



E-Bridge
Kompetenz in Energie

H₂-BAROMETER

Unabhängige Bewertung der
Wasserstoffwirtschaft in Deutschland

Ausgabe Q1
April 2022

Vorwort



Deutschland muss die Abhängigkeit von russischen Energieimporten schnellstmöglich und sehr stark reduzieren. Von dieser Entwicklung ist auch der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft direkt betroffen: Die Attraktivität von „blauem Wasserstoff“, einst ein Hoffnungsträger für die Transformation, ist deutlich gesunken und zeitgleich sind die Erwartungen an einen zügigen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft weiter gestiegen.

Im vorliegenden Wasserstoff-Barometer haben wir in diesem Kontext in schon gewohnter Art und Weise den aktuellen Entwicklungsstand hin zu einer funktionierenden Wasserstoffwirtschaft zusammengefasst.

Thematische Schwerpunkte bilden in dieser Ausgabe H2Global als mögliches Marktinstrument für eine globale Wasserstoffwirtschaft, die Bewertung der kurzfristigen Wettbewerbsfähigkeit des Imports von blauem Wasserstoff als Brückentechnologie (Upstream), eine Analyse der Netzinfrastruktur und Anlande-Terminals als Voraussetzung für den H₂-Import (Midstream) sowie eine aktuelle sektorspezifische Analyse des Wasserstoffverbrauchs und die Break-Even-Kosten auf Seiten der Verbraucher (Downstream).

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre und hoffe, dass wir auch durch diese Ausgabe wieder den einen oder anderen Denkimpuls setzen können.



Dr. Henning Schuster

Geschäftsführer E-Bridge Consulting GmbH

Baumschulallee 15 | 53115 Bonn

www.e-bridge.de

Tel. +49 228 90 90 65 0

Thesen und Gesamtstimmung

Kernaussagen aus dem H₂-Barometer

Upstream

1. Der neue Koalitionsvertrag erhöht das Tempo beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft, lässt aber offen, wie die Zubauraten der Elektrolysekapazitäten und die erforderliche Strombereitstellung realisiert werden können.
2. Die Initiative H₂Global ist ein wichtiger Baustein, um Importe von klimaneutralem Wasserstoff früher wirtschaftlich zu gestalten. Es werden wichtige Anreize für die Entwicklung von Projekten in potentiellen H₂-Exportländern geschaffen.
3. Der Import von blauem Wasserstoff hat insbesondere durch den Russland-Ukraine-Konflikt und die damit steigenden Gaspreise bedeutend an wirtschaftlicher Attraktivität eingebüßt. Daher ist fraglich, ob eine Implementierung dieser „Brückentechnologie“ eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu grünem Wasserstoff ist.

Midstream

1. Der Ausbau von umrüstbaren LNG-Terminals unterstützt die mittelfristige Unabhängigkeit von russischem Erdgas und kann langfristig internationale Wasserstoffimporte ermöglichen.
2. Eigentums- und horizontale Entflechtung würden die effiziente Konversion von Erdgas- zu Wasserstoffnetzen gefährden. Statt einer Neuauflage der Unbundling-Diskussion des 3. Binnenmarktpakets sollte sich das weitere Gesetzgebungsverfahren auf den rechtzeitigen Aufbau der H₂-Wirtschaft für Klimaschutz und gegen fossile Importabhängigkeit konzentrieren.

Downstream

1. Die aktuelle Studienlage zeigt, dass sich der Wasserstoffbedarf 2050 voraussichtlich zu ähnlichen Anteilen auf die drei Sektoren Verkehr, Industrie und Energiewirtschaft aufteilen wird. Lediglich im Gebäudesektor sind die Erwartungen an den Bedarf gering.
2. Die gegenläufige Entwicklung sinkender H₂-Entstehungskosten und steigender CO₂-Zertifikatskosten ist für die Integration von Wasserstoff in das Energiesystem vorteilhaft, da sie die Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit beschleunigt.

Upstream / Produktion



Ausgeglichen

Midstream / Transport



Ausgeglichen

Downstream / Nachfrage



Überwiegend positiv

Neben den ambitionierten Zielen des Koalitionsvertrages für die Wasserstoffwirtschaft wirkt auch der Russland-Ukraine-Konflikt wie ein Katalysator auf die Entwicklungen in der Wasserstoffwirtschaft. Steigende Preise für Erdgas und strikte Unbundling-Vorgaben trüben das Bild aber im Up- und Midstream-Bereich.

Positiv zu sehen ist der erwartete H₂-Bedarf im Verkehrs- und Industriesektor, der mit prognostizierten Kostenwerten von 2-3 EUR/kg_{H₂} konkurrenzfähig gedeckt werden kann. Ob Wasserstoff sich auch in der Energiewirtschaft zum Zwecke der saisonalen Speicherung wirtschaftlich etablieren kann, muss sich noch zeigen.

UPSTREAM



Ausbau- und Importziele Koalitionsvertrag

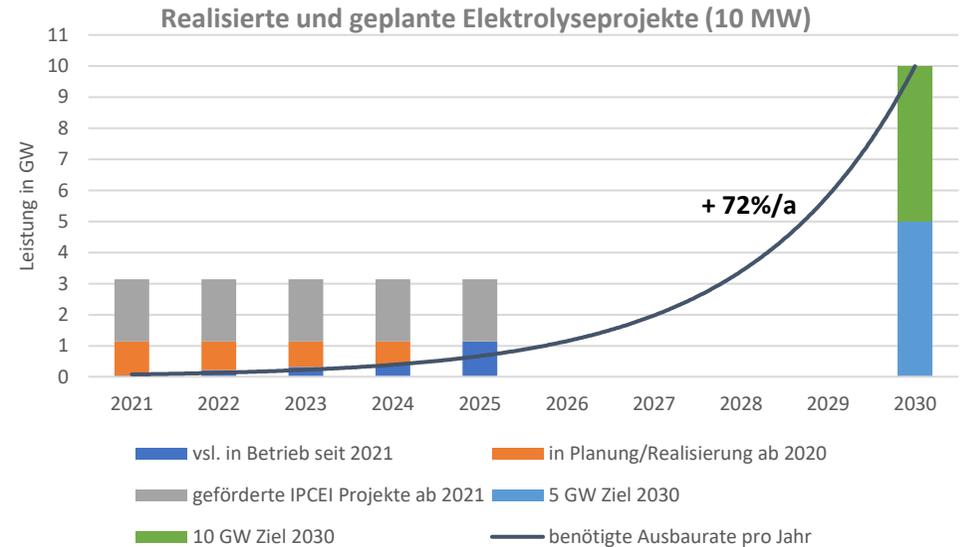
Kernaussagen aus dem Vertrag der Ampel-Koalition zu Wasserstoff

- Die Elektrolysekapazität in Deutschland soll 2030 10 GW betragen.
- Es wird eine Ausgestaltung der Wasserstoffregulatorik geben, wobei auch blauer Wasserstoff für den Übergang eine Rolle spielen soll.
- Der Markthochlauf für Wasserstoff soll beschleunigt werden.
- Es soll eine Wasserstoffinfrastruktur aufgebaut und ein Förderrahmen gestaltet werden.
- Ziel ist es, Leitmarkt für Wasserstoff zu werden.
- Neue Gaskraftwerke sollen auch mit Wasserstoff betrieben werden können.
- Wasserstoff und seine Folgeprodukte sollen auf europäischer Ebene einheitlich zertifiziert werden.
- Der Import von Wasserstoff soll unter fairen Wettbewerbsbedingungen für die Wirtschaft sichergestellt werden.
- Im Rahmen von H₂Global will die Bundesregierung die Lieferpartnerschaften mit Drittstaaten weiterentwickeln und entsprechend finanziell ausstatten.

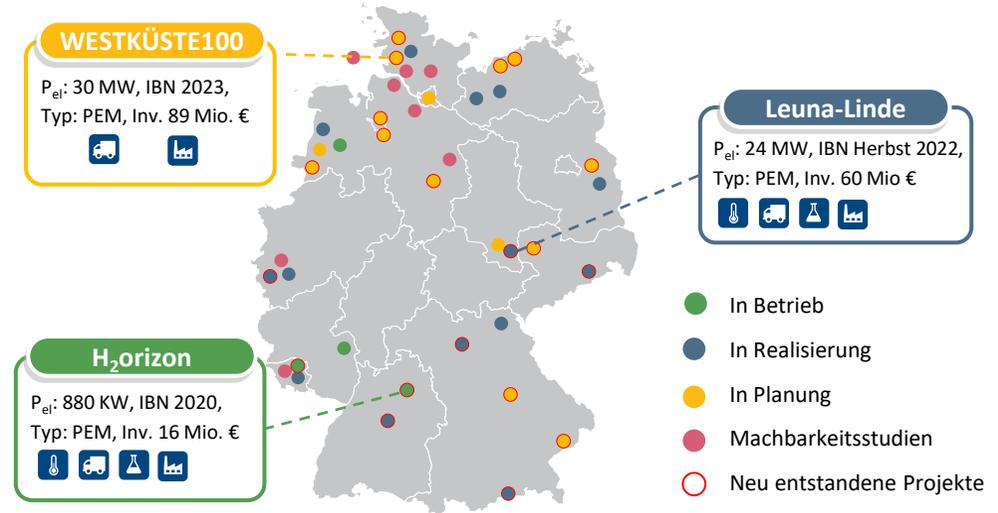
Einordnung und Schlussfolgerungen

- Grundsätzlich sind die Ziele als positiv für eine zügigere Entwicklung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft einzuordnen.
- Die angekündigte Verdopplung der Elektrolyseleistung in 2030 auf 10 GW, bedeutet eine jährliche Zuwachsrate von 72 % (anstelle von 60 %, vgl. H₂-Barometer 01/21).
- Unklar ist, wie die Ausbaugeschwindigkeit der Elektrolyseleistung eingehalten werden kann und wie die erforderlichen Überschussmengen an grünem Strom bereitgestellt werden.

Der neue Koalitionsvertrag erhöht das Tempo beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft, lässt aber offen, wie die Zubauraten der Elektrolysekapazitäten und die erforderliche Strombereitstellung realisiert werden können.



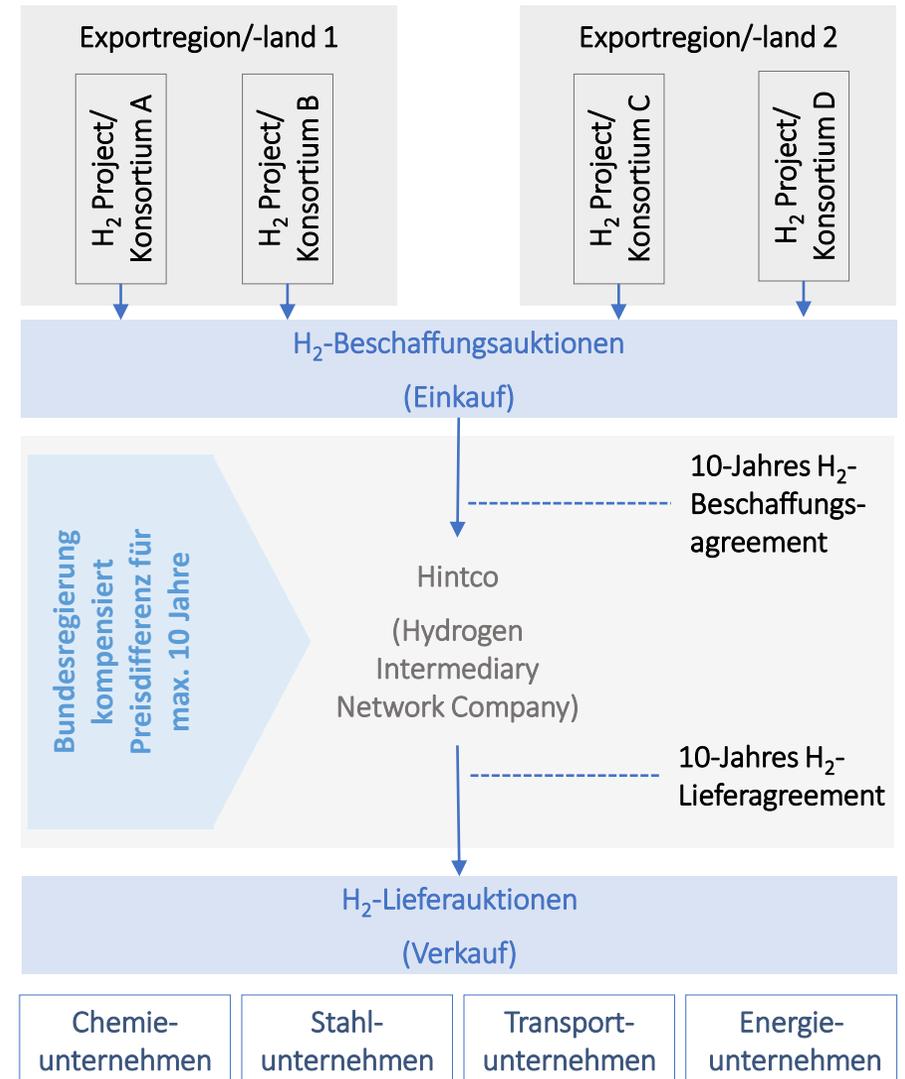
Ausgewählte Elektrolyseprojekte in Realisierung und Planung



H₂Global als Instrument um Wasserstoffimporte wettbewerbsfähig zu machen

- Deutschland wird den überwiegenden Teil der in 2030 erwarteten Nachfrage nach grünem Wasserstoff voraussichtlich importieren. Selbst mit den erhöhten Ausbauzielen der inländischen Elektrolyseleistung kann davon ausgegangen werden, dass mehr als zwei Drittel des grünen Wasserstoffs importiert werden müssen.
- Die **Initiative H₂Global** soll dafür sorgen, dass grüner Wasserstoff mittels Fördergeldern bereits frühzeitig wettbewerbsfähig importiert werden kann. H₂Global basiert auf einer Stiftung, die von führenden privatwirtschaftlichen Unternehmen unterstützt wird.
- Auf der Grundlage eines Mechanismus, der dem Contracts-for-Difference (CfD)-Ansatz ähnelt, wird die Differenz zwischen Angebotspreisen (Produktion und Transport) und Nachfragepreisen durch Zuschüsse der Bundesregierung ausgeglichen. Die Bundesregierung fördert H₂Global mit 900 Millionen Euro.
- Auf der Einkaufs- und der Verkaufsseite wird der Preis über wettbewerbsbasierte Auktions- bzw. Bieterverfahren ermittelt. Dank kurzfristiger Kaufverträge kann H₂Global von erwarteten Erhöhungen der Marktpreise für Ersatzgüter profitieren. Das bedeutet, dass die Mittel, die zum Ausgleich der Preisdifferenz benötigt werden, im Laufe der Förderperiode sinken (vgl. Grafik rechts).
- Wasserstoff oder Wasserstoffderivate aus Nicht-EU-Ländern werden auf der Grundlage von 10-Jahres-Verträgen zum niedrigsten möglichen Preis durch die HINT.CO (Hydrogen Intermediary Company) gekauft und verwaltet. Danach werden die Mengen meistbietend in Deutschland und der EU weiterverkauft.
- Erste Kaufverträge im Rahmen von H₂Global sollen bereits 2022 abgeschlossen werden.

Die Initiative H₂Global ist ein wichtiger Baustein, um Importe von klimaneutralem Wasserstoff früher wirtschaftlich zu gestalten. Es werden wichtige Anreize für die Entwicklung von Projekten in potenziellen H₂-Exportländern geschaffen.



Quelle: h2-global.de

Blauer Wasserstoff verliert deutlich an Attraktivität

- Bis eine internationale Handelsinfrastruktur für den Im- und Export von grünem Wasserstoff aufgebaut ist, könnte innereuropäischer Import von blauem Wasserstoff für eine Übergangsphase eine praktikable Versorgungsoption für Deutschland sein.
- Aufgrund der Erdgasvorkommen und der Möglichkeiten zur langfristigen CO₂-Speicherung (vornehmlich offshore) bieten sich bspw. die Niederlande und Norwegen als Exportländer für blauen Wasserstoff an. Wegen des Versorgungsengpasses bei Erdgas (Russland-Ukraine-Konflikt) sind Gaspreise allerdings stark angestiegen.

Eingangsparmeter für blauen Wasserstoff [1, 2]

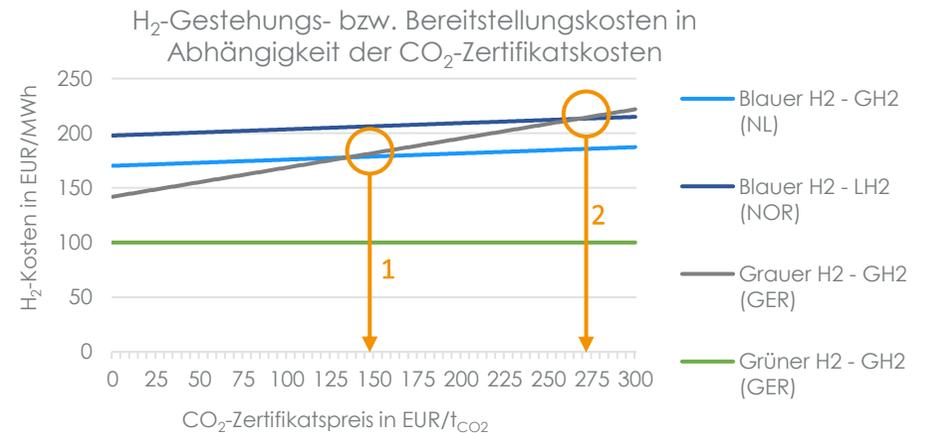
Erdgaspreis	100 EUR/MWh
Wirkungsgrad der Reformierung (ohne CCS)	75 %
Wirkungsgrad der Reformierung (mit CCS)	70 %
CO ₂ -Abscheidegrad	80 %
CCS-Kosten (Abscheidung, Transport und Speicherung)	70 EUR/t _{CO2}
Wasserstofftransport aus NL (gasförmig via Pipeline)	2,7 EUR/MWh
Wasserstofftransport aus NOR (flüssig via Schiff)	30,4 EUR/MWh

- Unter Berücksichtigung der unten genannten Eingangsparmeter und einer Zertifikatskompensation für nichtsequestriertes CO₂ liegen die Paritäten der reinen Gestehungskosten verglichen mit im Inland erzeugtem grauem Wasserstoff bei 135 bzw. 270 EUR/t_{CO2} für die Niederlande bzw. Norwegen.
- Aktuell könnte die Brückentechnologie keinen wirtschaftlichen Beitrag zur Deckung des prognostizierten H₂-Bedarfs leisten, da der Benchmark für grünen Wasserstoff derzeit bei etwa 100 EUR/MWh liegt.

Der Import von blauem Wasserstoff hat insbesondere durch den Russland-Ukraine-Konflikt und die damit steigenden Gaspreise bedeutend an wirtschaftlicher Attraktivität eingebüßt. Daher ist fraglich, ob eine Implementierung dieser „Brückentechnologie“ eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu grünem Wasserstoff ist.

Mögliche Importrouten für blauen Wasserstoff

- 1 **Niederlande (NL)**
Transport: Pipeline
Kostenparität : 135 Euro/t_{CO2}
- 2 **Norwegen (liquid hydrogen)**
Transport: Ship
Kostenparität: 270 Euro/t_{CO2}



[1] Cerniauskas et al. (2021) Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen. Forschungszentrum Jülich GmbH

[2] IEA (2019) The future of hydrogen - Seizing today's opportunities. Report prepared by the IEA for the G20, Japan

MIDSTREAM



Netzinfrastruktur und Anlande-Terminals als Voraussetzung für den H₂-Import

Allgemeines

Deutschland wird seinen prognostizierten Wasserstoffbedarf voraussichtlich nicht alleine durch inländische Produktion decken können und daher 60 bis 70 % des Wasserstoffs importieren müssen. Durch das politische Ziel, unabhängiger von russischen Energieexporten zu werden, sind Anlande-Terminals für Gasimporte unverzichtbar. Von dort aus können zunächst LNG, später auch Wasserstoff innerhalb Deutschlands, aber auch innerhalb der EU, weiterverteilt werden.

Langfristig können Synergien geschöpft werden, da LNG- und H₂-Terminals zwar unterschiedlich aufgebaut sind, aber umgerüstet oder parallel betrieben werden können.

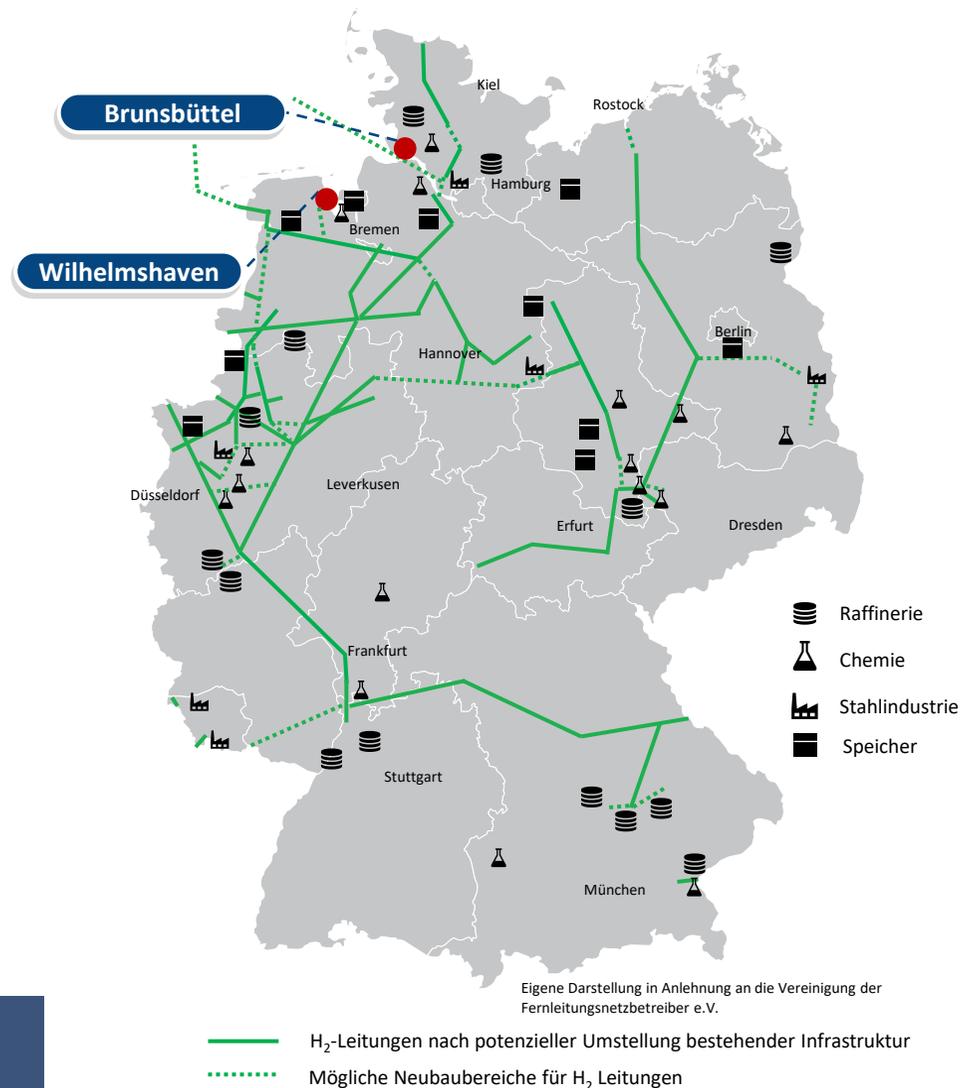
Wilhelmshaven

- Wilhelmshaven hat gute Chancen, ein Drehkreuz für Wasserstoff zu werden. Große Unternehmen wie Uniper und Orsted haben das Potenzial des Standorts erkannt.
- Eine Anbindung an das geplante deutsche Wasserstoffnetz wäre einfach zu bewerkstelligen. So können die ersten Teilabschnitte in Richtung des H₂-Backbones umgesetzt werden.
- Im Rahmen von „Green Wilhelmshaven“ wird ein zentraler Hub für klimafreundlichen Wasserstoff errichtet. Vor Ort soll Wasserstoff per Elektrolyse aus Windstrom hergestellt werden. Außerdem soll Wasserstoff in Form von grünem Ammoniak importiert werden.

Brunsbüttel

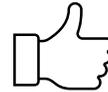
- In Brunsbüttel soll ein Flüssiggas-Terminal errichtet werden.
- Der Terminal soll perspektivisch auf grüne Wasserstoffderivate umgerüstet werden, um in Zukunft die Integration klimaneutraler Energieträger in das deutsche Energiesystem zu unterstützen.

Der Ausbau umrüstbarer LNG-Terminals unterstützt die mittelfristige Unabhängigkeit von russischem Erdgas und kann langfristig internationale Wasserstoffimporte ermöglichen.



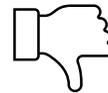
Wasserstoff-Paket der EU-Kommission (Dezember 2021)

- In ihrer Mitteilung vom 8.03.2022 (COM(2022) 108 final) macht die Kommission als Reaktion auf den russischen Überfall auf die Ukraine Vorschläge, um die Importabhängigkeit der EU von russischem Erdgas – derzeit ca. 40% des Gasverbrauchs der EU – bis 2030 zu beseitigen.
- Von den aktuell 155 Mrd. m³ Erdgas aus Russland könnten danach 25-50 Mrd. m³ durch den Ausbau der Wasserstoffherzeugung und erhöhte Wasserstoffzufuhren kompensiert werden. Gegenüber den "Fit for 55"-Plänen würde dies eine Steigerung der jährlichen Wasserstoffmenge von 5,6 Mio. t auf 20 Mio. t bis 2030 bedeuten.
- Die strikten Unbundling-Vorgaben für die Entwicklung der europäischen Wasserstoffnetze sind umso fragwürdiger angesichts der neuen politischen Zielvorgabe für eine Wasserstoffwirtschaft, die wesentlich zur Beseitigung der Abhängigkeit von russischem Erdgas beitragen soll.
- So soll Wasserstoff nach den Vorstellungen der Kommission bereits in acht Jahren bis zu einem Drittel der heutigen Erdgasimporte aus Russland ersetzen. Dafür müssten allerdings die europäischen Mengenziele für die Wasserstoffwirtschaft um mehr als 350 % gesteigert werden!
- Kommission Dez. → gemeinsame Gas-Wasserstoff-Regulierung, aber harte Unbundling-Vorschriften, daher Konversion mit riesigen Hürden behaftet



Positiv

- Grundsatzentscheidung, auch H₂-Netze der Regulierung zu unterwerfen, weitgehend gleiche Regulierungsstrukturen zu schaffen und auf den deutschen Sonderweg eines regulatorischen Opt-ins zu verzichten.
- Möglichkeit der H₂-Beimischung im Erdgasnetz von bis zu 5 %
- Schaffung einer gesetzlichen Grundlage für die integrierte Netzausbauplanung für Strom und Gas



Negativ

- Keine Möglichkeit zur Bildung gemeinsamer Netzentgelte; damit bleibt unklar, wie übermäßige Belastung der H₂-Netzkunden in der Anfangsphase vermieden werden kann
- Strenge Vorgaben zur vertikalen Entflechtung (keine De-minimis-Grenze, Befristung ITO-Modell bis 2030, danach ausnahmsloses ownership unbundling) würde Pflicht zur Veräußerung der Wasserstoff-Assets für 11 ITO-FNBs und sämtlicher VNB in Deutschland bedeuten!
- Horizontale rechtliche Entflechtung von H₂ und Erdgasnetzen

Eigentums- und horizontale Entflechtung würden die effiziente Konversion von Erdgas- zu Wasserstoffnetzen gefährden. Statt einer Neuauflage der Unbundling-Diskussion des 3. Binnenmarktpakets sollte sich das weitere Gesetzgebungsverfahren auf den rechtzeitigen Aufbau der H₂-Wirtschaft für Klimaschutz und gegen fossile Importabhängigkeit konzentrieren.

DOWNSTREAM



H₂

— only
hydrogen
inside

Sektorspezifischer Wasserstoffbedarf in Deutschland im Jahr 2050

Voraussichtlicher Gesamtbedarf

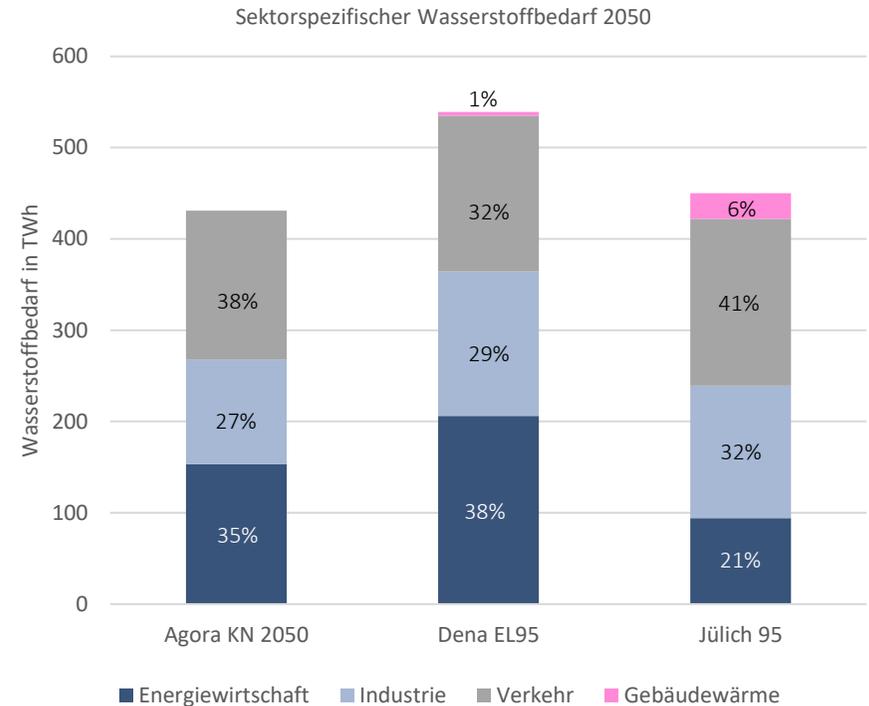
Die drei untersuchten Studien Agora KN 2050, Dena EL95 und Jülich 95 gehen von Bedarfen bis 2050 von 430, 540 und 450 TWh aus. Damit liegt die Dena-Studie etwa 20 % über den Schätzungen von Agora und gut 10 % über denen der Jülich-Studie.

Sektorspezifischer Bedarf

Die Studien schlüsseln die mögliche Entwicklung des Wasserstoffbedarfs je Sektor auf: Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäudewärme.

- Aufgrund der langfristigen Speicherbarkeit eignet sich Wasserstoff, um saisonale Schwankungen erneuerbarer Energien in der Energiewirtschaft (21 - 38 %) abzufangen. Der Einsatz in Gaskraftwerken, wie von der Bundesregierung im Koalitionsvertrag vorgesehen, ist wirtschaftlich eher fragwürdig.
- Langfristig könnten fossile Energieträger, die in der Industrie stofflich genutzt werden, durch grünen Wasserstoff ersetzt werden (27 - 32 %, u.a. für die Produktion von Ammoniak und Methanol).
- Ein hoher Bedarf (32 - 41 %) wird in allen Studien im Flug- und Schiffsverkehr prognostiziert, da diese z. T. nicht sinnvoll elektrisch betrieben werden können. Auch im schweren Straßengüterverkehr und im Schienenverkehr ohne vorhandene Oberleitung kann Wasserstoff eingesetzt werden.
- Für die Wärmebereitstellung werden voraussichtlich andere Optionen als H₂ wirtschaftlicher sein. Daher ist von einem geringen Bedarf für Gebäudewärme (< 6 %) auszugehen.

Die aktuelle Studienlage zeigt, dass sich der Wasserstoffbedarf 2050 voraussichtlich zu ähnlichen Anteilen auf die drei Sektoren Verkehr, Industrie und Energiewirtschaft aufteilen wird. Lediglich im Gebäudesektor sind die Erwartungen an den Bedarf gering.



[1] Sachverständigenrat für Umweltfragen (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse. URL: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_06_stellungnahme_wasserstoff_im_klimaschutz.pdf;jsessionid=32F4D90C5F872F85F000AC70F60EABFC.intranet232?__blob=publicationFile&v=3

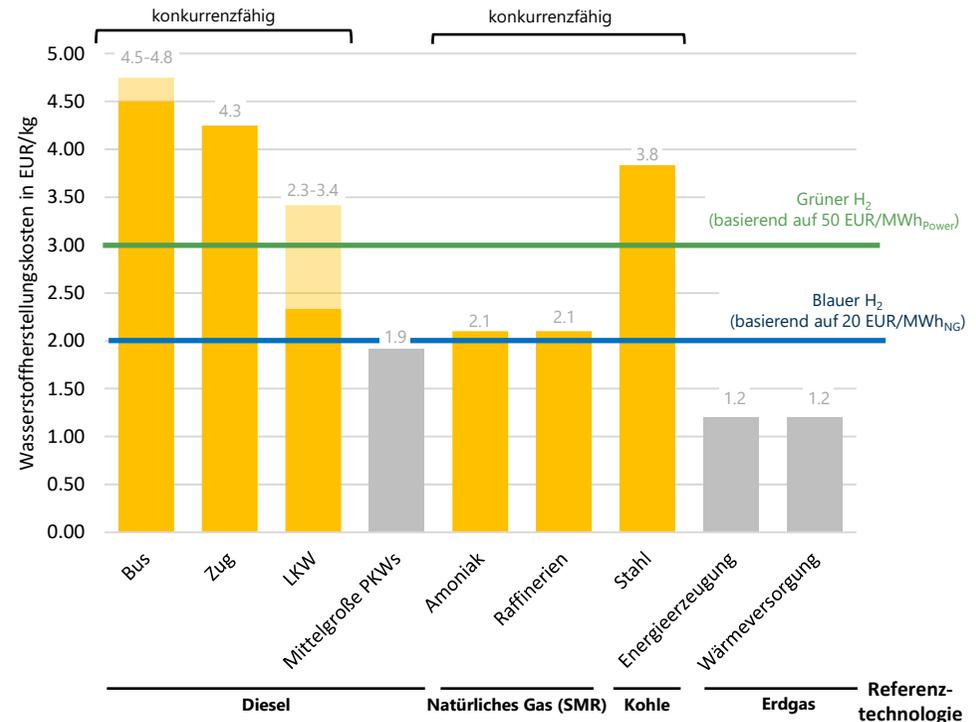
Kosten-Break-even für Wasserstoff in Abhängigkeit der CO₂-Zertifikatskosten

Die Grafik stellt die Wasserstoffproduktionskosten in Europa im Vergleich zu konventionellen Lösungen dar. Der Vergleich zeigt, dass die Nutzung von Wasserstoff zu prognostizierten Gestehungskosten von 2 und 3 EUR/kg unter Berücksichtigung eines CO₂-Preises von 80 EUR/t wettbewerbsfähig sein kann.

- Bei blauen Wasserstoffkosten von 2 EUR/kg sind die meisten Transportanwendungen und Wasserstoff als Rohstoff für die Industrie wettbewerbsfähig. Beim Lkw-Transport ist die Gewichtsklasse entscheidend für den Energiebedarf des Antriebs.
- Ein erwarteter Anstieg der CO₂-Kosten könnte auch die Wasserstoffanwendung in mittelgroßen Straßenfahrzeugen und im Strom- und Wärmesektor an die Gewinnschwelle bringen, auch wenn dies einen relativ hohen CO₂-Preis von 170 EUR/t erfordern würde.
- Die Grafik zeigt jedoch die Grenzkosten. Für die Nutzung von Wasserstoff müssen die notwendigen Technologien implementiert werden, was zusätzliche Kosten verursacht. Es müssen auch technologische Alternativen, wie die Elektrifizierung, in Betracht gezogen werden.
- Bei grünen Wasserstoffkosten von 3 EUR/kg ist der Betrieb von Bussen, Zügen und die Verwendung in der Stahlproduktion bereits konkurrenzfähig.

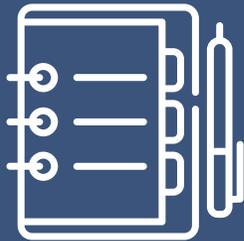
Die gegenläufige Entwicklung sinkender H₂-Entstehungskosten und steigender CO₂-Zertifikatskosten ist für die Integration von Wasserstoff in das Energiesystem vorteilhaft, da sie die Erreichung der Wettbewerbsfähigkeit beschleunigt.

Wasserstoffproduktionskosten in Europa bei Erreichen der Gewinnschwelle mit herkömmlichen Lösungen (80 EUR/t_{CO₂e})



[1] Own work and Hydrogen Council & McKinsey (2021) Hydrogen Insights

Exchange rate assumption: 1 EUR = 1.2 USD



Impressum

E-Bridge Consulting GmbH
Baumschulallee 15
D-53115 Bonn
www.e-bridge.de
Tel. +49 228 90 90 65 0



Andreas Gelfort
agelfort@e-bridge.com



Dr. Christian Schneller
cschneller@e-bridge.com



Dr. Philipp Heuser
pheuser@e-bridge.com



Vito Tisci
vtisci@e-bridge.com