



Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland

1 HINTERGRUND UND EINORDNUNG

Der Nationale Wasserstoffrat berät die Bundesregierung bei der Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Er greift dabei auf ein eigens entwickeltes Modell zur Datensammlung und -bewertung zurück, um bei seiner Arbeit von einheitlichen und realistischen Annahmen bezüglich der Wasserstoffbedarfe in Deutschland in den kommenden Jahren bzw. Jahrzehnten ausgehen zu können. Änderungen bei den Rahmenbedingungen sind dabei abbildbar und Auswirkungen auf die H₂-Bedarfe schnell darstellbar.

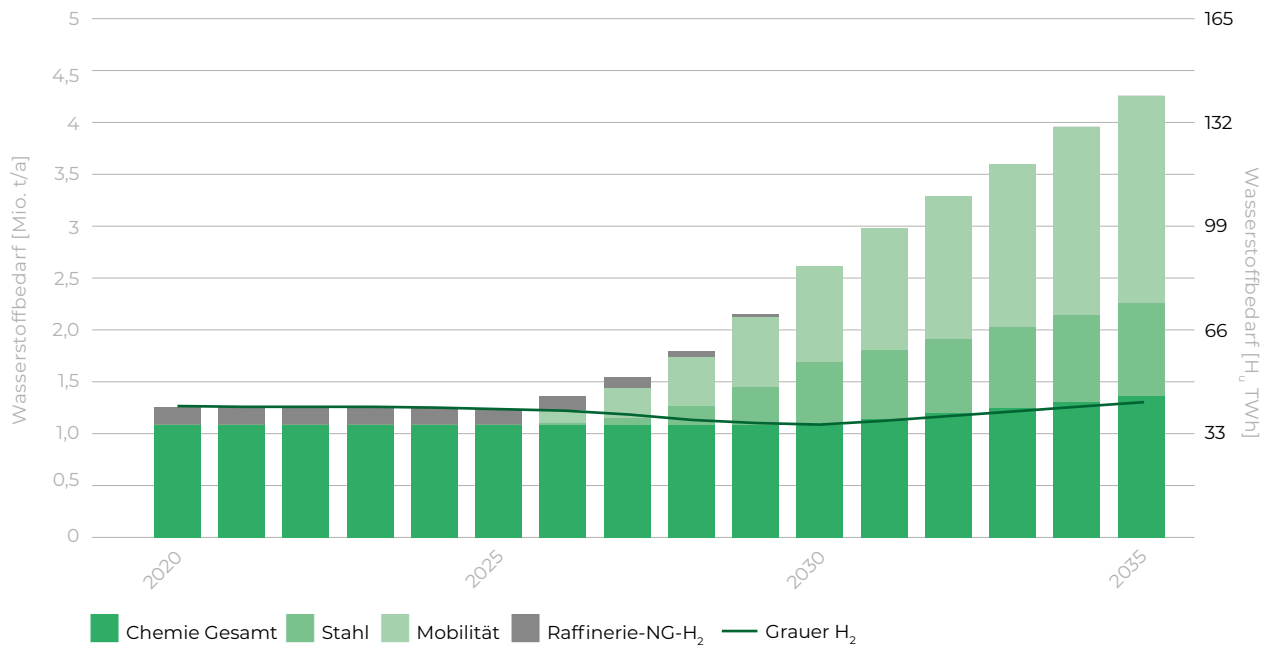
Durch die geopolitischen Verwerfungen infolge des russischen Angriffs auf die Ukraine und die resultierenden Änderungen insbesondere für den Energiesektor haben sich die Rahmenbedingungen nun jedoch derart schwerwiegend geändert, dass eine bloße Anpassung nicht ohne Weiteres möglich ist. Deshalb soll das Modell mit den vorliegenden Daten, auf Basis der bisherigen Rahmenbedingungen, finalisiert werden, um im nächsten Schritt eine grundlegende Anpassung des Datenmaterials vorzunehmen.

Zwei zentrale Aussagen zeichnen sich gleichwohl deutlich ab. Zum einen: Die Bedarfe sind deutlich höher als die früheren Mengenplanungen der Bundesregierung. Mit etwa 44 TWh (rund 1,3 Mio. t/a)¹ an grünem Wasserstoff im Jahr 2030 hatte der NWR bereits vor dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine gerechnet, ohne dass hier der Wärmemarkt, Rückverstromung und Ersatz von konventionellem (grauem) H₂ inkludiert waren. Dies entspricht bereits einer Elektrolyseleistung von mehr als 18 GW im In- und Ausland.² Infolge veränderter Rahmenbedingungen zeichnet sich ab, dass die Bedarfe noch deutlich höher einzustufen sind. Allein durch eine Beschleunigung des Transformationspfades in der Stahlindustrie ist mit einer zusätzlichen H₂-Nachfrage in Höhe von bis zu ca. 0,25 Mio. t/a (entspricht rund 8 TWh) im Jahr 2030 zu rechnen. Insgesamt ist für das Jahr 2030 mit einer Gesamtmenge von 56 bis 93 TWh zu rechnen. Dies entspricht einer Elektrolyseleistung von 23 bis 39 GW², ohne dass damit eine Aussage getroffen werden kann, ob diese im In- oder Ausland installiert werden müssten: Die Frage der Herkunft des klimaneutralen bzw. weitgehend klimaneutralen Wasserstoffs wird im vorliegenden Papier nicht weiter beleuchtet.

¹ Eine kompakte Übersicht der diversen H₂-Bedarfe in Mio. t und TWh sowie der korrespondierenden CO₂-Vermeidung findet sich am Ende des Dokumentes.

² Auf Basis des unteren Heizwertes (H_u) von H₂, bei 60 % Wirkungsgrad und 4.000 Volllaststunden p. a.

Grafik 1: Wasserstoffbedarfe in verschiedenen Sektoren (ohne Wärme) bis 2035³



Schließlich sei darauf hingewiesen, dass bereits heute erhebliche Mengen an Wasserstoff vor allen Dingen in der chemischen Industrie eingesetzt werden³. Dabei handelt es sich jedoch um grauen Wasserstoff, die entsprechende Größenordnung ist in Grafik 1 mitgezeigt. Die folgenden Darstellungen beziehen sich allerdings nur auf den Anteil klimaneutralen bzw. weitgehend klimaneutralen Wasserstoffs. Langfristig werden aber auch die Bedarfsmengen an grauem Wasserstoff durch grünen Wasserstoff abgedeckt werden müssen.

Ein zweiter Erkenntnisgewinn bezieht sich auf die CO₂-Vermeidung, die mit dem Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Branchen verbunden ist. Der „Vermeidungshebel“ ist insbesondere in der Stahlindustrie besonders ausgeprägt mit 25 t vermiedenem CO₂ pro Tonne an grünem Wasserstoff. Insgesamt können in den hier untersuchten Sektoren (ohne Wärme) durch den Einsatz von klimaneutralem oder weitgehend klimaneutralem Wasserstoff knapp 170 Mio. t CO₂ p. a. im Jahr 2050 vermieden werden. Die Datenanalyse bestätigt damit die zentrale Rolle eines raschen Hochlaufs von klimaneutralem Wasserstoff für das Erreichen der Klimaziele.

2 RAHMENBEDINGUNGEN UND ANGEWANDTE METHODEN

Die Wasserstoffbedarfe der Sektoren Mobilität, Stahlerzeugung, chemische Industrie und – mit Einschränkungen – Wärme wurden auf Basis der jeweiligen Branchenstrategie zur Erreichung der Klimaziele ermittelt. Hierbei wurden nur die wichtigsten CO₂- bzw. H₂-relevanten Prozesse durch die Branchenvertreter identifiziert und betrachtet:

³ In der Chemieindustrie (ohne Raffinerien) werden rund 1,1 Mio. t/a grauer Wasserstoff eingesetzt, hier wird davon ausgegangen, dass dieser frühestens in der 2. Hälfte der 2030er-Jahre in nennenswerter Weise durch klimaneutralen Wasserstoff ersetzt wird.

- ° Chemie: Erzeugung von Methanol, Ammoniak, allgemeiner H₂-Bedarf und Substitution von fossilem Rohstoff für die Basischemie;
- ° Stahl: Umstellung auf Eisenerz-Direktreduktion und Wärmebedarf, Hochtemperaturprozesse in der Elektrostahlerzeugung sowie für die Weiterverarbeitung;
- ° Mobilität: Wasserstoff und Derivate in Raffinerien sowie als Kraftstoff für Luftfahrt, Schwerlastverkehr, Schiff und Bahn;
- ° Wärme: Ersatz fossiler Brennstoffe in Gebäudeheizungssystemen⁴.

Aus diesen Sektoren wurden von Industrievertretern Kurzbeschreibungen erstellt, durch Fraunhofer plausibilisiert, Daten grafisch aufbereitet und in einer einheitlichen, vergleichenden Datenbasis zusammengestellt. Es erfolgte keine eigene Datenerhebung seitens Fraunhofer.⁵ Weitere Sektoren werden im vorliegenden Dokument erwähnt und in die Gesamtrechnung inkludiert, um ein weitgehend vollständiges Bild zu ermöglichen. In der Betrachtung von Fraunhofer sind diese Industriebereiche (wie Glas- und Papierherstellung beispielsweise oder auch die Rückverstromung) jedoch nicht enthalten.

3 BEDARFE IN UNTERSCHIEDLICHEN SEKTOREN

Das zentrale Interesse aller Stakeholder bezüglich einer Einschätzung von Wasserstoffbedarfen liegt auf dem Jahr 2030: Davor muss der entsprechende Markthochlauf begonnen haben, anschließend sollte ein Markt existieren, der Angebot und Nachfrage zufriedenstellend zusammenbringt. Im Jahr 2030 jedoch ist damit zu rechnen, dass die Nachfrage das Angebot übersteigt, es ist somit von höchster Relevanz, eine einigermaßen plausible Abschätzung der dann zu erwartenden Nachfrage verfügbar zu machen, um regulatorische Maßnahmen ebenso wie privatwirtschaftliche Investitionen entsprechend vornehmen zu können.

Ein belastbares Bild besteht für die im Folgenden dargestellten Prozessindustrien und den Mobilitäts- und Transportsektor. Weniger klar, aber gleichermaßen wichtig sind der Wärme- und Energiesektor – die jedoch mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet sind.

3.1 Prozessindustrien

Für verschiedene Industriebereiche ist Erdgas nicht nur Energieträger, sondern als Prozessgas notwendiger Bestandteil der Produktion. Eine Elektrifizierung ist in den Prozessindustrien überwiegend unmöglich oder zumindest unwirtschaftlich, eine Umstellung auf Wasserstoff als Prozessgas ist daher meist die einzige Option hin zu einer CO₂-neutralen Produktion.

Stahlindustrie

Für die Stahlindustrie ist klimaneutraler Wasserstoff unverzichtbar, um die Klimaziele zu erreichen und klimaneutral zu produzieren. Der Wasserstoff wird sowohl als Reduktionsmittel bei der Eisenerz-Direktreduktion für die Primärstahlerzeugung wie auch als Energieträger in verschiedenen Hochtempera-

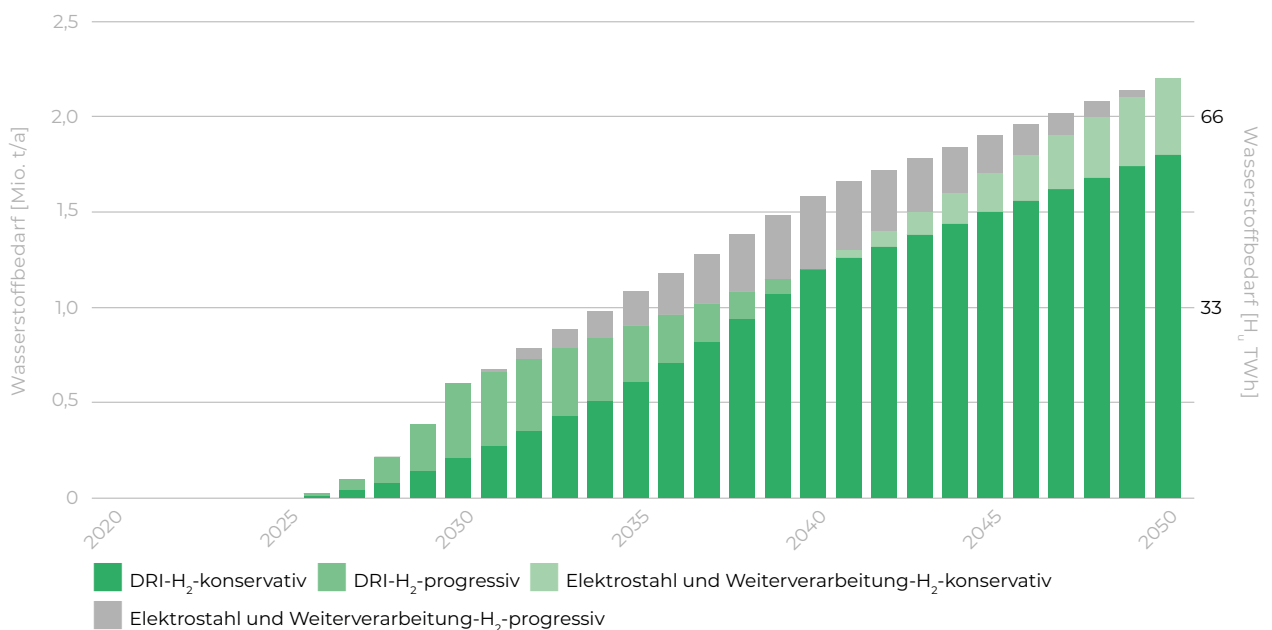
⁴ Wie in Abschnitt 3.3 dargestellt wird der Wärmemarkt hier auf Basis der vom NWR in Auftrag gegebenen Bottom-up-Studie betrachtet. Die zuvor angestellten Betrachtungen zum Ersatz fossiler Brennstoffe in Gebäudeheizungssystemen sind hier aus systematischen Gründen zwar aufgeführt, werden aber nicht weiter beachtet, da die genannte Bottom-up-Studie nicht nur neueren Datum ist, sondern auch präziser auf den Wärmemarkt eingeht und Prozesswärme berücksichtigt, sofern die industriellen Nutzer an Verteilnetzen angeschlossen sind.

⁵ Die grafisch aufbereiteten Daten stehen in einer umfangreichen Foliensammlung zur Verfügung. Ausgewählte Grafiken werden im vorliegenden Dokument zur Veranschaulichung der Vorgehensweise und der wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

turprozessen in der Sekundärstahlerzeugung und der Stahlweiterverarbeitung benötigt. Es entsteht bereits vor 2030 ein erheblicher Bedarf an klimaneutralem Wasserstoff in der Stahlindustrie. Damit können schon in der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts signifikante Mengen an CO₂-Reduzierungen mit hohem Effizienzfaktor realisiert werden (rund 28 t CO₂ pro 1 t H₂ durch den Ersatz von Kohle durch klimaneutralen H₂ in der Direktreduktion).

Bei einem Aufbau von 10 Mio. t Direktreduktionskapazitäten (DRI = Direct Reduced Iron) bis 2030 entsteht ein Wasserstoffbedarf von bis zu 600.000 t/a (ca. 20 TWh). Damit bereits Anfang der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre die ersten Direktreduktionsanlagen in Betrieb gehen können wird, muss Erdgas für die Eisenerz-Direktreduktion zum Einsatz kommen. Allerdings ist diese Brücke als Flexibilitätsoption für die Stahlindustrie schmaler und teurer geworden. Bis 2030 wird sich zudem voraussichtlich ein größerer Aufbau von DRI-Kapazitäten als 10 Mio. t ergeben (bis zu 14 Mio. t). Damit verbunden ist auch, dass der Wasserstoffbedarf um etwa 40 % größer ausfallen könnte als bislang erwartet (850.000 t/a, entspricht rund 28 TWh). Auch für den Zeitraum zwischen 2030 und 2035 ist nun mit einem deutlich erhöhten Bedarf (1,6 Mio. t/a bzw. ca. 53 TWh) zu rechnen. Für die vollständige Dekarbonisierung der Stahlindustrie wird ein Wasserstoffbedarf von ca. 2,2 Mio. t/a (73 TWh) benötigt.

Grafik 2: H₂-Bedarf für DRI, Elektro Stahl und Weiterverarbeitung konservativ sowie schneller ansteigender Bedarf im progressiven Szenario



Chemieindustrie

In der Chemieindustrie (ohne Raffinerien) geht es einerseits darum, den bestehenden Wasserstoffbedarf von ca. 1 Mio. t (bislang grauer Wasserstoff) durch klimaneutralen Wasserstoff zu ersetzen. Hierfür bedarf es vor allem bei der Ammoniakproduktion völlig neuer Anlagenkonzepte, in die investiert werden muss. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen ist mit diesen Investitionen wahrscheinlich erst in den 2030er-Jahren zu rechnen.

Der künftig erhebliche, zusätzliche Wasserstoffbedarf ergibt sich andererseits aus der Notwendigkeit, auch die bislang weitgehend fossile Rohstoffbasis treibhausgasneutral zu gestalten. Neben einem verstärkten Recycling und dem Einsatz von Biomasse wird hier vor allem die Nutzung von CO₂ als Kohlen-

stofflieferant eine Rolle spielen. Für die Umsetzung von CO₂ zu treibhausgasneutralen Kohlenwasserstoffen als Rohstoff (grünes Naphtha) oder direkt als Basischemikalien (Methanol) wird Wasserstoff als Co-Faktor benötigt. Der hier dargestellte Bedarf an Wasserstoff ergibt sich aus einer ersten Abschätzung, dass etwa 55 % des Kohlenstoffbedarfs in Zukunft durch CO₂ gedeckt werden sollen. Der Wasserstoffbedarf kann jedoch auch höher ausfallen, wenn die zugrunde gelegten Recycling- und Biomasseanteile bei der Rohstoffversorgung nicht erreicht werden. Dieser zukünftige Wasserstoffbedarf wird allerdings auch erst im Laufe der 2030er-Jahre anfallen, wenn die entsprechenden Umsetzungstechnologien für CO₂ die erforderliche technische Reife erzielt haben. Eventueller Wasserstoffbedarf für die Prozesswärmebereitstellung, die heute aus Erdgas gedeckt wird, wurde hier unberücksichtigt gelassen.

Weitere Prozessindustrien

Die grundsätzliche Frage, inwieweit mit welchem Zeithorizont Gas durch CO₂-neutrale Substitute wie Wasserstoff ersetzt werden kann, stellt sich neben Stahl und Chemie auch für eine Reihe von anderen Industriezweigen in Deutschland, etwa die Glas- oder Papierherstellung. So lag der Gasverbrauch zur Glasherstellung in 2021 bei knapp 14 TWh p. a.⁶ und für die Papierbranche bei knapp 26 TWh p. a.⁷ Für das Jahr 2030 jedoch rechnet der Bundesverband Glasindustrie e. V. lediglich mit rund 1 TWh, seitens des Verbandes DIE PAPIERINDUSTRIE e. V. gibt es keine bekannte Abschätzung von H₂-Bedarfen im Jahr 2030.

3.2 Verkehrs- bzw. Transportsektor

Klimafreundlich erzeugter Wasserstoff kann auch im Verkehrs- bzw. Transportsektor einen wesentlichen Beitrag zur Zielerreichung darstellen. Neben direkt genutztem erneuerbarem Strom werden schon mittelfristig Wasserstoff und wasserstoffbasierte Kraftstoffe, insbesondere im straßengebundenen Schwerlastverkehr, im Flug- und Schiffs- sowie Schienenverkehr, der wichtigste Energieträger werden. Immer dort, wo über lange Distanzen viele Personen oder schwere Güter transportiert werden, ist der Einsatz von Wasserstoff oder wasserstoffbasierten Kraftstoffen eine wichtige Lösung. Die Nutzung von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten im Bereich der Mobilität wurde im Folgenden anwendungsbezogen beleuchtet, sowohl für den straßengebundenen Verkehr als auch für übrige Anwendungen. Die Rolle von wasserstoffbasierten Kraftstoffen (E-Fuels) wurde dabei gesondert betrachtet. Insgesamt erachtet der NWR einen Wasserstoffbedarf im Jahr 2030 von ca. 30 TWh als plausibel. Dieser unterteilt sich in direkt genutzten Wasserstoff (vor allem in brennstoffzellenelektrischen Antriebsformen des Schwerlastverkehrs) in einer Größenordnung von ca. 20 TWh sowie für die Produktion von Syntheseprodukten in einer Größenordnung von ca. 10 TWh. Nicht zuletzt getrieben von noch anspruchsvolleren CO₂-Reduktionszielen ab 2030 wird der Bedarf an Wasserstoff im Mobilitätssektor bis 2035 nochmals drastisch zunehmen. Insbesondere im schweren Nutzfahrzeugbereich erwartet der NWR nach aktuellen Abschätzungen das Drei- bis Vierfache des Verbrauchs von 2030.

Individualverkehr inkl. leichter Nutzfahrzeuge

Der Pkw-Verkehr fokussiert sich heute hauptsächlich auf batterieelektrische Antriebsstränge, um seine CO₂-Reduktionsziele zu erfüllen. Sofern der Ausbau der notwendigen Ladeinfrastruktur einschließlich der zugehörigen Stromnetze gelingt und die notwendigen kritischen Rohstoffe für die Batterie bereit-

⁶ Siehe Abschlussbericht HyGlass („Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase“), abgerufen am 7. Dezember 2022 unter: <https://www.bvglas.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2514&token=69553e2ada72ffc160a9ebce8174bfcedf2870ec>.

⁷ Siehe DIE PAPIERINDUSTRIE – Leistungsbericht PAPIER 2022, abgerufen am 24. November 2022 unter: <https://gas.info/industrie/papierherstellung-gas, Energiebedarf: 47 TWh/a, davon 55 % Gas.>

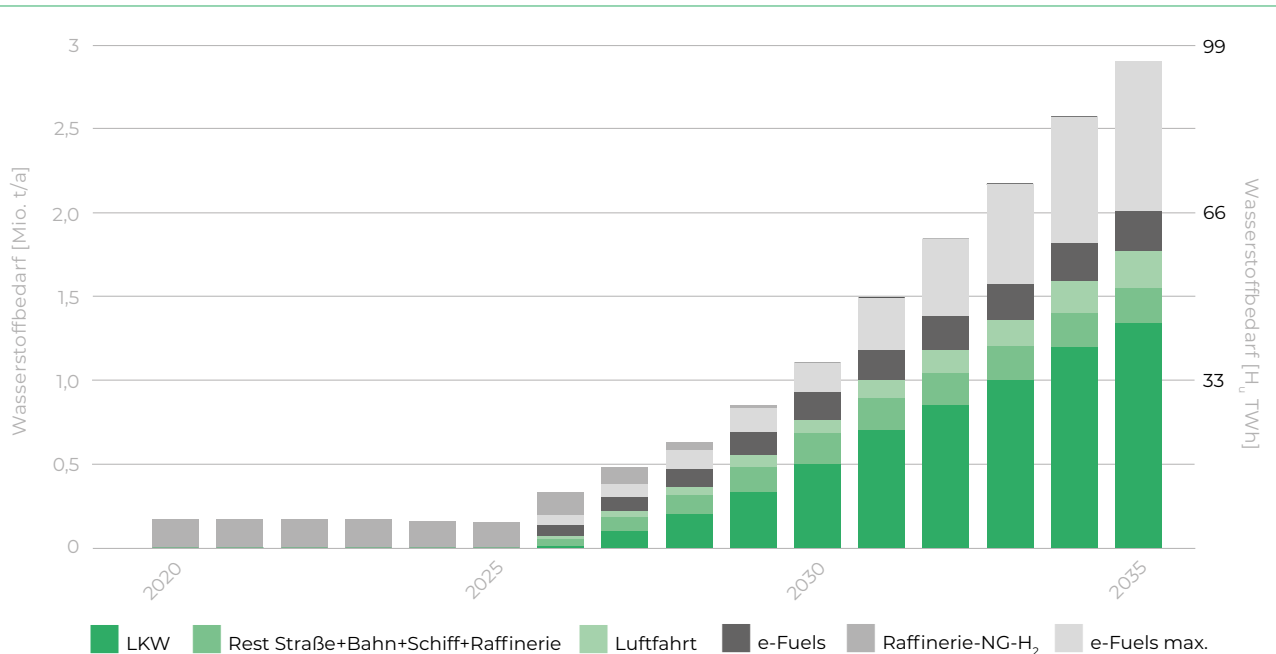
gestellt werden, dürfte ein weitgehender Marktanteil erreicht werden. Einige Hersteller, teilweise mit dem Fokus außerhalb der EU, sind auch dabei, wasserstoffelektrische Fahrzeuge als ein ergänzendes Marktsegment weiterzuentwickeln. Hierbei ist darauf zu verweisen, dass diese Entwicklungen zum großen Teil außerhalb Deutschlands unter anderen politischen und geografischen Rahmenbedingungen erfolgen und von dort wirtschaftlich wettbewerbsfähige Alternativen zum batterieelektrischen Pkw zu erwarten sind. Der erwartete Wasserstoffbedarf für Pkw-Anwendungen ist zumindest für 2030 relativ gering.

Schwerlastverkehr

Für hohe Reichweiten haben einige Lkw-Hersteller bereits Brennstoffzellenfahrzeuge angekündigt oder schon auf den Markt gebracht. Die für 2030 prognostizierte Menge von knapp 0,5 Mio. t H₂ (17 TWh) basiert auf der Annahme, dass ergänzend zum H₂-Einsatz in Raffinerien dann ca. 38.000 Heavy Duty Vehicles (HDV) mit Brennstoffzellen in Deutschland zugelassen sein werden.⁸

Die Europäische Kommission überarbeitet gerade die CO₂-Ziele für schwere Nutzfahrzeuge. Sollten dabei schärfere Vorgaben formuliert und im parlamentarischen Prozess bestätigt werden, dann werden auch diese 38.000 Lkw nicht ausreichen, um diese Ziele zu erfüllen.

Grafik 3: Entwicklung des Wasserstoffbedarfs der verschiedenen Verkehrsträger



Raffinerien

Aus methodischen Gründen wird der Wasserstoffeinsatz in den Raffinerien hier dem Mobilitätssektor zugerechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der heute dort verwendete, aus Erdgas hergestellte Wasserstoff vergleichsweise schnell durch grünen Wasserstoff ersetzt werden kann. Damit entsteht ein Substitutionsbedarf von etwa 0,33 Mio. t bzw. 11 TWh Wasserstoff bis 2030.

⁸ Eine aktuelle vom Bundesverkehrsministerium in Auftrag gegebene Studie ergab, dass bis 2030 etwa 38.000 H₂-Lkw zugelassen sein werden. Für diese HDV kann mit einem jährlichen Verbrauch von ca. 380.000 t H₂ gerechnet werden. Hinzu kommen weitere ca. 100.000 t H₂ für Lkw, die außerhalb Deutschlands zugelassen sind, aber in Deutschland unterwegs sein werden und daher hier betankt werden müssen.

Luftfahrt

Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsanalysen wie beispielsweise die DLR-Luftfahrtstrategie⁹ zeigen, dass Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil der zukünftigen Technologie der Luftfahrt sein kann. Wenn technologisch weiterentwickelte Flugzeuge mit H₂-Antrieb in Segmenten eingesetzt werden, in denen sie das kostengünstigste Mittel zur Dekarbonisierung sind, könnten sie bis 2050 ein optimistisches Marktpotenzial von 35 bis 40 % erreichen.¹⁰ Wenn Sustainable Aviation Fuels (SAF) die verbleibenden 60 bis 65 % der Flugzeuge antreiben, würden die Klimaauswirkungen der Luftfahrt enorm sinken und somit die von der EU und von ATAG festgelegten CO₂-Reduktionsziele in greifbare Nähe rücken.¹¹ Der signifikante Einsatz von Wasserstoff und Derivaten wird allerdings erst in den 2030er-Jahren relevant werden – für das Jahr 2030 ist im Hinblick auf die rechtlichen Vorgaben (RED II) von einer Menge von ca. 100.000 t H₂ (ca. 3 TWh) auszugehen.

Schifffahrt

Für den maritimen Sektor spielen Wasserstoff und seine Derivate eine entscheidende Rolle für die Dekarbonisierung, da eine direkte Elektrifizierung hier bestenfalls in Nischen gelingen wird. Dennoch sind die für Deutschland zu betrachtenden Mengen im Jahr 2030 eher gering einzuschätzen (ca. 15.000 t H₂, entspricht etwa 0,5 TWh). Geht man jedoch von einer ambitionierten Quote bereits Ende der 2020er-Jahre aus, kann mit einer Menge von rund 80.000 t H₂ (ca. 2,5 TWh) gerechnet werden.¹²

Die Rolle der E-Fuels

Auch im Jahr 2030 werden vermutlich noch 75 % aller Bestandsfahrzeuge im Straßenverkehr mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet sein. Ein für Luft- und Schifffahrt notwendiger Markthochlauf von weitgehend klimaneutralen, wasserstoffbasierten Kraftstoffen kann hier in der Übergangsphase weitere Treibhausgasreduktionen erwirken. Für alle Anwendungen, die schwer zu elektrifizieren sind, in denen weder Fahrzeuge noch eine Infrastruktur für die direkte Wasserstoffnutzung zur Verfügung stehen oder in denen eine Vermeidung und Verlagerung von Verkehr nicht möglich sind, könnten ebenfalls strombasierte Kraftstoffe genutzt werden, beispielsweise für mobile Maschinen in der Bauindustrie und der Landwirtschaft. Eine vorsichtige Schätzung des NWR geht von knapp 6 TWh aus, die als kohlenstoffhaltige, wasserstoffbasierte Derivate (aus Kostengründen) voraussichtlich aus Ländern außerhalb der EU importiert würden.

Sonstige Anwendungen

Die Verwendung von fossilem Diesel im Zugverkehr wird zunehmend zurückgedrängt. Wasserstoff und die Brennstoffzelle sind hier wesentliche Alternativen, die absehbar allerdings nur zu überschaubaren Wasserstoffbedarfsmengen führen werden und entsprechend in die europäischen Entwicklungen eingebettet sein müssen, insbesondere vor dem Hintergrund der neuen transeuropäischen Verbünde.

3.3 Wärmemarkt

Der Wärmesektor ist für mehr als die Hälfte des deutschen Endenergiebedarfs verantwortlich und ein wichtiges Segment zur Erreichung der Klimaschutzziele. Die vom NWR in Auftrag gegebene Bottom-up-Studie Wärmemarkt hat gezeigt, dass eine „One-size-fits-all“-Lösung nicht existiert. Vielmehr ist

⁹ Siehe Auf dem Weg zu einer emissionsfreien Luftfahrt, 2021 (https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2021/luftfahrtstrategie-des-dlr-zum-european-green-deal-zusammenfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=4).

¹⁰ McKinsey: Hydrogen-powered aviation: A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050 (May 2020).

¹¹ Siehe auch Wasserstoff für die Luftfahrt in Deutschland, Stellungnahme des NWR vom 16.04.2021.

¹² Siehe beispielsweise Roadmap für die Maritime Energiewende (<https://vdma.org/viewer/-/v2article/render/53444203>).

ein Bündel von Technologieoptionen für die Dekarbonisierung notwendig. Die wichtigste Rolle spielen Wärmepumpen, -netze, erneuerbare Wärme und Wasserstoff. Wasserstoff ist insbesondere für die Fernwärmeerzeugung und Prozesswärme unabdingbar und bis zu einem Anteil von bis zu 40 % kostenoptimal, unabhängig von der betrachteten Kostenentwicklung. Aber auch im Bereich der dezentralen Raumwärme kann Wasserstoff eine Rolle spielen, insbesondere in den Gebieten, in denen Fernwärme weniger stark ausgeprägt ist. Der Wärmemarkt ist lokal sehr unterschiedlich und eine verlässliche Absatzprognose ist erst dann möglich, wenn in allen Versorgungsgebieten Deutschlands im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung der lokal geeignete Dekarbonisierungspfad identifiziert wurde. Die Analysen haben jedoch gezeigt, dass in allen Versorgungsgebieten die Dekarbonisierungspfade bis 2030 im Wesentlichen gleich sind und der Wasserstoffeinsatz im Wärmemarkt erst danach erfolgt. Eine erste Hochrechnung auf Basis der für die Bottom-up-Studie analysierten vier Versorgungsgebiete zeigt (je nach Szenario) einen Wasserstoffbedarf für die zentrale und dezentrale Wärmeerzeugung von 5 bis 10 TWh/a für 2030 und danach eine rasch ansteigende Nachfrage auf eine Größenordnung von 125 bis 500 TWh/a in 2045.¹³

Das Thema Prozesswärme ist hier insoweit berücksichtigt, dass Abnehmer an Verteilnetze angeschlossen sind. Weitere Mengen finden sich nicht hier, sondern im Abschnitt 3.1 Prozessindustrien.

3.4 Energieversorgung

Der Wasserstoffeinsatz im Energiesektor zur Produktion von elektrischer Energie spielte in den bisherigen Analysen des NWR für das Jahr 2030 nur eine untergeordnete Rolle. Im Kontext der EU-Taxonomie und anderer Vorgaben (z. B. über die Förderung von Wasserstoffkraftwerken im EEG) könnte sich das jedoch für neue, in den 2020er-Jahren zugebaute Kraftwerke ändern, denn CO₂-Vorgaben lassen sich teils nur mit signifikanter Beifeuerung von H₂ erreichen. Gleichwohl stehen mit dem abgeschlossenen Kernkraft- und dem fortschreitenden Kohleausstieg notwendige Investitionen in gesicherte Kraftwerksleistung bis 2030 und darüber hinaus an. Damit diese Kapazitäten auch in einem vollständig klimaneutralen Energiesystem 2050 die Versorgungssicherheit gewährleisten können, ist auf H₂-Readiness bzw. eine entsprechende Nachrüstbarkeit zu achten. Es ist davon auszugehen, dass diese Kraftwerke mit einem steigenden Wasserstoffanteil oder sogar direkt komplett mit Wasserstoff betrieben werden – auch um die durch die Vorgaben der EU-Taxonomie entstehenden Rahmenbedingungen für die Finanzierung von jeglichen Projekten erfüllen zu können. Der NWR erwartet für den betrachteten Zeitraum eine Nachfrage von bis zu 20 TWh für das Jahr 2030 und von bis zu 288 TWh für das Jahr 2040.¹⁴ Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass sich die Bedarfe aus der Stromerzeugung teilweise mit dem KWK-Segment der zentralen Wärmeerzeugung überlappen.

4 CO₂-VERMEIDUNG

Ein Erkenntnisgewinn aus der Datenanalyse ist der heterogene, relative CO₂-Vermeidungshebel bei Einsatz von Wasserstoff in unterschiedlichen Branchen. Dieser CO₂-Vermeidungshebel im Stahlsektor liegt deutlich höher als in allen anderen Sektoren, da hier ein direkter Wechsel von Kohle zu Wasserstoff als

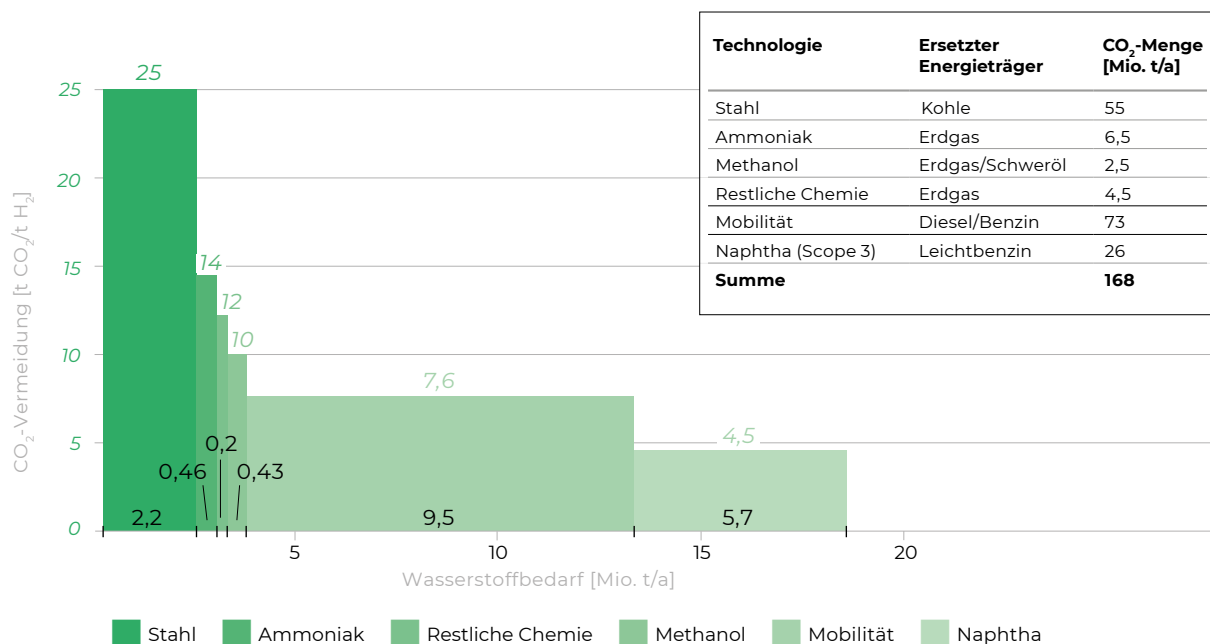
¹³ Im Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021–2025 (siehe https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf) hatte der NWR noch Treibhausgasneutralität bis 2050 adressiert; im vorliegenden Dokument werden Zahlen für 2045 – soweit vorhanden – angegeben, auch wenn dies zu einer gewissen Inkonsistenz führt.

¹⁴ Siehe Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021–2025 (https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf).

Reduktionsmittel durch den Technologiewechsel auf das wasserstoffbasierte Verfahren der DRI-Reduktion möglich ist. Zugleich können bereits durch den Einsatz von Erdgas als Flexibilitätsoption in einem ersten Schritt erhebliche Mengen an CO₂ im Stahlsektor vermieden werden. Diese Option, d. h. die Verwendung von Erdgas als „Brücke“ hin zu wasserstoffbasierten Technologien, ist in anderen Sektoren in aller Regel nicht möglich. Allerdings ist diese Brücke durch die veränderten geopolitischen Rahmenbedingungen deutlich schmaler, d. h. unsicherer und auch teurer geworden.

Insgesamt bestätigt die Datenanalyse, dass klimaneutraler Wasserstoff und klimaneutral hergestellte Wasserstoffderivate für das Erreichen der Klimaziele unverzichtbar sind. Bis 2045 bzw. 2050 wird für die hier untersuchten Sektoren ein Bedarf von etwa 18,5 Mio. t/a klimaneutraler H₂ (ca. 616 TWh) erwartet. Davon entfallen auf Basis der im vorliegenden Dokument getroffenen Annahmen rund 13 Mio. t (ca. 444 TWh) auf reinen Wasserstoff und rund 5 Mio. t (172 TWh) auf Wasserstoff in Form von Derivaten. Damit können knapp 170 Mio. t/a CO₂ vermieden werden, davon 55 Mio. t aufgrund des hohen Effizienzfaktors allein in der Stahlindustrie. In der Chemieindustrie ist der Vermeidungshebel kleiner, weil die derzeitigen Rohstoffe (im wesentlichen Erdölderivate) weniger kohlenstoffintensiv sind als die in der Stahlindustrie verwendete Koks- und Kohle. Zudem ist ein Transformationspfad der Industrie in Richtung Klimaneutralität ohne Wasserstoff und seine Derivate weitgehend alternativlos. Auch im Verkehr ist der Vermeidungshebel geringer, da hier mit Benzin bzw. Diesel physikalisch bedingt bereits weniger kohlenstoffintensive Energieträger eingesetzt werden als z. B. im Stahlsektor mit Steinkohle. Hingegen ist es gerade im Straßengütertransport für viele Transportrelationen wichtig, möglichst viel Energie an Bord zu haben – und Wasserstoff weist eine hohe Energiedichte und gleichzeitig einen maximalen CO₂-Vermeidungshebel auf.

Grafik 4: CO₂-Vermeidungshebel durch Umstellung auf H₂-basierte Technologien (2050)



Aussagen und Analysen zu den CO₂-Vermeidungshebeln in den verschiedenen Sektoren sind wichtig, um die kurz- bis mittelfristige Bedeutung des Wasserstoffs in den einzelnen Anwendungsfaktoren zu unterstreichen. Sie sind keinesfalls darauf ausgerichtet, als alleiniges Kriterium, etwa bei Förderentscheidungen, herangezogen zu werden; insbesondere lässt der Indikator „spezifische CO₂-Vermeidung“ keine unmittelbaren Schlussfolgerungen mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit für die jeweilige Anwendung zu.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Papier ermittelt die Bedarfe an grünem Wasserstoff aller Sektoren. Demnach wird Wasserstoff in der Industrie, speziell der Stahl- und Chemieindustrie, sowie in den Sektoren Mobilität, Wärme und Energieversorgung eine signifikante Rolle spielen, um die Emission von Treibhausgasen einzusparen. Die hier vorliegende Darstellung der Wasserstoffbedarfe aller Sektoren in Deutschland für das Jahr 2030 bzw. 2040–2050, also den Zeitraum, in welchem Deutschland klimaneutral werden will, basiert wie dargelegt auf Angaben der jeweiligen Industriesektoren (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1

Sektor/Jahr	2030			2040–2050	
	Mio. t H ₂	TWh ¹⁵	Mio. t CO ₂ -Emissionsreduktion	TWh	Mio. t CO ₂ -Emissionsreduktion
Prozessindustrien		21–31		298	95
Stahlindustrie	0,6–0,9	20–28	15–21	73	55
Chemieindustrie ¹⁶	1,1	36	–	225	40
Weitere Prozessindustrien	0,03–0,1	1–3	k. A.	k. A.	
Verkehrs-/Transportsektor		30–32		253	73
Individualverkehr inkl. leichter Nfz	–	–	–	5	
Schwerlastverkehr (schwere Nfz)	0,5	17	3,5	104	
Raffinerien	0,1	3	1	0	
Luftfahrt	0,1	3	0,6	52	
Schifffahrt	0,02–0,08	0,5–2,5	0,1–0,5	8	
E-Fuels ¹⁷	0,2	6	1,2	83	
Wärmemarkt¹⁸		5–10		125–500	
Energieversorgung		0–20		288 (2040)	
Summe		56–93		964–1364	
Gesamtbedarf¹⁹ inkl. grauen Wasserstoffs		92–129	–	964–1364	

¹⁵ Die Umrechnung basiert auf dem unteren Heizwert für Wasserstoff, demnach entspricht 1 Mio. t H₂ etwa 33,33 TWh.

¹⁶ Für das Jahr 2030 wird davon ausgegangen, dass der bisher mittels grauen H₂ gedeckte Bedarf der Chemieindustrie nicht durch klimaneutralen Wasserstoff gedeckt wird. Damit betreffen die Angaben für 2030 die Nachfrage für grauen Wasserstoff. Für den Zeithorizont 2040–2050 bezeichnet der ausgewiesene Wasserstoffbedarf ausschließlich grünen Wasserstoff.

¹⁷ Für Bedarfe jenseits von Luft- und Schifffahrt.

¹⁸ Zentrale und dezentrale Erzeugung.

¹⁹ Diese Summe enthält die Menge an grauem Wasserstoff, die voraussichtlich nach 2030 sukzessive durch klimaneutralen bzw. weitgehend klimaneutralen Wasserstoff ersetzt wird (siehe Fußnote 16), und gibt somit den Gesamtbedarf wieder.

Diese Angaben wurden plausibilisiert und geben somit einen groben, aber validen Überblick über zu erwartende Mengen, die in Deutschland produziert oder importiert werden müssen. Für die Jahre 2045–2050 ist hiermit naturgemäß eine große Unsicherheit verbunden, für das Jahr 2030 stellt die Gesamtmenge von 56 bis 93 TWh eine plausible Bandbreite dar. Dies entspricht einer Elektrolyseleistung von 23 bis 39 GW²⁰, ohne dass damit eine Aussage getroffen werden kann, ob diese im Inland oder Ausland installiert werden müssten oder ob für gewisse Zeiträume ein Teil des Wasserstoffbedarfs über blauen Wasserstoff gedeckt werden kann.

Klar wird, dass der Einsatz von grünem Wasserstoff ein großes Potenzial für die CO₂-Vermeidung in allen genannten Sektoren, d. h. Industrie, Mobilität, Wärme und Energieversorgung, hat. Die Datenanalyse zeigt, dass grüner Wasserstoff und seine Derivate einen unverzichtbaren Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können, gesetzt den Fall, dass entsprechende Kapazitäten zu den genannten Zeitpunkten zur Verfügung stehen.

Bei Interesse oder Rückfragen wenden Sie sich bitte an:

Leitstelle Wasserstoff

E-Mail: info@leitstelle-nws.de, Internet: www.wasserstoffrat.de

²⁰ Siehe Fußnote 2.



DER NATIONALE WASSERSTOFFRAT

Mit der Verabschiedung der Nationalen Wasserstoffstrategie hat die Bundesregierung am 10. Juni 2020 den Nationalen Wasserstoffrat berufen. Der Rat besteht aus 26 hochrangigen Expertinnen und Experten der Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft, die nicht Teil der öffentlichen Verwaltung sind. Die Mitglieder des Wasserstoffrats verfügen über Expertise in den Bereichen Erzeugung, Forschung und Innovation, Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr und Gebäude/Wärme, Infrastruktur, internationale Partnerschaften sowie Klima und Nachhaltigkeit. Der Nationale Wasserstoffrat wird geleitet durch Katherina Reiche, Parlamentarische Staatssekretärin a. D.

Aufgabe des Nationalen Wasserstoffrats ist es, den Staatssekretärsausschuss für Wasserstoff durch Vorschläge und Handlungsempfehlungen bei der Umsetzung und Weiterentwicklung der Wasserstoffstrategie zu beraten und zu unterstützen.

◆ **Kontakt: info@leitstelle-nws.de, www.wasserstoffrat.de**