

Eine gemeinsame Agenda für grünen Wasserstoff in den G20-Staaten

Herausforderungen und Chancen für die G20
als Forum für grünen Wasserstoff

Policy Brief

16. April 2023

Benjamin Görlach

Michael Jakob

Ramiro de la Vega

Policy Brief

Wichtigste Ergebnisse und Empfehlungen

Die G20-Staaten sollten folgende Maßnahmen ergreifen, um den entstehenden Markt für grünen Wasserstoff zu gestalten:

- **Formulierung gemeinsamer Normen zur Bestimmung der bei der Wasserstoffproduktion anfallenden Treibhausgasemissionen**, um alle Arten von Wasserstoff angemessen zu bewerten. Die G20 sollte eine Arbeitsgruppe zur Normierung sowie zur Koordinierung von Überwachungs- und Zertifizierungsverfahren einrichten, die zentrale ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte beinhalten.
- **Schaffung von Leitmärkten für grünen Wasserstoff samt Ausstattung und Infrastruktur**, um Investitionsrisiken zu verringern und den weltweiten Hochlauf von Produktionskapazitäten zu fördern. Alle Länder, die die Voraussetzungen erfüllen, sollten Zugang zu diesen Leitmärkten haben.
- **Unterstützung der Produktion und des Einsatzes von grünem Wasserstoff in anderen Ländern** durch präferenziellen Marktzugang für grünen Wasserstoff, seine Folgeprodukte und grüne Grundstoffe oder durch Anreize für seine Verwendung im Herkunftsland.

Einleitung

Dieses Strategiepapier stellt Elemente einer Agenda für grünen Wasserstoff für die G20 vor und soll so die Arbeit von Nichtregierungsorganisationen und Thinktanks unterstützen. Ausgehend von einer Analyse der heterogenen Interessenslage in den G20-Staaten diskutiert der erste Teil die Herausforderungen und Chancen der G20 als Forum, das den entstehenden Markt für Wasserstoff und wasserstoffbasierte Produkte in eine Richtung leiten kann, die mit dem Ziel der Klimaneutralität vereinbar ist. Der zweite Teil umreißt die politische Herausforderung, die ökologische und soziale Nachhaltigkeit der Wasserstoffproduktion und -nutzung sicherzustellen. Abschließend werden Optionen entwickelt, wie eine grüne Wasserstoff-Agenda in den G20-Staaten vorangebracht werden kann.

Die verschiedenen Farben von Wasserstoff – von Grün über Blau bis zu Grau

Der Einfachheit halber werden im vorliegenden Dokument die in der Wasserstoffdebatte üblichen Farbcodes verwendet: Als „grün“ wird Wasserstoff bezeichnet, der mithilfe von Elektrolyse auf Basis von erneuerbarem Strom hergestellt wird, „grauer“ Wasserstoff stammt aus fossilen Grundstoffen (z. B. Erdgas oder Kohle), ohne dass die resultierenden Emissionen aufgefangen werden. „Blauer“ Wasserstoff wird ebenfalls aus fossilen Grundstoffen gewonnen, jedoch werden (mittels CCUS) die entstehenden Emissionen abgeschieden und gespeichert. „Rosafarbener“ Wasserstoff wird durch nuklear betriebene Elektrolyseure gewonnen, „türkiser“ Wasserstoff wird durch Methanpyrolyse aus Erdgas hergestellt.

Diese Farbcodes suggerieren, dass sich die unterschiedlichen Wasserstoffarten klar voneinander abgrenzen lassen, was jedoch nicht der komplexen Realität entspricht. So wird beispielsweise „blauer“ Wasserstoff von den Befürwortern fossiler Energien und den Regierungen mehrerer G20-Staaten häufig als „kohlenstofffrei“ dargestellt. Je nach Ausmaß der Methanleckagen und dem Anteil des dauerhaft gespeicherten CO₂ weist dieses Produkt in der Praxis jedoch eine erhebliche Treibhausgasintensität auf: In den meisten Fällen ist der als „blau“ bezeichnete Wasserstoff tatsächlich „blaugrau“ mit unterschiedlicher, teils hoher THG-Emissionsintensität. Die THG-Emissionsintensität von Wasserstoff, der mit Elektrolyseuren erzeugt wird, die ihren Strom aus dem Netz beziehen, hängt vom jeweiligen Strommix ab, der je nach Land und Zeitpunkt unterschiedlich ist. Diese Faktoren machen die Diskussion um die Definition und Zertifizierung von erneuerbarem Wasserstoff so komplex.

Die G20 als Forum für grüne Wasserstoffpolitik?

Um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen und einen katastrophalen Klimawandel zu verhindern, muss die internationale Gemeinschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts weltweit Treibhausgasemissionen auf netto-Null reduzieren (IPCC 2022). Ob dieses Ziel erreicht wird, entscheidet sich in den G20-Staaten: Auf sie entfielen 2019 62 % der Weltbevölkerung, 83 % des BIP und 76 % der Treibhausgasemissionen (Minx et al. 2021; World Bank 2022b; 2022a) sowie nahezu 80 % des seit 1850 in die Atmosphäre freigesetzten CO₂, insgesamt mehr als 2.500 Gigatonnen. Das ist etwa fünfmal so viel wie das verbleibende Kohlenstoffbudget, d. h. die CO₂-Menge, die bis zum Ende des Jahrhunderts weltweit noch emittiert werden darf, damit die globale Erwärmung mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit auf unter 1,5°C gehalten werden kann (IPCC 2022).

Die Gruppe der 20 ist ein informelles Forum für Debatten und multilateralen Austausch ohne ständiges Sekretariat. Ihr wichtigstes Ergebnis ist die jährliche Erklärung der Staats- und Regierungschefs, die von den Staats- und Regierungschefs unterzeichnet wird, sowie das jährliche Kommuniqué der Finanzminister und Zentralbankpräsidenten. Außerdem finden zusätzliche Treffen einzelner Minister statt. Das letzte Kommuniqué der Energieminister wurde 2018 auf dem G20-Gipfel veröffentlicht, der unter argentinischer Präsidentschaft stattfand (G20, 2018).

Die G20 arbeiten auf Konsensbasis, ihre Erklärungen sind nicht rechtsverbindlich. Angesichts der sehr unterschiedlichen Interessen innerhalb der G20 und der daraus folgenden Schwierigkeit, sich auf gemeinsame Positionen zu verständigen, sind die Erklärungen häufig sehr allgemein gefasst. Dies gilt umso mehr für umstrittene Bereiche wie Energie und Klima. In der Abschlusserklärung der Staats- und Regierungschefs von Bali heißt es etwa: „Wir werden die Energiewende beschleunigen und unsere Klimaziele erreichen, indem wir Energiesicherheit und Energieversorgungsketten stärken und Energiemix und -systeme diversifizieren“. Es wird zwar anerkannt, „wie wichtig es ist, Entwicklung, Einsatz und Verbreitung von Technologien sowie entsprechende politische Maßnahmen zu beschleunigen, um eine Wende hin zu emissionsarmen Energiesystemen herbeizuführen, und zwar auch durch den beschleunigten Ausbau sauberer Energieerzeugung einschließlich erneuerbarer Energien [...] einschließlich beschleunigter Bemühungen im Hinblick auf den schrittweisen Ausstieg aus der Stromerzeugung aus Kohle, bei der keine CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) angewendet wird, und zwar im Einklang mit den nationalen Gegebenheiten [...]“ (G20 Leaders, 2022). Dass der Verbrauch fossiler Brennstoffe verringert werden muss, wird hingegen nicht erwähnt – geschweige denn, dass er perspektivisch ganz beendet werden muss.

Die unterschiedlichen Interessen der G20-Länder beim Thema Wasserstoff

Die G20-Staaten haben sehr unterschiedliche Vorstellungen über den Hochlauf eines (grünen) Wasserstoffmarktes und entsprechende Regelungen – was ihre unterschiedlichen Ausgangspunkte, Interessen und Prioritäten wieder spiegelt. Der folgende kurze Überblick vermittelt, zu welcher Art von Zielen die G20 am ehesten einen Beitrag leisten kann, und welche eher in anderen Foren vorangebracht werden können.

- **Klimapolitische Verpflichtungen:** In der G20 sind Länder mit sehr unterschiedlichen klimapolitischen Ambitionen vertreten, globale Vorreiter ebenso wie Länder mit wenig ambitionierten oder unverbindlichen Klimazielen und schwachen oder nicht vorhandenen Prozessen für die Umsetzung und Überprüfung von Klimapolitik (Climate Transparency 2022).
- **Exporteure und Importeure konventioneller Energie:** Zu den G20 gehören Länder mit erheblichen Vorkommen fossiler Energien, und dementsprechend auch die wichtigsten Exporteure fossiler Energie wie Australien, Kanada, Russland und Saudi-Arabien. Darunter sind ebenso einige der größten Energieimporteure wie China, die EU, Japan und Südkorea.
- **Potenzial für erneuerbare Energien:** Einigen G20-Staaten wie Deutschland, Italien und Japan haben nur begrenztes Potenzial für erneuerbare Energien. Andere Länder wie Australien, Kanada, Saudi-Arabien, möglicherweise Brasilien und die USA können potenziell ihren gesamten Energiebedarf aus heimischen erneuerbaren Quellen decken und darüber hinaus erhebliche Mengen an erneuerbarer Energie exportieren – weniger in Form von Strom oder grünem Wasserstoff, sondern eher als Wasserstoff-Folgeprodukte.

- **Energiebilanz bei Klimaneutralität:** In einer künftigen klimaneutralen, auf erneuerbaren Energien basierenden Weltwirtschaft bleiben einige G20-Staaten höchstwahrscheinlich weiterhin Energieimporteure (z. B. Frankreich, Deutschland, Italien, wahrscheinlich die EU insgesamt, Japan, Südkorea), während andere Länder Nettoenergieexporteure bleiben (Australien, Kanada, Saudi-Arabien) oder werden könnten (wie möglicherweise das Vereinigte Königreich mit seinen immensen Offshore-Windressourcen).

Unter den G20 sind jedoch **keine Länder aus der Gruppe der „neuen Energieexporteure“**, d. h. Länder, die selbst kaum oder keine Energie aus fossilen Energieträgern gewinnen, jedoch ein hohes Potenzial für erneuerbare Energien haben. Einige Nicht-G20-Länder wie Chile, Island, Jordanien, Marokko, Namibia und Tunesien sind im Hinblick auf die künftige grüne Wasserstoff-Geopolitik von besonderer Bedeutung: sie haben einerseits besonderes Interesse an der Entwicklung einer grünen Wasserstoffwirtschaft und können eine wichtige Rolle in diesem Markt spielen, andererseits verfügen sie nicht über fossile Ressourcen und haben daher keine Interessenskonflikte. Dementsprechend würden diese Länder sich im Wettbewerb zwischen fossilem und grünem Wasserstoff deutlich zugunsten des grünen Wasserstoffs positionieren. Anders steht es um G20-Staaten wie Australien, Kanada, Mexiko, Saudi-Arabien und die USA, die sowohl über ein großes Potenzial an erneuerbaren Energien als auch über große fossile Energieressourcen verfügen und daher ein Interesse haben, auch fossil-basierte Optionen für Wasserstoffherzeugung im Rennen zu behalten.

Heterogene Agenden und einige gemeinsame Nenner

Die meisten G20-Staaten haben Wasserstoffstrategien oder Roadmaps formuliert (Tabelle 1 gibt einen Überblick) und Maßnahmen ergriffen, um eine Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln.¹ Für unsere Analyse der G20 als Forum für grünen Wasserstoff ist es wichtig, die gemeinsamen Nenner hervorzuheben wie auch die Bereiche, in denen die G20-Staaten unterschiedliche Interessen und Positionen haben.

Gemeinsame Nenner aller oder der meisten G20-Länder:

- Großes Interesse an der Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse. Dies gilt selbst für die G20-Staaten mit erheblichen Vorkommen an fossiler Energie, da diese Länder ebenfalls über ein großes Potenzial an erneuerbaren Energien verfügen. Selbst die konservativsten Vertreter dieser Gruppe, die den fossilen Energieträger am engsten verbunden sind, erkennen grünem Wasserstoff eine wichtige Rolle zu – zumindest langfristig.
- Die vorrangige Verwendung von kohlenstoffneutralem oder zumindest kohlenstoffarmem Wasserstoff zur Emissionsminderung in den Bereichen, in denen die Dekarbonisierung sich besonders schwierig oder teuer gestaltet – etwa in der Luftfahrt, dem Fernlastverkehr, der Stahlerzeugung, der Ammoniak- und der Methanolproduktion.
- Das Bewusstsein, dass die Transformation der Weltwirtschaft in Richtung Klimaneutralität auch globale Energiehandelsströme verändern wird, da der Handel mit fossilen Brennstoffen zurückgeht und der Handel mit Wasserstoff und seinen Folgeprodukten zunimmt.
- Das Bewusstsein, dass dieser Prozess wahrscheinlich mit erheblichen geopolitischen und geoökonomischen Veränderungen einhergehen wird: nicht nur Energieströme werden sich verlagern, sondern auch Teile industrieller Wertschöpfungsketten, die gegenwärtig auf fossilen Rohstoffen und Energiequellen basieren.

¹ So sieht der US Inflation Reduction Act beispielsweise Steuervergünstigungen von bis zu 3 US-Dollar pro kg für die Erzeugung von kohlenstoffarmem Wasserstoff vor. Die EU wird ein Netto-Null-Industrie-Gesetz vorschlagen, das erhebliche finanzielle Unterstützung für Wasserstoff vorsieht.

Im Hinblick auf die Agenda für grünen Wasserstoff bestehen zwischen den G20-Staaten in einigen zentralen Aspekten erhebliche Unterschiede.

- ▶ Präferenzen und Priorisierung von Energiequellen für die Wasserstofferzeugung: Die EU insgesamt und Deutschland insbesondere bevorzugen grünen Wasserstoff. Blauer und violetter Wasserstoff werden nicht ausgeschlossen, erhalten aber weniger politische Unterstützung. Für die G20-Staaten außerhalb Europas stellt dagegen auch fossiler Wasserstoff eine wichtige Zukunftsoption dar, einige Länder sind zudem auch Wasserstoff aus Kernkraft gegenüber aufgeschlossen.
- ▶ Die jeweiligen unterschiedlichen geopolitischen Bedingungen führen dazu, dass einige G20-Staaten künftig als Exporteure, andere als Importeure von Wasserstoff und seinen Folgeprodukten auftreten werden. Weitere Unterschiede betreffen die erwartbaren wirtschaftlichen Verluste oder Gewinne, die sich aus der Verlagerung von Industrietätigkeiten ergeben können.
- ▶ Interesse an Nachhaltigkeit der künftigen (fossilen und erneuerbaren) Wasserstoffproduktion und entsprechendes Engagement.

Land	H2-Strategie, -Roadmap oder politische Diskussionen	Ziele	Energiequellen im Fokus	Sektorspezifische H2-Verwendung	Investitionen
Argentinien	Politische Diskussionen				
Australien	Wasserstoff-Strategie (2019)		Fossile und erneuerbare Energien	Heizung, Industrie, Verkehr, Export	14 Mrd. US-Dollar bis 2030
Brasilien	Strategie in Vorbereitung				
China	Wasserstoff-Plan (2022)	Produktion von 0,1-0,2 Mio. t H ₂ pro Jahr mit erneuerbarer Energie bis 2025. 50 % des H ₂ wird bis 2030 aus erneuerbarer Energie stammen.	Fossile und erneuerbare Energien	Industrie, Mobilität	
Deutschland	Wasserstoff-Strategie (2020)	5 GW Elektrolysekapazität bis 2030, entspricht 90-110 TWh H ₂ (4% des Energieendverbrauchs)	Erneuerbare Energien	Industrie, Transport	22,83 Mrd. US-Dollar bis 2026
Frankreich	Nationale Strategie (2020)	6,5 GW Elektrolysekapazität bis 2030	Kernenergie, erneuerbare und fossile Energie	Industrie, Mobilität	
Vereinigtes Königreich	Wasserstoff-Strategie (2021)	5 GW Elektrolysekapazität bis 2030 20-35% H ₂ -Anteil am Energieendverbrauch bis 2050		Stromerzeugung, Heizung, Industrie, Mobilität	
Indien	Wasserstoff-Roadmap (2022)	Produktion von 5 Mio. t grünes H ₂ bis 2030		Industrie, Mobilität, Heizung, Stromerzeugung	
Indonesien	-				
Italien	Wasserstoff-Strategie (2020)	5 GW Elektrolysekapazität für Anteil von 2 % H ₂ am Energieendverbrauch bis 2030 und 20 % 2050			
Japan	Wasserstoff-Roadmap (2019)	H ₂ -Verbrauch von 3 Mio. t bis 2030. Inländisch produziertes H ₂ soll bis 2030 kohlenstofffrei sein.	Fossile und erneuerbare Energien	Heizung, Stromerzeugung, Transport	18,2 Mrd. US-Dollar bis 2030
Kanada	Wasserstoff-Strategie (2020)	Produktion von 0,14 Mio. t H ₂ pro Jahr. und H ₂ -Anteil von 6,2% am Energieendverbrauch 2030	Fossile, nukleare und erneuerbare Energien	Industrie, Transport	1,937 Mrd. US-Dollar bis 2030

Mexiko	Politische Diskussionen				
Russland	Wasserstoff-Roadmap (2021) (*)	Produktion von 2 Mio. t H ₂ bis 2030	Fossile, nukleare und erneuerbare Energien	Exporte	1,7 Mrd. US-Dollar bis 2030
Saudi-Arabien	Strategie in Vorbereitung				
Südafrika	Wasserstoff-Roadmap (2021)	Produktion von 500.000t H ₂ pro Jahr und Elektrolysekapazität von 12 GW bis 2030, 15 GW bis 2040	Fossile und erneuerbare Energien	Mobilität, Industrie, Stromerzeugung, Export	
Südkorea	Wasserstoff-Roadmap (2019)	Produktion von 5,26 Mio. t H ₂ p.a. bis 2040, 5,9 Mio. Fahrzeuge mit Brennstoffzelle und 1.200 H ₂ -Tankstellen	Fossile und erneuerbare Energien	Stromerzeugung, Mobilität	1,937 Mrd. US-Dollar bis 2025
Türkei	Roadmap für Wasserstoff in Vorbereitung				
USA	Pläne für Wasserstoff, Infrastruktur und Beschäftigung (**)	17 Mio. t Bedarf bis 2030, 1,5 Mio. Fahrzeuge mit Brennstoffzelle und 4.300 H ₂ -Tankstellen bis 2030	Erneuerbare, fossile und nukleare Energien	Stromerzeugung, Industrie, Mobilität	
Europäische Union	Wasserstoff-Strategie (2020)	Produktion von 10 Mio. t H ₂ pro Jahr und 40 GW Elektrolysekapazität bis 2030	Erneuerbare und fossile Energien	Industrie, Mobilität	155 Mrd. US-Dollar bis 2030

Tabelle 1: Wasserstoffstrategien der G20-Staaten

Quellen: Zhu und Wei 2022; World Energy Council, EPRI und PwC 2021; Garcia-Herrero, Tagliapietra und Vorsatz 2021; Government of India 2022; Department of Science and Innovation 2021; Daily Sabah 2022Hinweis: (*) = Es wurden auch Informationen aus dem „Plan für die Entwicklung von Wasserstoff in Russland bis 2024“ berücksichtigt. (**) = Der „Entwicklungsplan für Wasserstoff-Energie“ (2019) und das Infrastrukturinvestitions- und Arbeitsplatzgesetz („Infrastructure Investment and Jobs Act“)(2021) wurden berücksichtigt.

Grüner Wasserstoff in einem klimaneutralen Energiesystem

Ein Schlüsselement auf dem Weg hin zu Klimaneutralität ist der Ersatz fossiler Energie durch Energie aus erneuerbaren Quellen. Wesentlich dafür ist einerseits die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auszubauen, und andererseits Energienutzung zu elektrifizieren, z. B. in der Industrie, im Transport- und Verkehrssektor und bei der Wärmeversorgung. Mit den drastisch sinkenden Kosten für Wind- und Solarenergie gewinnt dieser Teil der Transformation immer mehr an Fahrt. Die Internationalen Agentur für erneuerbare Energien (IRENA) sieht erneuerbare Energie heute als „die günstigste Energie in der Geschichte der Menschheit“ (IRENA 2021), die weltweit fossile Energieträger aus den Strommärkten verdrängt. Weltweit steigen die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge rasant an; so werden in einigen Ländern bereits mehr E-Fahrzeuge neu zugelassen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (IEA 2021a). Ebenso setzen sich Wärmepumpen durch als effiziente Lösung zur Wärmeerzeugung im Niedertemperaturbereich für Raumheizung, Warmwasser oder in industriellen Anwendungen.

Es bleiben jedoch einige Aktivitäten und Prozesse, für die eine direkte Elektrifizierung (bislang noch) nicht in Frage kommt: etwa die interkontinentale Luftfahrt oder die internationale Schifffahrt, wo die geringere Energiedichte und das Gewicht von Batterien der Elektrifizierung Grenzen setzen. Ferner betrifft dies bestimmte industrielle Prozesse, insbesondere in der Stahlerzeugung und der Chemie, etwa weil sie fossile Ressourcen als stofflichen Input oder als Reaktionsmittel verwenden, oder weil sie große Mengen an Hochtemperaturwärme benötigen (IEA 2021b). Für diese Anwendungen können Wasserstoff oder wasserstoffbasierte synthetische Brennstoffe als Ersatz für fossile Energieträger dienen (siehe Abbildung 1).

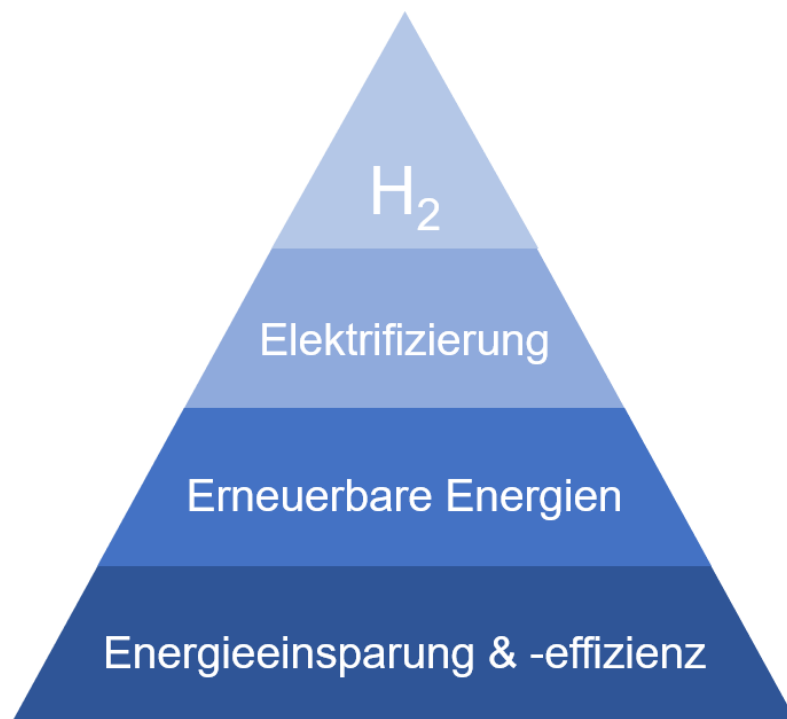


Abbildung 1: Hierarchie der Optionen für Emissionsminderung einschließlich grünem Wasserstoff. Quelle: eigene Darstellung

Mit erneuerbarem Strom erzeugter grüner Wasserstoff ist ein klimaneutraler Energieträger. Da jedoch die Herstellung, Verarbeitung und Transport von Wasserstoff unweigerlich mit Energieverlusten verbunden sind, ist direkte Elektrifizierung – wo immer möglich – die billigere und einfachere Alternative. Grüner Wasserstoff als teure und knappe Ressource sollte den Sektoren und Anwendungen vorbehalten sein, für die keine praktikablen Alternativen existieren. Netto-Null-Szenarien gehen davon aus, dass Wasserstoff bis 2050 einen Anteil von 10 bis über 20% am globalen Endenergieverbrauch ausmachen könnte (IEA 2021b; IRENA 2022; Agora Energiewende and Agora Industry 2021).

Ein neuer internationaler Markt für (grünen) Wasserstoff?

Gegenwärtig kommt Wasserstoff vor allem in der Düngemittelindustrie für die Erzeugung von Ammoniak zum Einsatz, sowie in der petrochemischen Industrie zur Verringerung des Schwefelgehalts von Dieselmotoren. Das internationale Angebot an Wasserstoff ist nach wie vor begrenzt: 2020 wurden weltweit 90 Mio. Tonnen Wasserstoff hergestellt.

Der derzeit angebotene Wasserstoff wird überwiegend aus fossilen Brennstoffen erzeugt (IEA 2021b). Der Anteil an grünem Wasserstoff, der durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom gewonnen wird, ist bislang sehr gering – 2020 betrug die Elektrolysekapazität weltweit 0,3 GW, mit denen etwa 0,03 % des weltweit erzeugten Wasserstoffs hergestellt wurden (Clarke et al. 2022). 40 % dieser Anlagen befanden sich in Europa, gefolgt von Kanada (9 %) und China (8 %) (IEA 2021b). Die kumulierte installierte Elektrolysekapazität steigt jedoch exponentiell: Nachdem sie sich innerhalb von nur zwei Jahren zwischen 2019 bis 2021 von 242 MW auf 513 MW mehr als verdoppelt hat, wird sie sich Prognosen von September 2022 zufolge innerhalb nur eines Jahres bis Ende 2023 auf 1.398 MW fast verdreifachen (IEA 2022b).

Damit er sich schneller verbreitet, muss grüner Wasserstoff wettbewerbsfähig sein mit Wasserstoff aus fossilen Quellen. Skaleneffekte und technologische Entwicklung werden wahrscheinlich sowohl die Kosten für Elektrolyseure als auch für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen weiter sinken lassen. Gleichzeitig haben die Kosten für grauen Wasserstoff durch den immensen Anstieg der Erdgaspreise ein Niveau erreicht, das vergleichbar ist mit den Kosten von grünem Wasserstoff oder diese sogar übersteigt (IEA 2022). Grüner Wasserstoff könnte daher den globalen Wasserstoffmarkt der Zukunft dominieren (Clarke et al. 2022). Ob und wie schnell dieser Punkt erreicht wird, hängt jedoch nicht nur vom technologischen Fortschritt ab, sondern auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen. Die Politik kann die Produktion und Nutzung von grünem Wasserstoff vor allem dadurch fördern, dass sie die verbleibende Preislücke zwischen grünem und nicht-grünem Wasserstoff schließt. Dies kann u. a. geschehen durch einen ausreichend hohen CO₂-Preis oder durch gezielte Unterstützung (Klimaschutzverträge / „Carbon Contracts for Difference“), durch verpflichtende Quoten für (grünen) Wasserstoff und Derivate, oder durch eine entsprechende Verpflichtung für die öffentliche Beschaffung, die eine stabile und vorhersehbare künftige Nachfrage schafft.

Die Produktionskosten für grünen Wasserstoff hängen ab vom lokal verfügbaren Potenzial an erneuerbaren Energien, von der vorhandenen Infrastruktur und von den Kapitalkosten. Sie unterscheiden sich daher je nach Region erheblich. Regionen mit einem reichhaltigen und günstigen Potenzial an erneuerbaren Energien können grünen Wasserstoff günstig erzeugen, und diesen perspektivisch (ggf. in Form von Derivaten) in die Regionen mit der höchsten Nachfrage verkaufen. Die künftigen Erzeugungskosten werden Prognosen zufolge in einigen Regionen auf etwa 1 US-Dollar pro Kilo sinken. Der Transport von reinem Wasserstoff über größere Entfernungen ist mit etwa 2-3 US-Dollar pro Kilo jedoch teuer und energieintensiv. Daher werden derzeit etwa 85 % des produzierten Wasserstoffs vor Ort verbraucht und nicht über größere Entfernungen transportiert (IRENA 2022). Wenn die Erzeugung und Verbrauch räumlich nicht

zu weit voneinander entfernt liegen, stellen Pipelines eine Lösung dar für den Transport von Wasserstoff. In vielen Fällen ließen sich bestehende Erdgaspipelines zu geringen Kosten umwidmen (IRENA 2022). Muss Wasserstoff dagegen über größere Entfernungen transportiert werden, ist es unattraktiv dies in Form von reinem Wasserstoff zu tun: eher bietet es sich an, Folgeprodukte von grünem Wasserstoff zu handeln wie etwa Ammoniak, Methanol oder synthetischen Kraftstoffen. IRENA (2022) schätzt, dass langfristig höchstens die Hälfte des internationalen Wasserstoffhandels auf Lieferungen über Pipelines entfallen wird, der Großteil dagegen auf Lieferungen in Form von Wasserstoff-Folgeprodukten.

Angesichts der zu erwartenden Produktions- und Transportkosten könnten die Märkte für reinen Wasserstoff (ohne Folgeprodukte) regional bleiben, während der Markt für Wasserstoff-Folgeprodukte stärker globalisiert sein wird. Einigen Prognosen zufolge wird bis 2050 zwischen einem Fünftel und einem Drittel des weltweit produzierten Wasserstoffs über nationale Grenzen hinweg gehandelt (Clarke et al. 2022, IEA 2021, IRENA 2022). Da die internationalen Märkte für grünen Wasserstoff und Folgeprodukte gegenwärtig im Entstehen begriffen sind, ist jetzt ein entscheidender Zeitpunkt, um die Entwicklung der Märkte durch geeignete Rahmenbedingungen zu steuern – und die G20, die einen Großteil des Angebots und der Nachfrage nach grünem Wasserstoff und Folgeprodukten vereint, ist in einer günstigen Position, diese Märkte von Anfang an mitzugestalten.

Nachhaltige Steuerung des internationalen Wasserstoffhandels

Im Gegensatz zu den gut etablierten globalen Märkten für fossile Brennstoffe befindet sich der internationale Markt für (grünen) Wasserstoff noch in den Kinderschuhen – auch, was die regulatorischen Rahmenbedingungen anbelangt. Wie sich dieser Markt weiterentwickeln wird, hängt im hohen Maße von den politischen Entscheidungen und Rahmensetzungen in dieser Frühphase ab. Die G20 kann diesen Markt jetzt gestalten und Abhängigkeiten von einer ökologisch oder sozial nicht nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft verhindern.

Abbildung 2 veranschaulicht die vielfältigen Pfadabhängigkeiten in diesem Prozess: Insgesamt konkurriert das entstehende Energiesystem, in dem Wasserstoff eine zentrale Rolle spielt, mit dem etablierten Energiesystem, das auf fossilen Brennstoffen basiert und in dem Wasserstoff (welcher Art auch immer) eine Nischenrolle hat. Innerhalb der verschiedenen Wasserstoffarten wiederum gibt es einen Wettbewerb zwischen konventionell-fossilen Varianten einerseits (insbesondere dem derzeitigen Standardverfahren, „grauer“ Wasserstoff aus Erdgas), und andererseits Wasserstoff auf Elektrolysebasis. Wenn der für die Elektrolyse benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird, gilt er als grün. Jedoch existieren auch bei grünem Wasserstoff verschiedene Schattierungen, je nachdem welche (ökologischen und sozialen) Kriterien für den verwendeten Strom gelten. In der Praxis werden all diese verschiedenen Ansätze nebeneinander bestehen und miteinander konkurrieren, es geht also nicht um eine Festlegung auf nur eine der Optionen. Gleichzeitig sind die verschiedenen Optionen jeweils mit Lernkosten und Skaleneffekten verbunden, und der Hochlauf der jeweiligen Wasserstoffproduktion muss gemeinsam mit der passenden Infrastruktur erfolgen. Wie wettbewerbsfähig die Optionen sind, hängt daher auch davon ab wie viel in sie investiert wird. Das birgt jedoch auch die Gefahr, zu früh zu viel zu wollen: konzentrieren sich die Investitionen ausschließlich auf die dunkelgrünere Schattierungen von Wasserstoff (mit dementsprechend hohen Anforderungen), besteht die Gefahr, dass diese gar nicht erst an den Punkt kommen, an denen sie mit fossilen Optionen konkurrieren können.

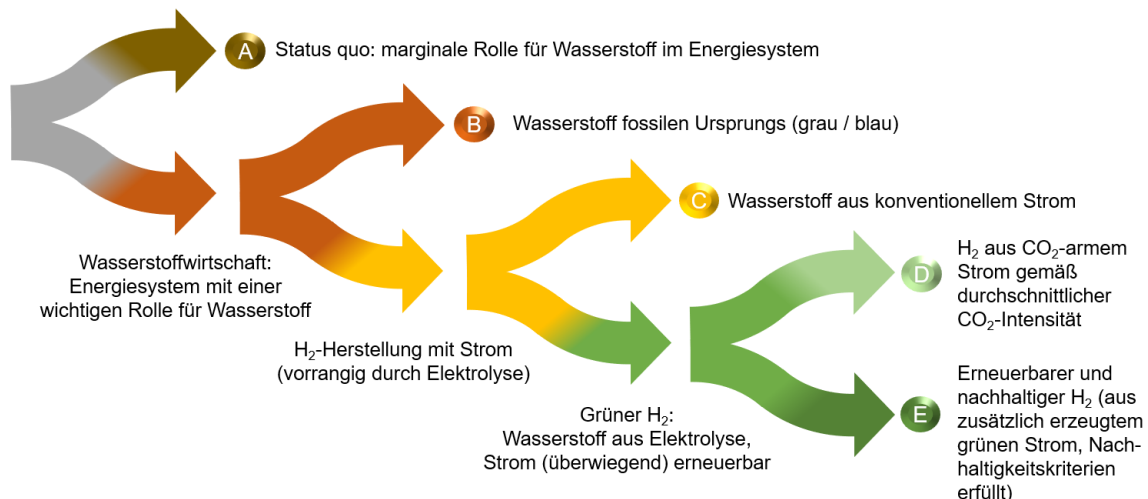


Abbildung 2: Pfadabhängigkeiten auf dem Wasserstoffmarkt. Quelle: eigene Darstellung

Die Regulierung der entstehenden internationalen Märkte für grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte muss die Auswirkungen auf die Import- und die Exportländer berücksichtigen. Die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien bietet auch für die Herkunftsländer zahlreiche Vorteile, etwa wirtschaftliche Möglichkeiten und Arbeitsplätze. Allerdings birgt die Wasserstoffproduktion auch Risiken, indem sie beispielsweise die Land- und Wasserknappheit verschärfen oder Konflikte um diese Ressourcen verstärken kann. Ob die Produktion von grünem Wasserstoff die Energiewende im jeweiligen Herkunftsland unterstützt, ist umstritten. Einerseits erfordert die Produktion von grünem Wasserstoff den Ausbau erneuerbarer Energien, und kann so durch höhere Nachfrage und Investitionen in neue Kapazitäten die Energiewende voranbringen. Andererseits zieht die Wasserstoffproduktion vorhandenen erneuerbaren Strom von anderen inländischen Verwendungen ab, da die zusätzliche Nachfrage die Preise steigen lässt und so die inländische Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien weniger attraktiv macht.

Ein wesentliches Merkmal grünen Wasserstoffs besteht darin, dass – anders als andere Energieressourcen – nicht in einem herkömmlichen Rohstoffmarkt gehandelt wird. Vielmehr wird der Wasserstoffmarkt – zumindest teilweise – ein politisch geschaffener, durch Regulierung gesteuerter Markt sein, der öffentlicher Aufsicht bedarf. Daher muss der Handel mit grünem Wasserstoff auf klaren und hinreichend ehrgeizigen Nachhaltigkeitskriterien beruhen und von entsprechenden Institutionen und Mechanismen überwacht und begleitet werden. Tabelle 2 listet die Herausforderungen und potenziellen Governance-Optionen für die Ausfuhr von grünem Wasserstoff auf.

		Herausforderungen für eine nachhaltige Entwicklung	Governance-Optionen
Ökologische Aspekte	Energiesysteme	Bei Einsatz begrenzter erneuerbarer Kapazitäten zur Herstellung von Wasserstoff verlagert sich die Energienachfrage auf zusätzliche fossile Kapazitäten mit potenziell negativen Auswirkungen auf das Klima. In Exportländern mit begrenzten erneuerbaren Ressourcen oder Investitionskapazitäten könnte zu 100 % aus erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff die Dekarbonisierung verzögern, wenn erneuerbare Energien vorrangig für den Export und nicht für die effektivste inländische Nutzung eingesetzt werden.	Erneuerbare Energie für grünen Wasserstoff könnte nur dann als „zusätzlich“ gelten, wenn sie aus nicht an das nationale Stromnetz angeschlossenen Quellen stammt oder wenn ein Stromabnahmevertrag mit Anbietern von erneuerbarem Strom existiert. Netzstrom könnte auch zugelassen werden, wenn seine Kohlenstoffintensität unter einem festgelegten Richtwert liegt. Dieser Richtwert sollte sich auf eine Analyse des vollständigen Lebenszyklus beziehen und könnte in absoluten Zahlen definiert werden (CO ₂ pro kWh).
	Wasser	Der Wasserverbrauch für Elektrolyse ist überschaubar und wäre nur in sehr wasserarmen Ländern problematisch. Für erneuerbare Energie aus konzentrierter Solarenergie könnte der Wasserverbrauch deutlich höher sein. In wasserarmen Regionen müsste Meerwasser entsalzt werden. Zusätzliche Entsalzungskapazitäten könnten den Zugang der lokalen Bevölkerung zu Wasser erweitern. Der durch Entsalzung entstehende Schlamm muss behandelt werden.	Verfolgung des Wasserverbrauchs für die Produktion von grünem Wasserstoff in der gesamten Produktionskette von der Quelle bis zum Endprodukt (d. h. auf regionaler Ebene des Wasserstoff-Projekts). Einrichtung eines umfassenden Überwachungssystems zur Feststellung von Wasserknappheit auf der Grundlage geeigneter Indikatoren, mit denen die Auswirkungen der Erzeugung von grünem Wasserstoff bewertet werden können. Gewährleistung, dass Entsalzungsanlagen auf umweltfreundliche Weise installiert und betrieben werden.
	Flächennutzung	Erneuerbare Energien haben einen hohen Flächenbedarf. Für Länder mit großen Landflächen ist dieser an sich nicht problematisch. Die Produktion von grünem Wasserstoff in bestimmten gefährdeten Gebieten, z. B. in Hotspots der biologischen Vielfalt oder auf Ackerland, könnte dagegen negative Auswirkungen auf die nachhaltige Entwicklung haben.	Umweltverträglichkeitsprüfungen, um sicherzustellen, dass die Erzeugung erneuerbarer Energie keine negativen ökologischen Auswirkungen hat. Einige gefährdete Gebiete, wie z. B. Hotspots der biologischen Vielfalt, sollten ausgeschlossen werden. Eine kombinierte Nutzung, z. B. mit Landwirtschaft, könnte bevorzugt werden.
	Wasserstoff-Leckagen	Wenn Wasserstoff in die Atmosphäre entweicht, könnte dies die Lebensdauer von atmosphärischem Methan verlängern und zur Klimaerwärmung beitragen. Die möglichen Klimaauswirkungen von Wasserstoff-Leckagen sind noch nicht vollständig erforscht. Der Aufbau von Versorgungsketten, die anfällig für Leckagen sind, könnte zu einem Lock-In in ein klimaschädliches System führen.	Überwachungsanforderungen für Wasserstoff-Leckagen, Sicherheitsstandards zur Verhinderung von Leckagen und eine klare Verpflichtung zum Ausschluss von Wasserstoffimporten, die mit größeren Leckagen verbunden sind.

	Ressourcennutzung	<p>Die Nutzung knapper Rohstoffe für Solarmodule, Windturbinen und Elektrolyseure könnte zu einer Abhängigkeit von einigen wenigen Lieferanten führen und birgt das Risiko von Lieferkettenunterbrechungen.</p> <p>Der Abbau dieser Materialien könnte auch schädliche Auswirkungen auf die Umwelt und das menschliche Wohlergehen in den Erzeugerländern haben.</p>	<p>Nachweis, dass für die Herstellung von Wasserstoff Materialien verwendet werden, die gemäß genau definierter Umwelt- und Menschenrechtsstandards beschafft wurden.</p> <p>Erneuerbare Energiequellen und Hydrolyseure müssen einen Mindestanteil an Rohstoffen aus Unterzeichnerstaaten der Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft enthalten.</p>
Soziale Fragen	Menschenrechte	<p>Die Wasserstoffproduktion könnte zu Menschenrechtsverletzungen führen, wenn Menschen gewaltsam vertrieben oder kulturell oder religiös bedeutende Gebiete genutzt werden.</p>	<p>Möglichkeiten für verschiedene Formen der Beteiligung – von der Information bis zur Entscheidungsfindung unter Einbeziehung der lokalen Bevölkerung – sollten analysiert und umgesetzt werden. Die vorherige und auf Informationen beruhende Zustimmung der betroffenen Gemeinschaften kann als Indikator gelten, dass ein Projekt mit den Menschenrechtsstandards übereinstimmt.</p> <p>Exporthändler könnten zum Nachweis verpflichtet sein, dass sie keine Menschenrechte verletzen. Medienberichte und Rechtsstreitigkeiten könnten hier als Warnsignale dienen.</p>
	Sozioökonomische Entwicklung	<p>Wenn die Wasserstoffproduktion die Entwicklung zusätzlicher Industrien nicht ankurbelt, wird sie nur geringe - oder sogar negative - Auswirkungen auf die sozioökonomische Entwicklung haben.</p> <p>Daten, die sich ausschließlich auf die direkte Beschäftigung in der Wasserstoffbranche beziehen, sind unzureichend, da sie die Auswirkungen auf die gesamte Wirtschaft nicht berücksichtigen.</p>	<p>Verfolgung der Einkommensverteilung und der Gesamtbeschäftigung, um die Auswirkungen der Wasserstoffproduktion auf die sozioökonomische Entwicklung zu bewerten.</p> <p>Für hochwertige Arbeitsplätze im Produktionsland muss sichergestellt werden, dass die Qualifikationen der einheimischen Arbeitskräfte entwickelt und neue Industrien gefördert werden.</p>

Tabelle 2: Wichtigste Herausforderungen und potenzielle Governance-Optionen für die Ausfuhr von grünem Wasserstoff

Förderung einer Agenda für grünen Wasserstoff in den G20-Staaten

Angesichts der heterogenen Interessen der G20-Staaten könnten die Bemühungen um eine Agenda für grünen Wasserstoff ins Stocken geraten, zu Greenwashing führen, oder in Kompromissen enden, denen es an Ambition mangelt. Damit es dazu nicht kommt, entwickelt das folgende Kapitel einige Optionen für die Förderung einer Agenda für grünen Wasserstoff in der G20.

1. Erstens könnten die G20-Staaten darauf hinarbeiten, **Wettbewerbsgleichheit für Wasserstoff aus fossilen Quellen** (grau, blau und alle Abstufungen dazwischen) **und für grünen Wasserstoff** zu schaffen. Das bedeutet, dass die tatsächliche Höhe der Methan- und CO₂-Emissionen von fossilem Wasserstoff und die Emissionsintensität von Strom aus Kraftwerken mit hohem fossilem Anteil nicht länger unterschätzt werden.
2. Zweitens kann die G20 dazu beitragen, **Leitmärkte für die Elemente der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu schaffen, die die Einführung von grünem Wasserstoff unterstützen** und über die in der G20 möglicherweise ein breiter Konsens erreicht werden kann. Neben grünem Wasserstoff selbst, grünem Ammoniak und möglicherweise anderen Wasserstoff-Folgeprodukten gehören dazu auch Elektrolyseure und die Transportinfrastruktur, einschließlich Wasserstoffpipelines, sowie Häfen und Schiffe für den Transport von Wasserstoff und seinen Folgeprodukten.
3. Drittens können die G20-Staaten die **Produktion und Verwendung von grünem Wasserstoff in anderen Ländern unterstützen**, um die globalen Lieferketten zu erweitern.

Faire Wettbewerbsbedingungen für grünen Wasserstoff

Ein zentrales Thema, bei dem Maßnahmen auf G20-Ebene hilfreich sein könnten, ist die faire Bilanzierung von Treibhausgasemissionen und Harmonisierung von Nachhaltigkeitskriterien bei Wasserstoff aus erneuerbaren solchem aus fossilen Energieträgern.

Definition von grünem Wasserstoff

Wann kann Wasserstoff als „grün“, d. h. aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt, angesehen werden? In dieser Frage hat die EU eine globale Vorreiterrolle, da sie ihre rechtlich verbindlichen Ziele für erneuerbare Energien verbindet mit einer detaillierten, rechtlich durchsetzbaren Definition von Wasserstoff und Folgeprodukten aus erneuerbaren Energien. Im Rahmen der zweiten und dritten Überarbeitung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II und III) wurden Kriterien für erneuerbaren Wasserstoff entwickelt. Die wichtigsten sind:

- ▶ Zusätzliche Kapazitäten für erneuerbare Energien, die den für die Elektrolyse erforderlichen Strom erzeugen: Wird der Wasserstoff mit zusätzlichem, eigens für diesen Zweck erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt, oder wird lediglich bereits vorhandener erneuerbarer Strom für die Herstellung von grünem Wasserstoff umgewidmet?
- ▶ Bei Elektrolyseuren, die ihren Strom aus dem Netz beziehen, muss das zeitliche und räumliche Verhältnis zwischen Betriebszeit und Standort der Elektrolyseure und der Stromerzeugung durch (zusätzliche) erneuerbare Kapazitäten berücksichtigt werden. Wenn die Elektrolyseure auch zu Zeiten mit geringem Anteil an erneuerbaren Energien und damit höherer Emissionsintensität produzieren, ist es wahrscheinlich, dass ihr

Strombedarf durch zusätzliche fossile Erzeugung gedeckt wird. Das gilt auch bei physikalischen Engpässen.

- ▶ Die strenge Anwendung dieser Kriterien wird bei (nationalen/regionalen) Stromsystemen gelockert, die bereits einen sehr hohen Anteil an erneuerbaren Energien haben.

Diese Kriterien sind für jedes Land relevant, das grünen Wasserstoff in ein sauberes Energiesystem integrieren möchte. Darüber hinaus wird die EU-Definition von erneuerbarem Wasserstoff unmittelbar relevant sein für Projektentwickler und für Nicht-EU-Länder, die grünen Wasserstoff oder Folgeprodukte in die EU exportieren wollen.

Ob die G20 sich auf einen gemeinsamen Ansatz zur Klassifizierung von grünem Wasserstoff auf G20-Ebene verständigen können, steht jedoch auf einem anderen Blatt. Die meisten G20-Staaten außerhalb der EU räumen erneuerbarem Wasserstoff keinen Vorrang ein, sondern bevorzugen eine Wasserstoff-Klassifizierung auf Grundlage der Treibhausgasintensität der jeweiligen Erzeugungsverfahren. Insofern wäre hier bereits ein Dialog mit der Aussicht auf eine eventuelle Harmonisierung ein Fortschritt.

Treibhausgasemissionsintensität der Wasserstoffproduktion

Eine wichtige Rolle in dieser Debatte spielt die 2003 als zwischenstaatliche Partnerschaft gegründete IPHE (International Partnership for a Hydrogen Economy), die eine Methodik zur Bestimmung der mit der Wasserstoffproduktion verbundenen Treibhausgasemissionen (IPHE 2022) entwickelt hat. Ein früherer Entwurf dieser IPHE-Methode war kritisiert worden, weil er die flüchtigen Methanemissionen unterschätzt hatte, die mit der Wasserstoffproduktion aus Erdgas und Kohle einhergehen. Außerdem setzt die Methodik in ihrer Entwurfsfassung die Treibhausgasemissionen von Elektrolyseuren, die an das Stromnetz angeschlossen sind, als zu gering an. Leider wurden die meisten dieser Probleme auch in der neuen Version der IPHE-Methode nicht behoben.

Fokussiert sich die Diskussion in Europa ausschließlich auf grünen Wasserstoff, bedeutet das letztlich, dass die Debatte über die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen von solchen Ländern kontrolliert wird, die ein Interesse an fossilen Energieträgern haben. Das birgt das Risiko, dass die THG-Bilanzierung nicht-grüner Produktionsmethoden mit Mängeln und Schlupflöchern behaftet ist. Da mehrere Länder erhebliche Investitionen in die „blaue“ Wasserstoffproduktion planen, ist es entscheidend, dass die CO₂- und die flüchtigen Methanemissionen verlässlich erfasst und berichtet werden. Aufgrund der zu gering angesetzten flüchtigen Methanemissionen würde die vorgeschlagene IPHE-Methode eine weitere Begünstigung von fossilem Wasserstoff zulasten von erneuerbarem Wasserstoff darstellen.

Um eine Begünstigung von nicht grünem, fossilem Wasserstoff durch Unterschätzung von Methanleckagen zu vermeiden, sollten gemeinsame Normen zur Bestimmung der bei der Wasserstoffproduktion anfallenden Treibhausgasemissionen entwickelt werden. Diese müssen insbesondere flüchtige Methan-Emissionen adäquat berücksichtigen. Die G20 sollte eine Arbeitsgruppe zur Normierung sowie zur Koordinierung von Überwachungs- und Zertifizierungsverfahren einrichten, die zentrale ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte von (grünem sowie nicht-grünem) Wasserstoff beinhalten. Der G20-Gipfel kann ein geeignetes Forum sein, um die Frage zu klären, wie faire Wettbewerbsbedingungen für grünen und fossilen Wasserstoff geschaffen werden können, und zwar auf der Grundlage einer lückenlosen z. B. über Satelliten erfolgende Überwachung der Methanemissionen, die durch die Gasinfrastruktur für die Wasserstoffproduktion verursacht werden. Diese Fragen auf die Tagesordnung zu setzen, kann Anreize zur Verringerung der Methan- und CO₂-Emissionen von fossilem Wasserstoff

schaffen und verringert das Risiko, dass „graublauer“ als kohlenstofffreier „blauer“ Wasserstoff verkauft wird.

Leitmärkte für grünen Wasserstoff

Eine vorhersehbare, stabile Nachfrage nach grünem Wasserstoff, sei es aus dem privaten oder dem öffentlichen Sektor, verringert die Risiken für Investoren und beschleunigt den Aufbau von Produktionskapazitäten. Die G20-Staaten können für eine solche Nachfrage sorgen, indem sie Leitmärkte für grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte schaffen.

Dafür ist es entscheidend, „No-regrets“-Optionen in der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu identifizieren, über die in der G20 Konsens besteht bzw. erreicht werden kann. Der Schwerpunkt liegt daher auf grünem Wasserstoff, da er im Gegensatz zu fossilem und nuklearem Wasserstoff von allen G20-Staaten unterstützt wird und für viele Priorität hat.

Um das Wachstum des Markts für grüne Wasserstoffproduktion zu befördern, eignen sich folgende angebotsseitige Ansatzpunkte:

- ▶ Ein Ausbau der weltweiten Kapazitäten zur Herstellung von Elektrolyseuren sowie der Produktionskapazitäten für Wind-, Solar- und andere relevante Anlagen,
- ▶ Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit der kritischen Materialien sicherstellen, sowie Förderung von Forschung und Entwicklung mit dem Ziel, diese durch weniger kritische Materialien zu ersetzen,
- ▶ Verfügbarkeit von Land- und Wasserflächen für den massiven Ausbau der Kapazitäten für erneuerbare Energien sicherstellen, vor allem Wind- und Solarenergie. Dabei gilt es Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und andere wichtige Umwelt- und Sozialstandards zu berücksichtigen,
- ▶ Schaffung der erforderlichen Transportinfrastruktur, einschließlich Wasserstoff- und möglicherweise Ammoniak-Pipelines, sowie der Infrastruktur, die für die zunehmenden Mengen an Wasserstoff und seinen Folgeprodukten und möglicherweise für den Transport von flüssigem Wasserstoff erforderlich sind.

Für einige dieser Aspekte, insbesondere Infrastruktur und Forschung, sind unterstützende politische Rahmenbedingungen erforderlich, Die G20 könnte diese koordinieren und so Synergien ermöglichen. Eine vorhersehbare, planbare und stabile Nachfrage nach grünem Wasserstoff könnte durch folgende Maßnahmen gefördert werden:

- ▶ Instrumente zur Bepreisung von Kohlenstoff, die einen ausreichend hohen Preis für Treibhausgasemissionen festsetzen, machen Investitionen in grünen Wasserstoff attraktiver, z. B. für Stahlwerke oder Raffinerien. Anläufe zur Verständigung über solche Instrumente sind jedoch in den G20 in der Vergangenheit stets gescheitert.
- ▶ Die Nachfrage des privaten Sektors wird gestärkt, indem ein steigender Anteil des derzeitigen Wasserstoffbedarfs (z. B. für die Düngemittelherstellung oder für petrochemische Anwendungen)² mit grünem und nachhaltigem Wasserstoff gedeckt werden muss. Alternativ kann für fossile Energieträger, für die wasserstoffbasierte Alternativen existieren und sinnvoll sind, eine bestimmte Quote für grünen Wasserstoff oder -derivate vorgegeben werden. Allerdings müssen sich entsprechende Maßnahmen nur auf solche Fälle beschränken, in denen eine direkte Elektrifizierung nicht möglich oder nicht sinnvoll ist (z. B. Kraftstoffe für die Luft- und Schifffahrt oder die Stahlerzeugung). Alternativen

² Solange petrochemische Anwendungen benötigt werden. Wenn die Weltwirtschaft sich weiter in Richtung Klimaneutralität entwickelt, dürfte die Verwendung petrochemischer Produkte in den nächsten zwei Jahrzehnten massiv zurückgehen.

mit einem geringeren Kohlenstoff-Fußabdruck, wie z. B. die direkte Elektrifizierung von Industrieprozessen, dürfen dadurch nicht behindert werden.

- ▶ Auch eine Ausdehnung dieses Ansatzes, der eine Vorzugsbehandlung bzw. eine verpflichtende Quote für grüne Produkte vorsieht, auf Leitmärkte für grünen Stahl, grüne Chemieerzeugnisse oder andere grüne Grundstoffe ist denkbar (Åhman, Arens und Vogl 2022).
- ▶ Öffentliche Nachfrage kann stimuliert werden durch die (Selbst-)Verpflichtung zur Beschaffung von Grundstoffen, die auf grünem Wasserstoff basieren. So könnte die Verwendung von grünem Stahl für öffentliche Infrastruktur- und Bauprojekte verpflichtend sein. Diese Bemühungen könnten auf den Grundsätzen für ein umweltfreundliches öffentliches Beschaffungswesen des Clean Energy Ministerial aufbauen.³
- ▶ Die Einbeziehung großer Finanzinstitute in den Prozess der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstandards und die dadurch geringeren Investitionsrisiken könnten den Zugang zu attraktiven Finanzierungsmöglichkeiten erleichtern.

Ein gemeinsames Bekenntnis zur Entwicklung einer internationalen grünen Wasserstoffwirtschaft auf Grundlage gemeinsamer Standards wäre ein wichtiges Signal für die Marktteilnehmer. Die G20-Staaten könnten außerdem ein Forum für den Austausch über die geplante Produktion und den Verbrauch von grünem Wasserstoff bieten, möglicherweise mit einem gemeinsamen Berichtsrahmen.

Förderung der Produktion von grünem Wasserstoff in Staaten, die nicht zur G20 gehören

Die Anstrengungen für den Hochlauf von grünem Wasserstoff sollten sich nicht auf die G20-Staaten beschränken. Vielmehr gibt es eine Reihe von Ländern mit vielversprechenden Potenzialen für den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft. Die G20 können dies unterstützen, indem sie einen präferenziellen Marktzugang für grünen Wasserstoff, seine Folgeprodukte und grüne Grundstoffe gewähren. Sie könnten darüber hinaus den Bau der Infrastruktur unterstützen, die für die Herstellung, Umwandlung und den Transport von grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten nötig sind. Solche Bemühungen könnten auf bestehenden oder neu gegründeten Energie- und Klimapartnerschaften für Technologietransfer und Kapazitätsaufbau aufbauen.⁴ Bi- und multilaterale Finanzmechanismen können das Risiko von Investitionen in grünen Wasserstoff in Nicht-G20-Ländern zu mindern, z. B. durch die Bereitstellung von Exportkreditbürgschaften (Steckel und Jakob 2018).

Statt grünen Wasserstoff (oder Folgeprodukte) international zu handeln (und zu transportieren), könnte es ökologisch sinnvoller sein, den grünen Wasserstoff am Ort seiner Produktion zu verwenden. Leitmärkte für grüne Grundstoffe (wie Stahl oder Chemieerzeugnisse) würden einen Anreiz bieten, grünen Wasserstoff im Produktionsland zu verwenden. Zu den weiteren Optionen gehört die finanzielle Unterstützung, möglicherweise aus Mitteln der bi- und multilateralen Entwicklungszusammenarbeit. Die jüngsten „Just Energy Transition“-Partnerschaften mit Südafrika, Indonesien und Vietnam sind Beispiele dafür, wie Energiepolitik mit einem breiteren Diskurs über den sozialen Wandel verknüpft werden kann. Im Rahmen der Partnerschaften wurden vielfältige Maßnahmen vereinbart, die gleichzeitig die ökologische und soziale Nachhaltigkeit fördern. Dazu könnten auch Maßnahmen zählen, die die Produktion und Nutzung von

³ Siehe <https://www.cleanenergyministerial.org/iddi-drives-global-green-procurement-with-global-pledge-to-procure-green-steel-and-cement/?cn-reloaded=1>.

⁴ Der Investitionsplan für eine gerechte Energiewende in Südafrika sieht grünen Wasserstoff als einen von drei vorrangigen Finanzierungsbereichen vor. Siehe https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/STATEMENT_22_6664.

grünem Wasserstoff in diesen Ländern vorantreiben – z. B. durch den strategischen Aufbau entsprechender Industrien.

REFERENZEN:

- Agora Energiewende, and Agora Industry. 2021. 'Publication - 12 Insights on Hydrogen'. Berlin: Agora Energiewende. <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/12-insights-on-hydrogen-publication/>.
- Åhman, Max, Marlene Arens, and Valentin Vogl. 2022. 'International Cooperation for Decarbonizing Energy Intensive Industries: The Case for a Green Materials Club'. In *Handbook on Trade Policy and Climate Change*, edited by Michael Jakob, 108–25. Elgar Handbooks in Energy, the Environment and Climate Change. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- CAT. 2022. 'Climate Action Tracker: Countries'. 2022. <https://climateactiontracker.org/countries/>.
- Clarke, Zoe, Michele Della Vigna, Georgina Fraser, Jerry Revich, Neil Metha, Robert Koort, Alberto Gandolfi, Chao Ji, Ajay Patel, and Bepul Shabab. 2022. 'Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution'. Goldman Sachs. <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution.html>.
- Climate Transparency. 2021. 'G20 Net Zero Targets'. Climate Transparency. 12 October 2021. <https://www.climate-transparency.org/g20-net-zero-targets>.
- Daily Sabah. 2022. 'Turkey to Share Hydrogen Roadmap to Build Carbon-Neutral Economy'. *Daily Sabah*, 27 June 2022, sec. Energy. <https://www.dailysabah.com/business/energy/turkey-to-share-hydrogen-roadmap-to-build-carbon-neutral-economy>.
- Department of Science and Innovation. 2021. 'Hydrogen Society Roadmap for South Africa 2021'. Pretoria. <https://www.dst.gov.za/index.php/resource-center/strategies-and-reports/3574-hydrogen-society-roadmap-for-south-africa-2021>.
- Evans, Simon. 2021. 'Analysis: Which Countries Are Historically Responsible for Climate Change?' Carbon Brief. 5 October 2021. <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>.
- G7. 2022. 'Terms of Reference for the Climate Club'. <https://www.g7germany.de/resource/blob/974430/2153140/a04dde2adecf0ddd38cb9829a99c322d/2022-12-12-g7-erklaerung-data.pdf?download=1>.
- G7 Ministers. 2022. 'G7 Climate, Energy and Environment Ministers' Communiqué'. Berlin.
- G20 Leaders. 2018. 'G20 Energy Ministers Communiqué', http://www.g20.utoronto.ca/2018/2018-06-15-energy_communique.html
- G20 Leaders. 2019. 'G20 Osaka Leaders' Declaration'. 2019. https://mofa.go.jp/policy/economy/g20_summit/osaka19/documents/final_g20_osaka_leaders_declaration.html.
- G20 Leaders. 2021. 'G20 Rome Leaders' Declaration'. In . Italy. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2021/10/31/g20-rome-leaders-declaration/>.
- G20 Leaders. 2022. 'Bali-Erklärung der Staats- und Regierungschefinnen und -chefs der G20'. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975228/2143372/6ae70c64a05f2e210b735d42458850fd/2022-11-16-declaration-g20-deu-data.pdf?download=1>
- Garcia-Herrero, Alicia, Simone Tagliapietra, and Victor Vorsatz. 2021. 'Hydrogen Development Strategies: A Global Perspective'. Bruegel | The Brussels-Based Economic Think Tank. 2021. <https://www.bruegel.org/blog-post/hydrogen-development-strategies-global-perspective>.
- Government of India. 2022. 'Notification about Green Hydrogen and Green Ammonia Policy - A Step Forward towards National Hydrogen Mission'. Ministry of power. <https://pib.gov.in/pib.gov.in/Pressreleaseshare.aspx?PRID=1799067>.
- IEA. 2021a. 'Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector'. IEA. 2021. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- IEA. 2021b. 'Global Hydrogen Review 2021'. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.
- IEA. 2022. 'Northwest European Hydrogen Monitor'. <https://www.iea.org/reports/northwest-european-hydrogen-monitor>.
- IPCC. 2022. 'Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, IPCC Sixth Assessment Report, Working Group III'. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

- IRENA. 2021. 'Majority of New Renewables Undercut Cheapest Fossil Fuel on Cost', 22 June 2021. <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2021/Jun/Majority-of-New-Renewables-Undercut-Cheapest-Fossil-Fuel-on-Cost>.
- IRENA. 2022. 'Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor'. Abu Dhabi: IRENA. <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>.
- Minx, Jan C., William F. Lamb, Robbie M. Andrew, Josep G. Canadell, Monica Crippa, Niklas Döbbling, Piers Forster, et al. 2021. 'A Comprehensive and Synthetic Dataset for Global, Regional and National Greenhouse Gas Emissions by Sector 1970-2018 with an Extension to 2019'. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5566761>.
- Steckel, Jan Christoph, and Michael Jakob. 2018. 'The Role of Financing Cost and De-Risking Strategies for Clean Energy Investment'. *International Economics*, Special issue on 'Social values of carbon and climate policy signals in the post-COP21 context', 155 (October): 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.02.003>.
- World Bank. 2022a. 'GDP, Dataset: NY.GDP.MKTP.CD'. 20 July 2022. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>.
- World Bank. 2022b. 'Population, Dataset: SP.POP.TOTL'. 20 July 2022. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>.
- World Energy Council, EPRI, and PwC. 2021. 'Hydrogen on the Horizon: National Hydrogen Strategies'. London, UK. <https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>.
- Zhu, Bei, and Chu Wei. 2022. 'A Green Hydrogen Era: Hope or Hype?' *Environmental Science & Technology* 56 (16): 11107–10. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04149>.

INFORMATIONEN

Kontakt

Michael Jakob

Senior Fellow

Ecologic Institut

Pfalzburger Straße 43/44

10717 Berlin

E-Mail: michael.jakob@ecologic.eu

Datum

16.04.2023

Vorgeschlagene Zitierweise

Benjamin Görlach, Michael Jakob, Ramiro de la Vega (2022): Förderung einer Agenda für grünen Wasserstoff in den G20-Staaten Herausforderungen und Chancen für die G20 als Forum für grünen Wasserstoff Ecologic Institute, Berlin.

Danksagung

Die Verfasser danken Ulrike Hinz (WWF), Marianne Lotz (WWF), Lisa-Maria Okken (WWF), Nele Steinbrecher (WWF) und Neelke Wagner (Klima-Allianz) für das gründliche Lektorat und für ihre wertvollen Hinweise. Außerdem danken wir Simon Evans (Carbon Brief) und Nora Kögel (Ecologic Institute) für die Bereitstellung von Daten.