheidet sich über ein Bieterverfahren. Den Zuschlag erhalten Unternehmen mit dem geringsten Finanzbedarf pro vermiedener Tonne CO<sub>2</sub>. Die erste Gebotsrunde wurde im Juli 2024 bereits abgeschlossen. Den Zuschlag erhalten haben 15 Industrieunternehmen, die mit insgesamt 2,8 Mrd. EUR bei der Umsetzung ihrer Transformationsprojekte unterstützt werden, darunter auch Wasserstoffprojekte. Unter den geförderten Unternehmen befinden sich sowohl Großkonzerne als auch industrielle Mittelständler.<sup>48</sup> Weitere Ausschreibungsrunden sollen folgen. Um

Planungssicherheit für die Unternehmen zu schaffen, ist frühzeitig Klarheit über das zur Verfügung stehende Fördervolumen in den kommenden Förderrunden zu schaffen.

- **Alle vier großen Stahlhersteller in Deutschland haben mittlerweile Förderbescheide für die Dekarbonisierung ihrer Stahlproduktion erhalten:** Allein die Stahlindustrie verursacht rund 30 % der industriellen Treibhausgasemissionen in Deutschland. Mit einem Fördervolumen von insgesamt 6,9 Mrd. EUR haben alle in Deutschland tätigen großen Primärstahlerzeuger Förderzusagen für die Teilumstellung ihrer Produktion erhalten. Die Investitionszuschüsse werden vom Bund und den Bundesländern an den jeweiligen Unternehmensstandorten getragen. Hier bleibt allerdings abzuwarten, in welchem Umfang die beantragten Projekte tatsächlich umgesetzt werden.
- **Kraftwerksstrategie zur Förderung von wasserstofffähigen Gaskraftwerken verabschiedet:** Mit der Verabschiedung der Kraftwerksstrategie im Juli 2024 schafft die Bundesregierung den Rahmen für Investitionen in flexible und klimafreundliche Kraftwerke im Stromsektor. In einem ersten Schritt sollen zeitnah 5 GW an neuen H<sub>2</sub>-ready-Gaskraftwerken und 2 GW an umfassenden H<sub>2</sub>-ready-Modernisierungen ausgeschrieben werden, die als Beitrag zur schnellen Dekarbonisierung des Kraftwerksparks ab dem achten Jahr ihrer Inbetriebnahme bzw. Modernisierung auf den Betrieb mit grünem oder blauem Wasserstoff umstellen müssen. Zusätzlich sollen 500 MW an reinen Wasserstoffkraftwerken, die sofort mit Wasserstoff laufen, gefördert werden. Bei den Kraftwerken werden Investitionskosten (CAPEX) und ab dem Umstieg auf Wasserstoff für 800 Vollbenutzungsstunden im Jahr die Differenzkosten (OPEX) zwischen Wasserstoff und Erdgas gefördert.<sup>49</sup>
- **EU-Quotenvorgaben zur Nutzung von grünem Wasserstoff sollen Grundnachfrage sichern:** Ende 2023 trat die dritte Neufassung der EU-Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive, RED III) in Kraft, welche bis zum 21. Mai 2025 von den Mitgliedstaaten ins nationale Recht umgesetzt werden muss. Dort wurde u. a. das verbindliche Ziel festgelegt, dass bis 2030 der Anteil strombasierter erneuerbarer Kraftstoffe (RFNBOs) und fortschrittlicher Biokraftstoffe auf 5,5 % des Endenergieverbrauchs im

Verkehrssektor ansteigen muss, mit einem RFNBO-Mindestanteil von 1 %. RFNBOs (Renewable fuels of non-biological origin) sind flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, die auf elektrolytisch erzeugtem, erneuerbarem Wasserstoff basieren. Eine Anrechnung von RFNBOs auf die Treibgasminde-rungsquote (THG-Quote), welche Kraftstoffhersteller per Gesetz verpflichtet, einen wachsenden Anteil ihrer Produkte klimaneutral herzustellen, ist bereits heute möglich. Darüber hinaus sieht die RED III verbindliche Ziele für die industrielle Nutzung von RFNBOs vor. Demnach haben die jeweiligen EU-Mitgliedsländer sicherzustellen, dass der Anteil von RFNBOs im Industriesektor bis 2030 auf 42 % und bis 2035 auf 60 % des in der Industrie eingesetzten Wasserstoffs steigt.

Anfang 2024 ist zudem die ReFuelEU Aviation Verordnung in Kraft getreten, welche Anbietern von Flugkraftstoffen dazu verpflichtet, dem Kerosin ansteigende Mengen an nachhaltigen Flugkraftstoffen (z. B. Biokraftstoffe oder synthetische Flugkraftstoffe) beizumischen. Im Jahr 2025 soll mit einer Mindestbeimischung von 2 % begonnen werden, die bis zum Jahr 2050 sukzessive auf 70 % ansteigt. In der Verordnung wird auch ein Mindestanteil an synthetischen Kraftstoffen festgelegt, wozu RFNBOs, aber auch kohlenstoffarm hergestellte Wasserstoffderivate zählen. Demnach müssen ab 2030 1,2 % der in der EU getankten Kraftstoffe synthetisch hergestellt sein. Bis 2050 soll der Anteil auf 35 % steigen. In Deutschland wurde bereits im Jahr 2021 eine nationale eKerosin-Quote eingeführt. So soll gemäß des Bundes-Immissionsschutzgesetzes der vorgeschriebene Mindestanteil von strombasierten Flugkraftstoffen an der an deutschen Flughäfen getankten Menge von 0,5 % im Jahr 2026 auf 2 % im Jahr 2030 anwachsen. Zudem enthält die FuelEU Maritime Verordnung Anreize zum Einsatz von RFNBOs im Schifffahrtssektor.

### **Beschluss zur staatlichen Zwischenfinanzierung des Wasserstoff-Kernnetzes ist zentraler Meilenstein für den Aufbau der Transportinfrastruktur in Deutschland**

Lange war die Finanzierung des Wasserstoff-Kernnetzes ungeklärt. Der Aufbau einer pipelinebasierten Transportinfrastruktur in Deutschland ist sehr kapitalintensiv, er kann sich angesichts des graduellen Hochlaufs der Wasserstoffwirtschaft nicht von Anfang selbst tragen. Die Konkretisierung der regulatorischen Rahmenbedingungen sowie die gesetzliche Festlegung des Finanzierungsmechanismus für den Aufbau des Wasserstoff-Kernnetzes im 1. Halbjahr 2024 stellen daher einen wichtigen Meilenstein für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft dar. Die Regelungen sehen vor, dass das Wasserstoff-Kernnetz grundsätzlich vollständig über Netzentgelte finanziert und privatwirtschaftlich aufgebaut werden soll. Dabei wird den Netzbetreibern eine risikoangemessene Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals gewährt. Die Netzentgelte werden anfangs gedeckelt, um zu verhindern, dass in den ersten Jahren des Netzaufbaus sehr hohe Entgelte den Wasserstoffhochlauf behindern. In der frühen Hochlaufphase entsteht dadurch eine Differenz zwischen den anfallenden Kosten und den Einnahmen. Diese Kostenunterdeckung bei den Netzbetreibern wird durch einen staatlich abgesicherten Fördermechanismus (Amortisationskonto) zwischenfinanziert. Wenn zu einem späteren Zeitpunkt mehr Nutzer an das Netz angeschlossen sind und Mehrerlöse generiert werden, soll der entstandene Fehlbetrag auf dem Amortisationskonto bis zum Jahr 2055 ausgeglichen werden. Sofern das Amortisationskonto bis 2055 nicht ausgeglichen sein sollte, greift eine

zusätzliche staatliche Absicherung. Dann gleicht der Bund den verbleibenden Fehlbetrag aus, die Betreiber des Wasserstoff-Kernnetzes beteiligen sich mit einem Selbstbehalt von bis zu 24 % des Fehlbetrags.

Die Fernleitungsnetzbetreiber haben Ende Juli 2024 ihren gemeinsamen Antrag für den Aufbau des Wasserstoff-Kernnetzes bei der Bundesnetzagentur eingereicht. Die Genehmigung wurde am 22. Oktober 2024 durch die Bundesnetzagentur erteilt. Damit stehen die konkreten Verläufe des Wasserstoffnetzes und die jeweiligen Fertigungsstellungszeiträume fest. Dies schafft Planungssicherheit für die Wasserstoffproduzenten und die Wasserstoffabnehmer.

Unterstützt wird der Aufbau des Wasserstoff-Kernnetzes durch staatliche Investitionszuschüsse, die von der EU-Kommission im Februar 2024 für ausgewählte Projekte im gemeinsamen europäischen Interesse beihilferechtlich genehmigt wurden. Im Rahmen dieser „IPCEI H2Infra-Welle“ (Important Projects of Common European Interest) werden Wasserstoffleitungen von bis zu 2.000 km Länge in Deutschland finanziell unterstützt. 70 % der Fördergelder werden dabei durch den Bund und 30 % durch die Bundesländer an den jeweiligen Investitionsstandorten bereitgestellt. Insgesamt wollen sich Bund und Länder mit rund 4,6 Mrd. EUR an den IPCEI Wasserstoffinfrastrukturprojekten in Deutschland beteiligen. Zu diesen Infrastrukturprojekten gehören neben Wasserstoffleitungen auch der Aufbau von Elektrolyseleistung und Wasserstoffspeicherkapazitäten.<sup>50</sup>

Zusätzlich zum Wasserstoff-Kernnetz braucht es auch Verteilernetze für den Weitertransport des Wasserstoffs an potenzielle Endverbraucher, die nicht direkt an das Wasserstoff-Kernnetz angeschlossen sind. Um die Transformation des bestehenden Gasverteilernetzes entsprechend anzustoßen, bedarf es hier ebenfalls eines neuen Ordnungsrahmens. Die Bundesregierung hat daher im Frühjahr 2024 ein Konsultationsprozess gestartet, um Handlungsbedarfe zu identifizieren und Handlungsoptionen mit den relevanten Akteuren zu diskutieren. Um Investitionssicherheit für die notwendigen Wasserstoffspeicher zu schaffen, wird aktuell auch an einer Wasserstoffspeicherstrategie gearbeitet, die bis Ende dieses Jahres vorgelegt werden soll.

### **Anreize für die Wasserstoffnachfrage sowie Investitions- und Betriebskostenzuschüsse sollen Aufbau heimischer Elektrolysekapazitäten beschleunigen**

Zum einen schaffen Klimaschutzverträge in der Industrie oder Quotenvorgaben für den Einsatz wasserstoffbasierter Kraftstoffe im Verkehrssektor gesicherte Nachfragen und somit auch Anreize für den Aufbau von Elektrolysekapazitäten. Zum ändern wurden im Rahmen der IPCEI H2Infra-Welle staatliche Investitionszuschüsse für die Anschubfinanzierung von insgesamt 1,4 GW Elektrolysekapazität in Deutschland beihilferechtlich genehmigt. §96 des Windenergie-auf-See-Gesetzes enthält zudem eine Verordnungsermächtigung zur Ausschreibung von Elektrolyseurleistung im Umfang von 500 MW jährlich in den Jahren 2023 bis 2028. Diese sollen systemdienlich zur Erzeugung von grünem Wasserstoff an Land genutzt werden, unter anderem mit Strom aus Offshore-Windparks. Bislang wurden diese angekündigten Ausschreibungen jedoch nicht realisiert.

Vielmehr hat Deutschland als erster Mitgliedstaat an dem neuen EU-Mechanismus „Ausschreibung als Service“ („Auction-as-a-Service“) der Europäischen Wasserstoffbank (European Hydrogen Bank, EHB) teilgenommen. Dafür hat die Bundesregierung zusätzlich 350 Mio. EUR zur Förderung von Elektrolyseprojekten in Deutschland bereitgestellt. Im November 2023 hat die EHB die erste EU-weite Ausschreibung für die Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff in der EU gestartet. Die Gewinner der Ausschreibung werden für einen Zeitraum von zehn Jahren eine fixe Prämie pro kg produzierten Wasserstoffs erhalten, um die Preisdifferenz zwischen ihren Produktionskosten und dem Marktpreis für Wasserstoff auszugleichen, der derzeit von den Herstellern nicht erneuerbaren Energiequellen dominiert wird. Die Förderhöhe wird im Rahmen der wettbewerblichen Ausschreibung ermittelt.

Ende April 2024 wurden die Gewinner der ersten EU-Ausschreibungsrunde bekannt gegeben. Insgesamt gingen 132 Gebote ein, von denen sieben Projekte in Portugal, Spanien, Norwegen und Finnland den Zuschlag erhielten. Zusammen wollen die erfolgreichen Bieter über einen Zeitraum von zehn Jahren 1,6 Mio. t erneuerbaren Wasserstoff produzieren. Die Förderhöhe beträgt insgesamt 720 Mio. EUR.<sup>51</sup> Die Mittel für die Auktion stammen aus Einnahmen aus dem EU-Emissionshandelssystem. Die von der deutschen Bundesregierung im Rahmen der Auktion bereitgestellten Fördermittel werden für die am höchsten bewerteten Elektrolyseprojekte in Deutschland eingesetzt, die zwar die Förderkriterien erfüllen, jedoch nicht bei der Zuschlagserteilung bei der EU-Förderung zum Zuge gekommen sind. Der Mechanismus „Ausschreibung als Service“ der Europäischen Wasserstoffbank ermöglicht es damit EU-Mitgliedstaaten, wettbewerbsfähige Projekte in ihrem Hoheitsgebiet zu ermitteln und zu unterstützen, ohne dass eine separate nationale Ausschreibung erforderlich ist.

### Importstrategie soll Investitionssicherheit für potenzielle Exportländer von Wasserstoff erhöhen

Der Import von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten nach Deutschland ist derzeit praktisch nicht existent. Die Infrastruktur für den großvolumigen Import von Wasserstoff muss ebenso wie die Erzeugungskapazitäten in den potenziellen Exportländern erst noch aufgebaut werden.<sup>52</sup> Vor diesen Hintergrund hat die Bundesregierung im Juli 2024 eine Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate beschlossen.<sup>53</sup> Ziel der Strategie ist es, klare Signale an Partnerländer und Unternehmen im Hinblick auf den Bedarf und die Bereitschaft Deutschlands, Wasserstoff und Wasserstoffderivate in großen Mengen zu importieren, zu senden. Sie soll dazu beitragen, Investitionssicherheit für die Wasserstoffproduktion in Partnerländern sowie für den Aufbau notwendiger Importinfrastruktur zu erhöhen. Entsprechend soll die Strategie Transparenz über Ziele, Rahmenbedingungen, den voraussichtlichen deutschen Importbedarf sowie den Aufbau von Wasserstoffpartnerschaften und -importrouten schaffen. Wesentliche Inhalte der Strategie sind unter anderem:

- **Diversifizierung der Produktpalette:** Neben molekularem grünem Wasserstoff gehören dazu auch Wasserstoffderivate (wie z. B. Ammoniak, Methanol, Naphtha und strombasierte Kraftstoffe) und Trägermedien für Wasserstoff (z. B. LOHC). Um einen raschen Wasserstoffhochlauf zu ermöglichen, bezieht die Importstrategie auch kohlenstoffarmen Wasserstoff und seine Derivate in die Bedarfsdeckung mit ein.

- **Diversifizierung der Lieferquellen:** Es wird eine breite Diversifizierung der Lieferketten angestrebt. Dazu kooperiert die Bundesregierung bislang im Rahmen von rund 30 Klima- und Energiepartnerschaften und Energiedialogen mit verschiedenen Ländern und Regionen. Zudem wurden in den vergangenen Jahren mit zahlreichen Partnerländern explizite Wasserstoffabkommen geschlossen, z. B. mit Kanada und Australien.
- **Transportinfrastruktur:** Wenn in den frühen 2030er-Jahren erste Pipelineimporte realisiert werden sollen, sind zeitnahe Absprachen zur Planung und Finanzierung der Pipelinekorridore zwischen den europäischen Ländern eine wesentliche Voraussetzung dafür. Die Bundesregierung will sich proaktiv für die Entwicklung eines europäischen Finanzierungskonzepts für den transeuropäischen Wasserstoffnetzaufbau einsetzen.
- **Angebotsförderung:** Um den internationalen Markthochlauf von grünem Wasserstoff voranzubringen, unterstützt Deutschland zudem Investitionen in internationale Wasserstoffprojekte mit Finanzierungs- und Garantieinstrumenten, z. B. dem Förderinstrument H2Global. Die Funktionsweise dieses Programms ist es, grünen Wasserstoff und seine Derivate über eine Auktion günstig außerhalb Europas einzukaufen und in Deutschland bzw. der EU meistbietend zu verkaufen. Die Differenzkosten zwischen dem (erwarteten höheren) Ankaufspreis und dem (niedrigeren) Verkaufspreis wird durch Fördermittel ausgeglichen. So wird den Wasserstoffexporteuren durch langfristige Abnahmeverträge Sicherheit für ihre Investitionsentscheidungen und den Abnehmern Planungssicherheit für die Wasserstoffbeschaffung ermöglicht. Darüber hinaus wirkt die Bundesregierung u. a. durch die Gründung des PtX-Entwicklungsfonds auf die internationale Verfügbarkeit von Wasserstoff hin. Ergänzt wird die angebotsseitige Förderung durch Instrumente der Außenwirtschaftsförderung, z. B. Exportkreditgarantien, Investitionsgarantien oder Ungebundene Finanzkredite.
- **Zertifizierung und Nachhaltigkeitsstandards:** Für die Herausbildung eines grenzüberschreitenden Handels muss sichergestellt werden, dass die gesetzten Anforderungen an grünen Wasserstoff und seine Derivate in den jeweiligen Wertschöpfungsketten international tatsächlich eingehalten werden. Dazu strebt die Bundesregierung für Wasserstoffimporte international anerkannte Zertifizierungen und Mindeststandards an. Zudem setzt sie sich im Dialog mit internationalen Partnern dafür ein, dass ambitionierte Nachhaltigkeitsstandards vereinbart, weiterentwickelt und weltweit eingehalten werden.

### Fazit: große Herausforderungen – Koordinierung und wirtschaftliche Anreize entscheidend

Grüner Wasserstoff ist ein zentraler Baustein für das Erreichen von Klimaneutralität. Der Aufbau der grünen Wasserstoffwirtschaft befindet sich noch in einem frühen Stadium – in Deutschland und weltweit. Vor diesem Hintergrund sind die Ziele der Nationalen Wasserstoffstrategie für das Jahr 2030 in Bezug auf den Ausbau der inländischen Elektrolysekapazitäten und die geplanten Importe von Wasserstoff sehr ambitioniert.

Aufgrund von Marktversagenstatbeständen und der Henne-Ei-Problematik sind politische Weichenstellungen zur Koordi-

nierung des nachfrage- und angebotsseitigen Hochlaufs der grünen Wasserstoffwirtschaft zentral. Mit den jüngsten Beschlüssen zum Aufbau und der Finanzierung des Wasserstoff-Kernetzes, dem Start der Ausschreibungen für die Klimaschutzverträge und der beihilferechtlichen Genehmigung von zahlreichen IPCEI-Wasserstoffinfrastrukturprojekten wurden wichtige Grundlagen für die Beschleunigung des Markthochlaufs in Deutschland geschaffen, sodass in den kommenden Monaten und Jahren mit mehr finalen Investitionsentscheidungen zu rechnen ist. Dennoch ist engmaschig zu monitoren, ob und inwieweit die Hebelwirkungen der bereits beschlossenen Politikmaßnahmen ausreichen, damit die relevanten Akteure die Investitionen in benötigtem Umfang tätigen.

Der Handlungsdruck ist weiterhin hoch, Notwendigkeiten bestehen in vielen Bereichen, beispielsweise die Entwicklung eines Ordnungs- und Finanzierungsrahmens für die Errichtung von Wasserstoff-Verteilernetzen und Wasserstoffspeichern, zeitnahe Beschlüsse auf EU-Ebene zur Planung und Finanzierung der transeuropäischen Pipelinekorridore, die Entwicklung eines international anerkannten Herkunftsnachweis- und Zertifizierungssystem für das Handelsgut Wasserstoff, das Vorantreiben von Nachhaltigkeitsstandards und die Etablierung eines liquiden Wasserstoffmarktes mit transparenten Marktpreisen.

Darüber hinaus bedarf es weiterer staatlicher Maßnahmen, um die Nachfrage nach grünem Wasserstoff weiter anzukurbeln. Die Schaffung einer gesicherten Nachfrage ist Voraussetzung für Investitionen auf der Angebotsseite. Vor diesem Hintergrund sollte das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz vorgelegte Konzept für grüne Leitmärkte, welches die Nachfrage nach klimafreundlich hergestellten Grundstoffen wie Stahl, Zement und Chemikalien stärken soll, zügig konkretisiert und umgesetzt werden.<sup>54</sup> Konkret geht es dabei um die Schaffung von Labels und Kennzeichnungssystemen, Mindestquoten für grüne Produkte bei der öffentlichen Beschaffung und Einsatzquoten für klimafreundliche Grundstoffe auf EU-Ebene.

Zentral bleibt gleichzeitig die Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie. Zur Begrenzung von Carbon Leakage ist frühzeitig Transparenz

hinsichtlich des Fördervolumens zukünftiger Ausschreibungsrunden von Klimaschutzverträgen und sonstiger wichtiger Förderprogramme zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu schaffen. Zudem braucht es eine europäische Lösung, womit Wettbewerbsnachteile von deutschen und europäischen Unternehmen bei Exporten in Drittländern kompensiert werden können, wenn die kostenlose Zuteilung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten im Rahmen des EU-Handelssystems ab 2026 schrittweise entfällt. Mit dem EU-CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) werden bislang nur Importe in die EU adressiert.

Die Transformation zur Klimaneutralität ist für Wirtschaft und Gesellschaft eine enorme Kraftanstrengung und erfordert erhebliche Investitionen. Gleichzeitig sind diese Investitionen Voraussetzung zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und zur Sicherung des zukünftigen Wohlstands. Rund 150 Staaten haben sich mittlerweile zum Ziel der Treibhausgasneutralität bekannt, die insgesamt rund 90 % der globalen Wirtschaftsleistung repräsentieren. Dies wird zu einem weltweiten Anstieg der Nachfrage nach Klimaschutztechnologien und treibhausgasneutralen Produkten führen. Vor diesem Hintergrund wird die Versorgung mit erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff in Zukunft für viele Branchen ein maßgeblicher Standortfaktor sein. Deshalb sind Investitionen in die grüne Wasserstoffinfrastruktur auch Investitionen in die Zukunftsfähigkeit des Industriestandorts Deutschlands.

Im Angesicht der großen Herausforderungen besitzt Deutschland im weltweiten Vergleich eine gute Startposition für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Beleg dafür ist neben den bereits implementierten Politikmaßnahmen beispielsweise auch das deutsche Knowhow beim Aufbau von Elektrolyseuren.<sup>55</sup> Gleichzeitig kann bei der Errichtung der Wasserstoffinfrastruktur auf bestehende Infrastruktur für den Transport von Erdgas zurückgegriffen werden (z. B. Gasnetze, Kavernenspeicher, LNG-Importterminals), was zu Kosteneinsparungen führt. Deutschland wird in großem Umfang auf Wasserstoffimporte angewiesen sein, kann relevante Mengen aber auch selbst produzieren, was im Vergleich zur fossilen Welt neu ist. Zielführend wird gleichwohl eine europäische Perspektive sein, denn in den europäischen Regionen schlummern umfangreiche Potenziale zur Wasserstofferzeugung.

<sup>1</sup> Vgl. Stiftung Klimaneutralität et al. (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien.

<sup>2</sup> Vgl. DEHEMA, acatech (2023): Internationale Wasserstoffstrategien im Vergleich.

<sup>3</sup> Vgl. Bundesregierung (2023): Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. NWS 2023.

<sup>4</sup> Vgl. EY, BDEW (2024): Fortschrittsmonitor 2024. Energiewende.

<sup>5</sup> Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2024a): Update 2024: Treibhausgaseinsparung und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland. Anmerkung: Für das Jahr 2030 wird davon ausgegangen, dass der bisher mittels grauen Wasserstoffs gedeckte Bedarf der Chemieindustrie nur anteilig durch klimaneutralen Wasserstoff gedeckt wird. Damit umfasst die Angabe für den Wasserstoffbedarf 2030 ebenso die Nachfrage nach grauem Wasserstoff. Bis 2045 wird der ausgewiesene Wasserstoffbedarf sukzessive auf ausschließlich klimaneutralen Wasserstoff umgestellt.

<sup>6</sup> Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2024a): ebenda.

<sup>7</sup> Vgl. BMWK (2023): Zwischenbericht der Systementwicklungsstrategie.

<sup>8</sup> Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse. Stellungnahme.

<sup>9</sup> Für den Vergleich wurden vier Klimaneutralitätsszenarien aus den folgenden Studien ausgewählt: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende; BCG (2021): Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Studie im Auftrag vom Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI); Deutsche Energie-Agentur GmbH (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität; Fraunhofer ISI, consentec, ifeu, TU Berlin, E&R Energy and Resources (2024): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Energieangebot. Präsentation vom 15.02.2024. Erstellung der Szenarien im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

<sup>10</sup> Vgl. u. a. BDEW, DVGW., Zukunft Gas (2023): Wege zu einem resilienten und klimaneutralen Energiesystem. 2045 Transformationspfad für die neuen Gase; Agora Industrie, Agora Energiewende (2023): Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland; BMWK (2023): Zwischenbericht der Systementwicklungsstrategie.

<sup>11</sup> Vgl. auch Bundesregierung (2024): Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate.

<sup>12</sup> Vgl. Agora Verkehrswende (2023): E-Fuels zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Diskussionspapier.

- <sup>13</sup> Vgl. Team Consult (2023): Metastudie bestehender Szenarioanalysen zu Mengen- und Kostenerwartungen erneuerbarer und dekarbonisierter Gase im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts „Wege zu einem resilienten und klimaneutralen Energiesystem – Transformationspfad für die neuen Gase“, Studie im Auftrag von BDEW, DVGW und Zukunft Gas.
- <sup>14</sup> Vgl. Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring (2024): Monotoringbericht.
- <sup>15</sup> Vgl. Team Consult (2023): a. a. O..
- <sup>16</sup> Vgl. EY, BDEW (2024): Fortschrittsmonitor 2024. Energiewende.
- <sup>17</sup> Vgl. Germanwatch (2024): Blauer Wasserstoff: Katalysator oder Stolperstein für eine klimaneutrale Wasserstoffwirtschaft.
- <sup>18</sup> Vgl. IEA (2024): Global Hydrogen Review 2024.
- <sup>19</sup> Vgl. DIW (2023): Nationale Wasserstoffstrategie konsequent und mit klarem Fokus umsetzen, DIW-Wochenbericht 41/2023. Anmerkung: Produktionsmenge wurde unter der Annahme einer Auslastung der Elektrolyseanlagen von 4.000 Volllaststunden pro Jahr und einem Elektrolysewirkungsgrad von rund 70 % berechnet.
- <sup>20</sup> Vgl. Bundesregierung (2023): a. a. O..
- <sup>21</sup> Derzeit werden unterirdische Kavernen in Deutschland (Hohlräume in Salzstöcken) vor allem zur Erdgasspeicherung genutzt.
- <sup>22</sup> Vgl. Fraunhofer ISI, consentec, ifeu, TU Berlin, E&R Energy and Resources (2024): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Energieangebot. Präsentation vom 15.02.2024. Erstellung der Szenarien im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).
- <sup>23</sup> Vgl. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI, 2024): Datengrundlage für E.ON H<sub>2</sub>Bilanz 2024, 1. Halbjahr. Begleitdokument zur Einordnung der Ergebnisse.
- <sup>24</sup> Vgl. Strategy& (2024): Navigating the hydrogen ecosystem. What is preventing progress and how to gain Momentum? und IEA (2024): Global Hydrogen Review 2024.
- <sup>25</sup> Vgl. ebenda.
- <sup>26</sup> Vgl. ebenda.
- <sup>27</sup> Vgl. IEA (2023): Lagging policy support and rising cost pressures put investment plans for low-emissions hydrogen at risk, Pressemitteilung vom 22. September 2023.
- <sup>28</sup> Vgl. Bundesregierung (2023): a. a. O..
- <sup>29</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (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
- <sup>30</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (2024): a. a. O..
- <sup>31</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (2024): a. a. O..
- <sup>32</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (2024): a. a. O.; Agora Energiewende (2024): Wasserstoffimporte Deutschlands; BMWK (2023): Zwischenbericht der Systementwicklungsstrategie.
- <sup>33</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (2024): a. a. O..
- <sup>34</sup> Vgl. BMWK (2023): a. a. O.; Fraunhofer ISI (2024): a. a. O..
- <sup>35</sup> Vgl. Fraunhofer IEE (2021): PTX-Atlas: Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen, Teilbericht im Rahmen des Projektes DeV-KopSys.
- <sup>36</sup> Vgl. Fraunhofer ISI (2024): a. a. O..
- <sup>37</sup> Vgl. Bundesregierung (2023): a. a. O..
- <sup>38</sup> Vgl. Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring (2024): a. a. O..
- <sup>39</sup> Vgl. Agora Energiewende; Agora Industrie (2022): 12 Thesen zu Wasserstoff.
- <sup>40</sup> Technisch stellt die Umstellung der bestehenden Gasleitungen von Erdgas auf Wasserstoff keine Hürde dar. Alle Fernnetzbetreiber haben ihre Leitungen auf die Umstellbarkeit geprüft. Die Stähle der Fernleitungen sind für den Wasserstofftransport geeignet. Einzelne Komponenten, wie etwa Messgeräte oder Verdichter, werden neu zu errichten sein. (Quelle: FNG)
- <sup>41</sup> Vgl. Bundesnetzagentur (2024): Bundesnetzagentur genehmigt Wasserstoff-Kernnetz, Pressemitteilung vom 22.10.2024.
- <sup>42</sup> Vgl. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI, 2024): a. a. O..
- <sup>43</sup> Vgl. BMWK (2023): a. a. O..
- <sup>44</sup> Vgl. Kirchem, D. und W. Schill (2023): Heimische Produktion von grünem Wasserstoff kann mit Kavernenspeicherung günstiger werden, in: DIW Wochenbericht, Heft 41/2023.
- <sup>45</sup> Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2024b): Versorgung mit Wasserstoff – Fristentransformation, Koordination und Produktstrukturierung als notwendige Elemente eines ambitionierten und effizienten Wasserstoffhochlaufs, Stellungnahme.
- <sup>46</sup> Vgl. Frontier Economics (2023): Herausforderungen und Instrumente zur Unterstützung des Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland. Kurzstudie im Auftrag von E.ON Hydrogen GmbH.
- <sup>47</sup> Vgl. Nationaler Wasserstoffrat (2024b): a. a. O..
- <sup>48</sup> BMWK (2024): Habeck übergibt erste Klimaschutzverträge: 15 Transformationsprojekte können starten. Pressemitteilung vom 15.10.2024.
- <sup>49</sup> Vgl. BMWK (2024): Auf dem Weg zur klimaneutralen Stromerzeugung: Grünes Licht für Kraftwerkssicherheitsgesetz, Pressemitteilung vom 05.07.2024.
- <sup>50</sup> Vgl. BMWK (2024). Offizieller Startschuss für die Umsetzung von 23 IPCEI-Wasserstoffprojekten in Deutschland, Pressemitteilung vom 15.07.2024.
- <sup>51</sup> EU-Kommission, Vertretung in Deutschland (2024): Erste Auktion der Europäischen Wasserstoffbank: Sieben Projekte erhalten 720 Mio. EUR, Pressemitteilung vom 30.04.2024.
- <sup>52</sup> Vgl. EY, BDEW (2024): Fortschrittsmonitor 2024. Energiewende.
- <sup>53</sup> Vgl. Bundesregierung (2024): Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate.
- <sup>54</sup> Vgl. BMWK (2024): Leitmarkt für klimafreundliche Grundstoffe. Konzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.
- <sup>55</sup> Bei den globalen Patentanmeldungen zur Elektrolyse rangiert Deutschland auf Platz 3 nach den USA und Japan (Fraunhofer ISI 2024).