

# Wasserstoff – woher, wie viel und wie?

ANHANG zu einer DVGW-Kurzstudie

Stand: Januar 2024

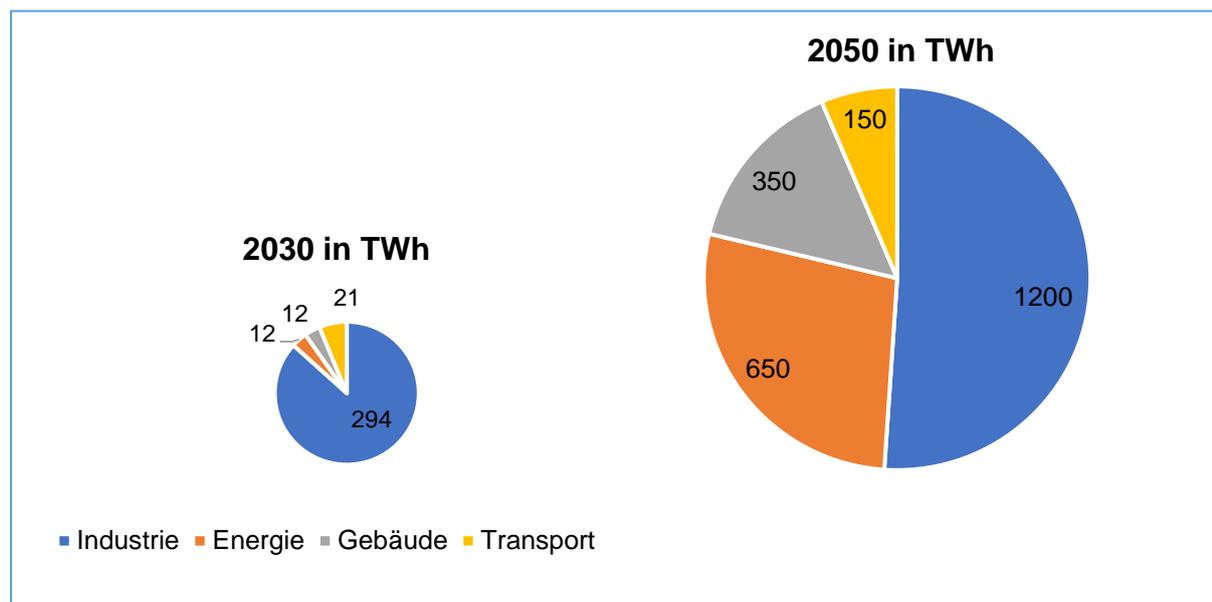
## Anhang A: Bedarfsprognosen für Wasserstoff und Erzeugungspotenziale nach Regionen und Literaturquellen

### a. Wasserstoffbedarfsprognosen

*Tabelle A-1: Prognosen für den Wasserstoffbedarf global sowie für die Europäische Union und Deutschland für die Jahre 2030 und 2050*

Region	2030		2050	
	Wert	Quelle	Wert	Quelle
Weltweit	5.000 TWh <sup>1</sup>	[1,2]	17.000-22.000 TWh	[1,2,3]
EU	339 TWh	[8]	2.200-3.100 TWh	[8,9,10]
Deutschland	95-135 TWh	[11]	360-500 TWh	[12]
	84 TWh	[18]	ca. 750 TWh	[18]

*Abbildung A-1: H2 Bedarf in der EU27+UK nach Sektoren in 2030 und 2050 nach European Hydrogen Backbone [8]*



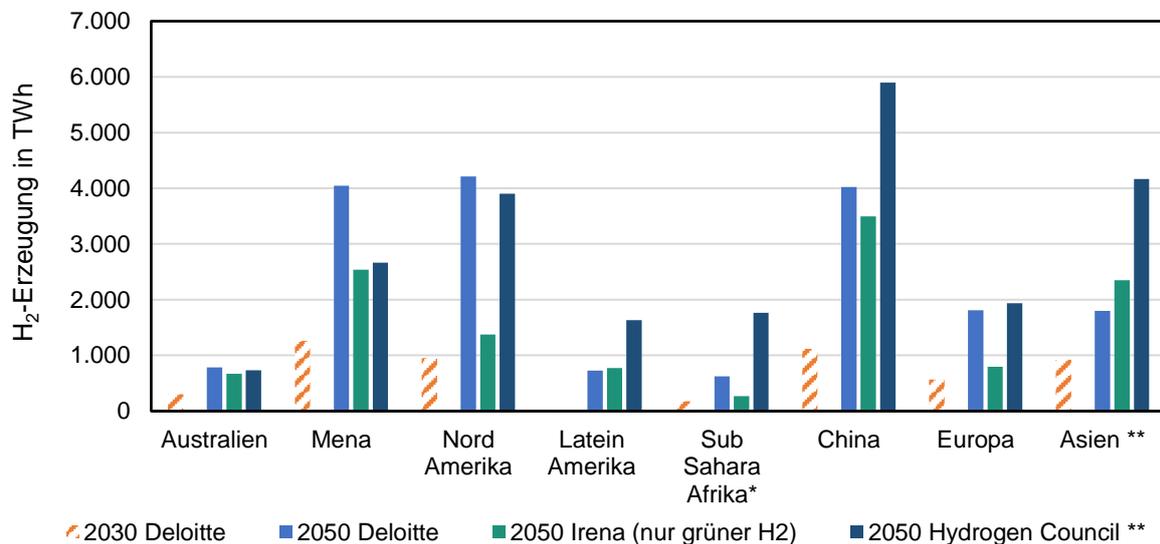
<sup>1</sup> Davon sind rund 2.300 TWh Wasserstoff klimafreundlich erzeugt.

## b. Wasserstofferzeugungspotenziale

**Tabelle A-2: Weltweite techno-ökonomisches Potenziale: Grüner und blauer Wasserstoff für 2030 und 2050**

2030		2050	
Wert	Quelle	Wert	Quelle
5.700 TWh	[5] <sup>2</sup>	20.000 TWh	[5]
4.800 TWh <sup>3</sup>	[6] <sup>4</sup>	22.700 TWh	[6]
		12.270 TWh	[7]

**Abbildung A-2: Erzeugung von grünem und blauem Wasserstoff in 2030 und 2050 nach Welt-Regionen nach techno-ökonomischen Studien [5, 6, 7]**



\* Hydrogen Council: Nord Afrika nicht extra aufgeführt, in Sub Sahara Afrika enthalten. \*\* Asien ohne China

<sup>2</sup> Basierend auf dem HyPE Modell, das Produktion von und den Handel mit sauberem Wasserstoff ausweist. Es basiert auf kosteneffiziente Versorgungspfade, mehreren 10.000 Produktionsstandorten, Produktionstechnologien sowie Kosten und Transportoptionen.

<sup>3</sup> Davon sind rund 50 % grauer H<sub>2</sub>, sprich mittels Dampfpreformierung von Erdgas gewonnen.

<sup>4</sup> Basierend auf einem Optimierungsmodell, das Angebot und Nachfrage in allen Regionen und bei verschiedenen Trägern und Endprodukten in Einklang bringt. Es werden über 1,5 Millionen potenzielle Handelsrouten berücksichtigt. Die Nachfragesicht orientiert sich an einem von Hydrogen Council und McKinsey entwickelten Netto-Null-Pfad, der mit den globalen Klimazielen übereinstimmt.

### c. Nationale Wasserstoffstrategien und Ausbauziele

**Tabelle A-3: Länder mit Nationalen Wasserstoffstrategien und deren Ausbauziele, insofern vorhanden, sowie Quellenangaben**

Land	Economic Freedom Index	Ausbauziel in GW				Ausbauziel in TWh				Anmerkung	Quelle URL
		2030	2040	2045	2050	2030	2040	2045	2050		
Ägypten	49,6									Strategie in Ausarbeitung	
Algerien	43,2						40				<a href="https://energynews.biz/algeria-aims-to-export-green-hydrogen-to-europe-by-2040/">https://energynews.biz/algeria-aims-to-export-green-hydrogen-to-europe-by-2040/</a>
Argentinien	51	5				33				>5	<a href="https://gh2.org/countries/argentina">https://gh2.org/countries/argentina</a>
Australien	74,8									mit Strategie, aber ohne Ausbauziele	<a href="https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/state-of-hydrogen-2022.pdf">https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/state-of-hydrogen-2022.pdf</a>
Brasilien	53,5									mit Strategie, aber ohne Ausbauziele	<a href="https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazil-publishes-national-hydrogen-program">https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazil-publishes-national-hydrogen-program</a>
Chile	71,1	25				70					<a href="https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf">https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf</a>
China	48,3	80				224					<a href="https://gh2.org/countries/china">https://gh2.org/countries/china</a>
Dänemark	77,6	5				10			110	4-6 GW	<a href="https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/af23_sammenfatningsnotat_-_hoering.pdf">https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/af23_sammenfatningsnotat_-_hoering.pdf</a>
Deutschland	73,7	10				28					<a href="https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/J/joint-study-saudi-german-energy-dialogue.pdf">https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/J/joint-study-saudi-german-energy-dialogue.pdf</a>
Frankreich	63,6	7				18					<a href="https://www.iphe.net/_files/ugd/45185a_eb89c38fe1b1418db4b36ee110ac8e32.pdf">https://www.iphe.net/_files/ugd/45185a_eb89c38fe1b1418db4b36ee110ac8e32.pdf</a>
Indien	52,9	15				167					<a href="https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1888545">https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1888545</a>
Indonesien	63,5									Strategie in Ausarbeitung	
Italien	62,3	5				14					<a href="https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf">https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf</a>
Japan	69,3									mit Strategie, aber ohne Ausbauziele	
Kanada	73,7					99			667	nicht nur grüner H2	<a href="https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf">https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf</a>
Kenya	52,5	0				1					<a href="https://energycentral.com/system/files/ece/nodes/627859/kenya.pdf">https://energycentral.com/system/files/ece/nodes/627859/kenya.pdf</a>
Kolumbien	63,1	3				8				1-3 GW	<a href="https://www.minenergia.gov.co/documentos/5862/Colombias_Hydrogen_Road_map_2810.pdf">https://www.minenergia.gov.co/documentos/5862/Colombias_Hydrogen_Road_map_2810.pdf</a>
Marokko	58,4	8	37	78		14	68		155		<a href="https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrog%C3%A8ne%20vert.pdf">https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrog%C3%A8ne%20vert.pdf</a>
Namibia	57,7					2	200		416	Angaben in Tonnen umgerechnet	<a href="https://www.ensafrika.com/uploads/newsarticles/0_namibia-gh2-strategy-rev2.pdf">https://www.ensafrika.com/uploads/newsarticles/0_namibia-gh2-strategy-rev2.pdf</a>
Niederlande	78	4				11					<a href="https://1fa05528-d4e5-4e84-97c1-ab5587d4aabf.filesusr.com/ugd/45185a_f22f45f329cf4841b7604f0c4e6d9c0b.pdf">https://1fa05528-d4e5-4e84-97c1-ab5587d4aabf.filesusr.com/ugd/45185a_f22f45f329cf4841b7604f0c4e6d9c0b.pdf</a>
Norwegen	76,9									mit Strategie, aber ohne Ausbauziele	<a href="https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127e.pdf">https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127e.pdf</a>

Land	Economic Freedom Index	Ausbauziel in GW			Ausbauziel in TWh			Anmerkung	Quelle URL
Oman	58,5	10	30		42	117	267	<a href="https://hydrom.om/events/hydromlaunch/221023_MEM_En.pdf">https://hydrom.om/events/hydromlaunch/221023_MEM_En.pdf</a>	
Portugal	69,5	3			8			<a href="https://kig.pl/wp-content/uploads/2020/07/EN_H2_ENG.pdf">https://kig.pl/wp-content/uploads/2020/07/EN_H2_ENG.pdf</a>	
Saudi-Arabien	58,3				133			<a href="https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/J/joint-study-saudi-german-energy-dialogue.pdf">https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/J/joint-study-saudi-german-energy-dialogue.pdf</a>	
Schweden	77,5	5		15	14		42	<a href="https://www.enlit.world/hydrogen/sweden-a-national-strategy-for-green-hydrogen/">https://www.enlit.world/hydrogen/sweden-a-national-strategy-for-green-hydrogen/</a>	
Spanien	65	4			11			<a href="https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf">https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf</a>	
Südkorea	73,7							mit Strategie, aber ohne Ausbauziele <a href="https://www.weltenergierrat.de/publikationen/studien/international-hydrogen-strategies/">https://www.weltenergierrat.de/publikationen/studien/international-hydrogen-strategies/</a>	
Südafrika	55,7	10	15		17			<a href="https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_Roadmap_V1.pdf">https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_Roadmap_V1.pdf</a>	
UK	69,9	5			14			nicht nur grüner H2 <a href="https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1175494/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf">https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1175494/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf</a>	
USA	70,6				333		1.667	Angaben in Tonnen umgerechnet, nicht nur grüner H2 <a href="https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/clean-hydrogen-strategy-roadmap-at-a-glance.pdf">https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/clean-hydrogen-strategy-roadmap-at-a-glance.pdf</a>	
VAE	49,6				47	250	500	nicht nur grüner H2 <a href="https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-and-energy/national-hydrogen-strategy">https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-and-energy/national-hydrogen-strategy</a>	

#### d. Bis 2030 angekündigte Wasserstoffprojekte

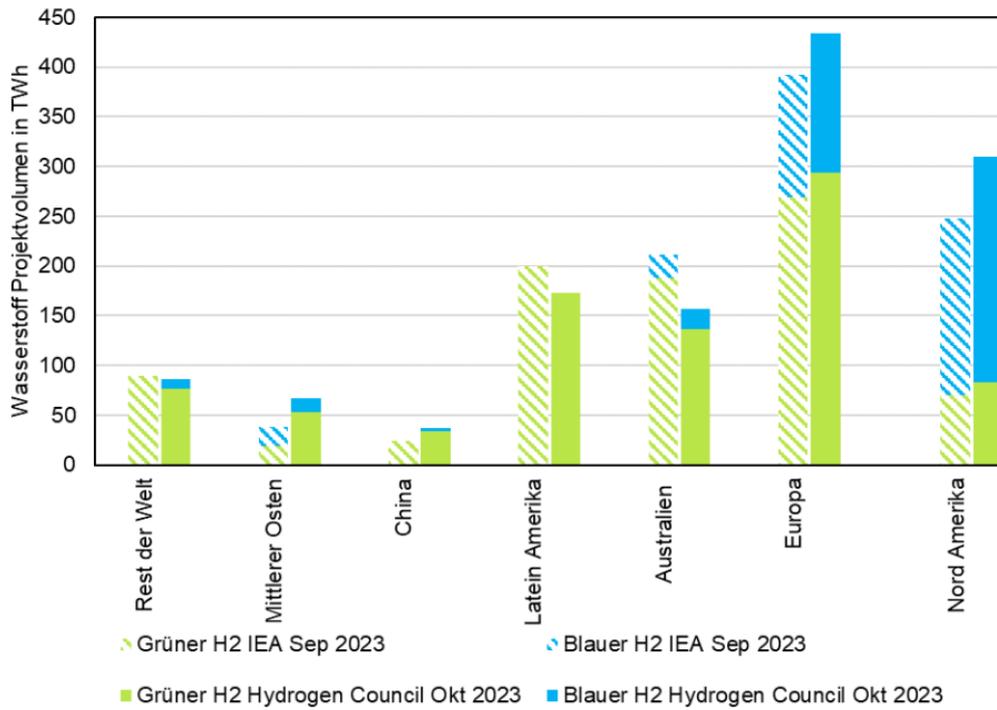
Die Anzahl und die Erzeugungskapazitäten der angekündigten Projekte nahm in den letzten Jahren deutlich zu. Werden alle angekündigten Projekte umgesetzt, könnten laut IEA Bericht aus September 2023, bis zum Jahr 2030 ca. 1.300 TWh klimafreundlicher Wasserstoff global erzeugt werden [13], wovon etwa ein Viertel blauer Wasserstoff wäre.

Im Vergleich zum Vorjahr nahmen die verkündeten Wasserstoffproduktionskapazitäten bis zum Jahr 2030 um 60 Prozent zu. Von den 2023 angekündigten Projekten mit einer Kapazität von rund 1.300 TWh/a in 2030 befinden sich über 45 Prozent in einem frühen Stadium.

Die fortgeschritteneren Projekte, nahmen von 2022 bis 2023 um 30 Prozent zu. Die höchsten Wasserstoffproduktionskapazitäten werden für Australien, Nord Amerika und Europa verkündet. Während in Nord Amerika vorwiegend Projekte für blauen Wasserstoff geplant sind, wurden in Australien und Latein Amerika in erster Linie Projekte zur Wasserstoffproduktion mit Elektrolyse verkündet. In Europa macht der Anteil blauen Wasserstoffs ungefähr ein Drittel des verkündeten Projektvolumens aus.

Europa ist potenziell der größte Abnehmer von Wasserstoff bei den bereits verkündeten Projekten – Australien dabei der größte Exporteur. 80 Prozent der Projekte geben Ammoniak als Transportoption an.

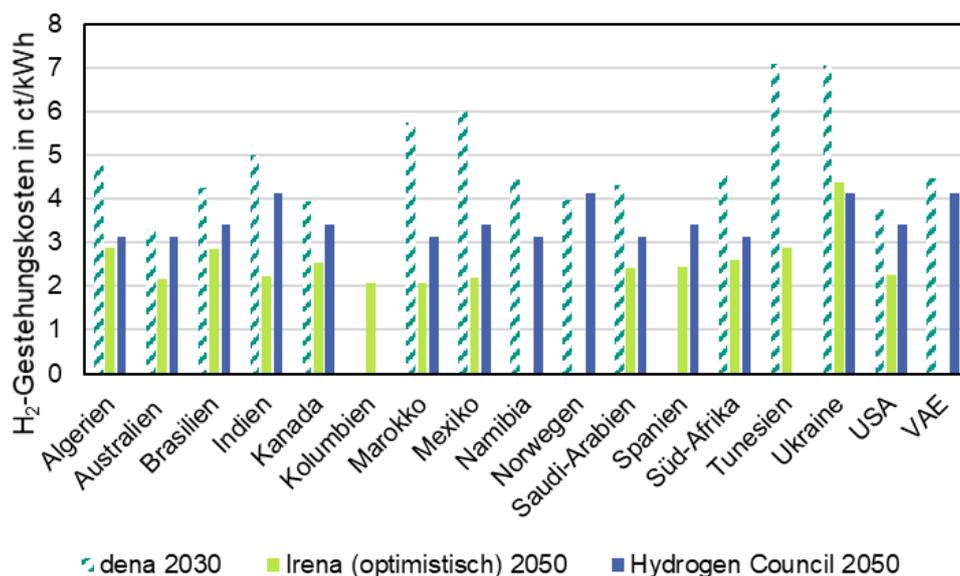
Abbildung A-4: Angekündigte Projekte zur Wasserstoffherzeugung nach Erzeugungskapazitäten und Regionen Projekte [13, 14]



## Anhang B: Gestehungs- und Transportkosten

Die Gestehungskosten von grünem Wasserstoff unterscheiden sich stark je nach Produktionsland. Für Australien und Chile werden mit ca. 3 ct/kWh die niedrigsten Gestehungskosten von Wasserstoff für das Jahr 2030 angegeben [16]. Die höchsten H<sub>2</sub>-Gestehungskosten werden mit 7 ct/kWh für die Ukraine und Tunesien ausgewiesen. Die Wasserstoffgestehungskosten betragen für die ausgewählten Länder zwischen 3,5-7 ct/kWh. Für 2050 sinken nach Irena und Hydrogen Council die Gestehungskosten auf 2,4 ct/kWh [4, 6]. Als besonders günstig weist die Irena-Studie Wasserstoff aus Australien, Marokko und Kolumbien aus. Der Hydrogen Council ermittelt für die MENA-Region (Nahost und Nordafrika), Australien und Süd Afrika niedrige Gestehungskosten.

**Abbildung B-1: Wasserstoffgestehungskosten für ausgewählte Länder für 2030 und 2050 [4, 6, 16]**

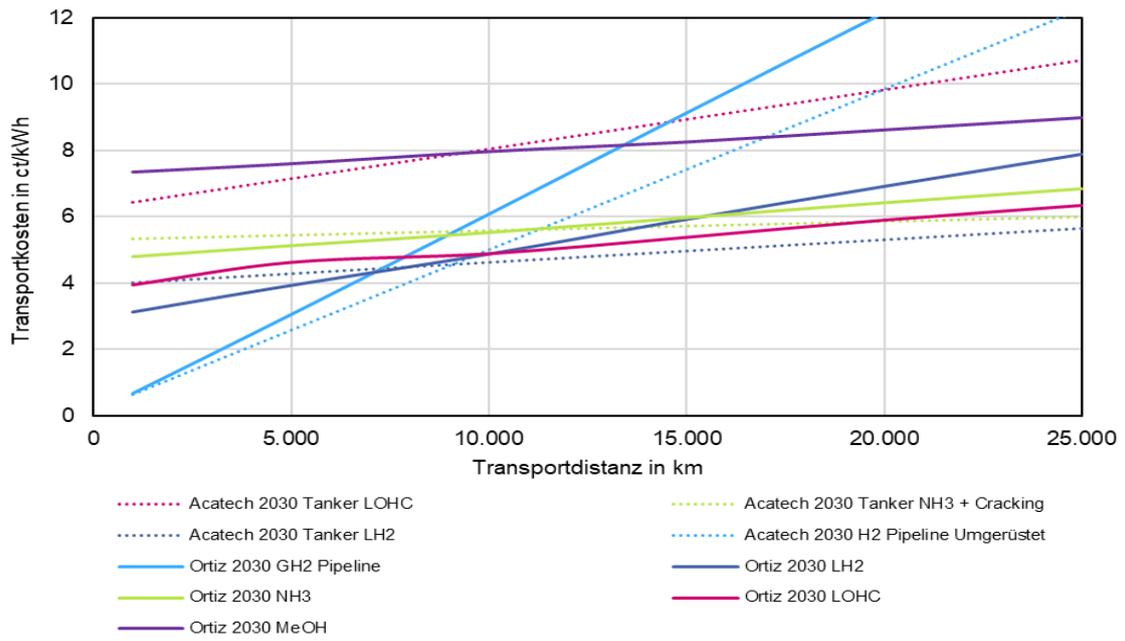


Bezüglich der Transportkosten bleibt festzuhalten, dass für Distanzen bis zu mehreren 1000 Kilometern der Pipelinetransport die günstigste Variante ist. Überschreitet die Entfernung zwischen Herstellungsort und Importland diese Entfernung kommt der Schiffstransport in Frage. Dafür muss der Wasserstoff entweder bei niedrigen Temperaturen verflüssigt werden oder über verschiedene Verfahren in ein Derivat umgewandelt werden. Mögliche Derivate sind:

- verflüssigter Wasserstoff (LH<sub>2</sub>)
- Ammoniak (NH<sub>3</sub>)
- Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)
- verflüssigtes synthetisches Methan (Green LNG)
- Methanol (MeOH)

Je nach Derivat und Entfernung ergeben sich unterschiedliche Kosten.

**Abbildung B-2: Transportkosten in Abhängigkeit von der Distanz für gasförmigen Wasserstoff via Pipeline und Schiffstransport von Derivaten im Jahr 2030 [14, 15]**



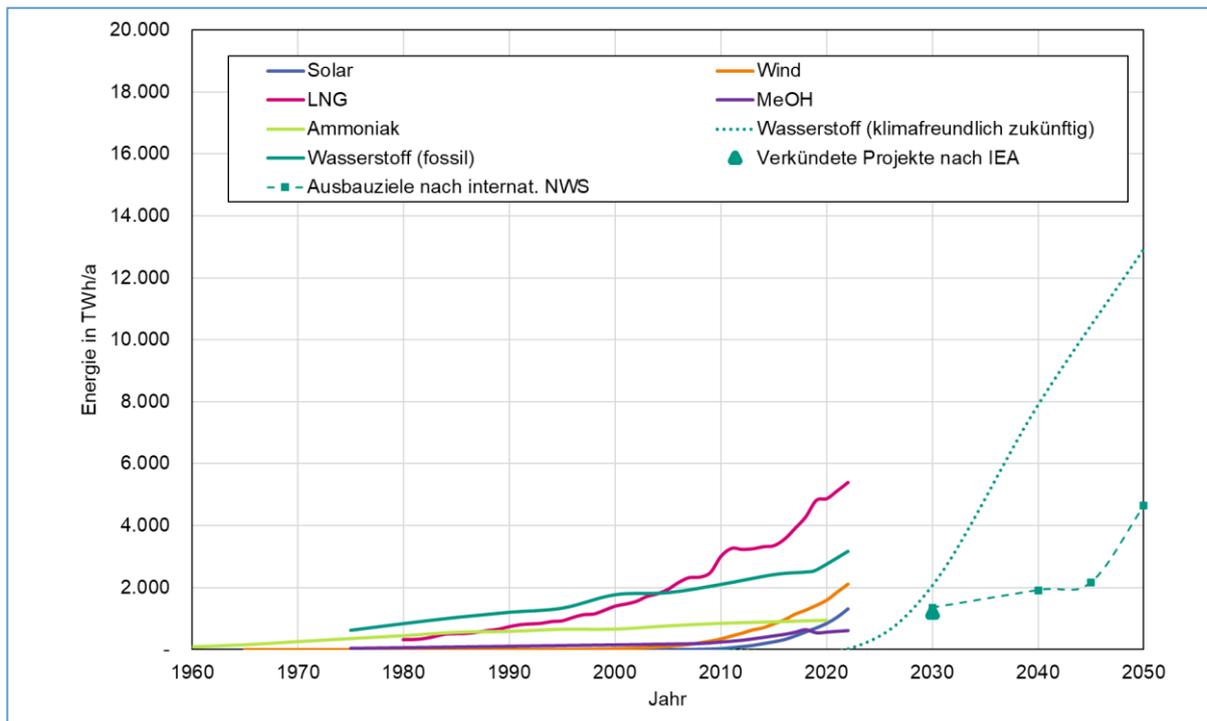
## Anhang C: Markthochlauf verschiedener Energieformen

Bei einem globalen Wasserstoffbedarf von 5.000 TWh (2.300 TWh davon klimafreundlich) im Jahr 2030 und ungefähr 14.000 - 22.000 TWh in 2050 ist auch der Markthochlauf entscheidend, um diese gewaltigen Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff bereitstellen und importieren zu können.

Es ist entscheidend, dass die bisher verkündeten Projekte umgesetzt werden und zusätzliche H<sub>2</sub>-Projekte entstehen, um den bisher ungedeckten Bedarf an klimafreundlichen Wasserstoff von ca. 1.000 TWh zu erzeugen. Dafür müssen die notwendigen (politischen) Rahmenbedingungen gesetzt werden.

Die momentanen vergleichsweise niedrigen Produktionskapazitäten- und Mengen von erneuerbaren Energien und Wasserstoffderivaten wie Ammoniak und Methanol zeigen, dass diese in Zukunft ausgebaut werden müssen, um zusätzlich zum Import von Wasserstoff genutzt werden zu können (Abbildung 3 3). Dabei ist die zeitliche Umsetzung entscheidend. Andere Technologien zeigen, dass das möglich ist. So betrug die jährliche Steigerung des LNG-Aufkommens zeitweise bis zu 500 TWh pro Jahr (2009 - 2010).

**Abbildung 6: Historisches weltweites Wachstum verschiedener H<sub>2</sub>-Derivate (Ammoniak, Methanol), LNG sowie erneuerbarer Energien. Im Vergleich dazu die historische Produktion von fossilem Wasserstoff sowie die zum Erreichen des 1,5°C Ziels notwendige Produktionsmenge an klimafreundlichem Wasserstoff**



Quellen: Wind, Solar und LNG nach [20]; LNG nach [21]; Methanol nach [22]; Ammoniak nach [23]; Wasserstoff (klimafreundlich zukünftig) nach [1], Wasserstoff fossil nach [24]

Literaturverzeichnis abrufbar unter

<https://www.dvgw.de/leistungen/publikationen/publikationsliste/g-wasserstoff-import>