

SWP-Studie

Jacopo Maria Pepe/Dawud Ansari/Rosa Melissa Gehrung

Die Geopolitik des Wasserstoffs

Technologien, Akteure und Szenarien bis 2040



Stiftung Wissenschaft und Politik
Deutsches Institut für
Internationale Politik und Sicherheit

SWP-Studie 14
November 2023, Berlin

- Die Wasserstoffwende gewinnt für Deutschland und die Europäische Union (EU) immens an Bedeutung, da Wasserstoff Möglichkeiten bietet, schwer zu dekarbonisierende Bereiche wie Schwerindustrie, Luftfahrt und maritimen Handel in eine klimafreundliche Welt einzubinden. Zugleich besteht der Anspruch, Abhängigkeiten zu verringern, nachhaltige Entwicklung auszubauen und werteorientierten Handel zu etablieren.
- Drei radikale, aber plausible Szenarien illustrieren die Geopolitik des Wasserstoffs: *H2-Neuordnung* skizziert eine Verschiebung von Macht, Industrie und Technologieführerschaft gen Osten, *H2-(Un-)Abhängigkeit* zeigt auf, wie ein europäischer Alleingang im Hinblick auf Wasserstoff zu neuen Abhängigkeiten führt, und *H2-Imperialismus* beschreibt die Dystopie einer von Hegemonen und Despoten dominierten Wasserstoffwende.
- Mit der Umstellung auf Wasserstoff werden sich Abhängigkeiten vermutlich nicht verringern, sondern verschieben und verkomplizieren. Insbesondere die Rohstoffliefer- und Wertschöpfungsketten bekommen mehr Gewicht. Auch das entwicklungspolitische Potential des Wasserstoffhandels ist begrenzt, und seine Realisierung bedarf gezielter Anstrengungen.
- Die Wechselwirkungen zwischen Ressourcenverteilung, Produktionspotential und aktuellen geopolitischen Machtverhältnissen beeinflussen die Wasserstoffpolitik ebenso wie die Rolle von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Relevante Akteure priorisieren oft sozioökonomische sowie geo- und industriepolitische Überlegungen.
- Deutschland und die EU müssen eine proaktive Wasserstoffstrategie verfolgen, Präferenzen externer Akteure anerkennen und Partnerschaften pragmatisch gestalten, um Klimaziele durchzusetzen, die Industrie zu schützen und ihren globalen Einfluss zu bewahren.
- Unter den zu empfehlenden konkreten Maßnahmen geht es neben einer gezielten Technologieförderung darum, Abhängigkeiten sektorübergreifend und antizipativ zu managen. Diversifizierung ist dabei unerlässlich, flankierende Entwicklungspolitik wäre hilfreich. Wasserstoff-Governance, etwa im Rahmen einer »Wasserstoffallianz«, ist insbesondere nötig, um geopolitische Risiken zu mindern und Investitionen am richtigen Ort zu platzieren.

SWP-Studie

Jacopo Maria Pepe / Dawud Ansari / Rosa Melissa Gehrung

Die Geopolitik des Wasserstoffs

Technologien, Akteure und Szenarien bis 2040

**Stiftung Wissenschaft und Politik
Deutsches Institut für
Internationale Politik und Sicherheit**

SWP-Studie 14
November 2023, Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Abdruck oder vergleichbare Verwendung von Arbeiten der Stiftung Wissenschaft und Politik ist auch in Auszügen nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung gestattet.

SWP-Studien unterliegen einem Verfahren der Begutachtung durch Fachkolleginnen und -kollegen und durch die Institutsleitung (*peer review*), sie werden zudem einem Lektorat unterzogen. Weitere Informationen zur Qualitätssicherung der SWP finden Sie auf der SWP-Website unter <https://www.swp-berlin.org/ueberuns/qualitaetssicherung/>. SWP-Studien geben die Auffassung der Autoren und Autorinnen wieder.

© Stiftung Wissenschaft und Politik, Berlin, 2023

SWP

Stiftung Wissenschaft und Politik
Deutsches Institut für
Internationale Politik und
Sicherheit

Ludwigkirchplatz 3–4
10719 Berlin
Telefon +49 30 880 07-0
Fax +49 30 880 07-200
www.swp-berlin.org
swp@swp-berlin.org

ISSN (Print) 1611-6372
ISSN (Online) 2747-5115
DOI: 10.18449/2023S14v02

*Die erste Version mit der
doi 10.18449/2023S14 ist
nicht mehr verfügbar.*

Am 20.11.2023 korrigierte
Version.

Inhalt

5	Problemstellung und Schlussfolgerungen
7	Geopolitik, Wasserstoff und Szenarien
7	Die Geopolitik des Wasserstoffs: Ressourcen, Technologie, Macht und Weltordnung
10	Wasserstoff und Geopolitik in der strategischen Vorausschau
12	Technologiepfade, Transportarten, regionale Präferenzen: eine Bestandsaufnahme
12	Technologien, Rohstoffe und Abhängigkeiten: die Produktion von Wasserstoff
15	Pipelines, Schiffe, Choke Points: geopolitische Transportdilemmata
15	Regionale Inkongruenzen und geopolitische Divergenzen
21	Drei Szenarien zur Geopolitik des Wasserstoffs
22	H2-Neuordnung
25	H2-(Un-)Abhängigkeit
28	H2-Imperialismus
32	Analyse und Auswertung der Szenarien
32	Ambivalente Zukünfte: Klima und Entwicklung
34	H2-Neuordnung: Wasserstoff zwischen Eurozentrismus und Raumverschiebungen
35	H2-(Un-)Abhängigkeit: Friendshoring ist kein Ersatz für Diversifizierung
36	H2-Imperialismus: Missmanagement und Spannungsentladung im globalen Süden
38	Handlungsempfehlungen für eine proaktive Wasserstoffpolitik
41	Anhang
41	Methodik und Vorschauprozess
42	Teilnehmende am Vorausschauprozess und Danksagungen
48	Abkürzungsverzeichnis
48	Quellen zur Karte »Die neue Wasserstoffwelt: Rohstoffinfrastruktur und Ressourcen«

Dr. Jacopo Maria Pepe und Dr. Dawud Ansari sind Wissenschaftler, Rosa Melissa Gehrung ist Forschungsassistentin in der Forschungsgruppe Globale Fragen.

Diese SWP-Studie entstand im Rahmen des Projekts »Geopolitik der Energiewende – Wasserstoff«, das vom Auswärtigen Amt finanziert wird.

Die Szenarien geben rein hypothetische Entwicklungen in den genannten Ländern wieder und haben lediglich Beispielcharakter; sie geben keine Einschätzung der SWP wieder.

Die Geopolitik des Wasserstoffs Technologien, Akteure und Szenarien bis 2040

Die Entwicklung einer Wasserstoffökonomie gewinnt insbesondere für Deutschland und die EU zusehends an Bedeutung. Wasserstoff bietet Möglichkeiten, schwer zu dekarbonisierende Bereiche wie Schwerindustrie, Luftfahrt und maritimen Handel in eine klimafreundliche Welt einzubinden. Spätestens seit dem russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine verstärkt sich allerdings auch in Europa der Trend, bis dahin vorherrschende Narrative der Energiewende wie Klimaschutz und Energiegerechtigkeit um strategische Autonomie und Industriepolitik zu ergänzen. So wird Wasserstoff häufig als ein Mittel betrachtet, energiepolitische Abhängigkeiten auf lange Sicht abzubauen. Deutschland und die EU werden allerdings auf Wasserstoffimporte angewiesen sein. Angesichts wachsender technologischer, industriepolitischer und systemischer Konkurrenz, sicherheitspolitischer Spannungen und der Fragmentierung globaler Produktionsnetzwerke rückt daher die Frage nach der Geopolitik des Wasserstoffs verstärkt in den Fokus.

Welche Wechselwirkungen zwischen Marktfaktoren, geopolitischen Pfadabhängigkeiten und Präferenzen potentieller Akteure bei der Festlegung der zukünftigen Wasserstoffökonomie bestehen, wurde bislang kaum untersucht. In Deutschland und Europa ist der Diskurs vorwiegend von eigenen technologischen, regulatorischen und politischen Präferenzen geprägt – zunehmend auch von teils inkonsistenten Ansprüchen an die Wasserstoffwende. Die Präferenzen anderer Akteure sind dabei divers und dynamisch und spiegeln oftmals gegenwärtige geopolitische Bedingungen wider. Somit lassen sich Konflikte, Abhängigkeiten und Marktkonfigurationen, die das globale Energiesystem und geopolitische Realitäten für Dekaden prägen können, neu formen. Darum erscheint es aus deutscher und europäischer Sicht unabdingbar, Akteure, Zielkonflikte, Risiken und Abhängigkeiten vorausschauend zu identifizieren und systematisch einzuordnen.

Neben einer analytischen Bestandsaufnahme unterschiedlicher Technologiepfade sowie Präferenzen verschiedener Wasserstoffakteure präsentiert diese Studie drei kreative und interdisziplinär an-

gelegte Szenarien für die Geopolitik des Wasserstoffs bis zum Jahr 2040. Diese beinhalten disruptive, jedoch gleichzeitig plausible Vorstellungen der Zukunft, die Zielkonflikte und Risiken, aber auch Chancen und Handlungsspielräume aufzeigen.

H2-Neuordnung beschreibt, wie eine ehrgeizige Wasserstoff-Governance aus China gepaart mit europäischer Deindustrialisierung bewirkt, dass sich der Schwerpunkt von Energieflüssen, Industrie und Geopolitik nach Afro-Eurasien verschiebt. Zwischen den arabischen Golfstaaten und China formen sich neue Machtverhältnisse, während Europa zwar seine Klimaziele erreicht, aber an geopolitischem Einfluss verliert.

H2-(Un-)Abhängigkeit zeichnet das Bild einer fragmentierten Welt, in der einzig Europa an der Wasserstoffwende festhält, um sich von Energieimporten unabhängig zu machen. Zuvor nicht berücksichtigte Abhängigkeiten aus Rohstofflieferketten bedrohen jedoch Europas sicherheitspolitische Autonomie und zwingen es zurück in den Energiehandel.

H2-Imperialismus entwirft eine Dystopie, in der ein globaler Wasserstoff-Push Hegemonen auf den Plan ruft, die nicht nur die Wertschöpfungskette, sondern auch die Exporteure im Stil historischer Protektorate untereinander aufteilen. Ursprünglich entwicklungspolitische Ambitionen wandeln sich infolge von Sicherheitszwischenfällen bei den Exporteuren zum Vorwand, um Wasserstoffdiktaturen zu errichten.

Die Analyse zeigt, dass Wasserstoff die Geopolitik der Energie massiv verändern, ihre Prämissen aber nicht aushebeln kann. Abhängigkeiten können sich unter bestimmten Bedingungen verringern, doch meist sind sie komplexer, da auch die Wertschöpfungs- und Lieferketten vielschichtiger und verzweigter werden. Selbst ohne jegliche Importe bestehen nicht zu vermeidende Interdependenzen bei Rohstoffen, Technologien und Komponenten. Weiterhin wird ersichtlich, dass sich der Hochlauf eines Wasserstoffmarktes weder statisch noch zwangsläufig entlang bereits etablierter Strukturen entwickeln wird. Meist geben Akteure sozioökonomischen sowie geo- und industriepolitischen Aspekten größeres Gewicht als Klimazielen, was zu mehr Asymmetrien und Inkongruenzen zwischen (europäischen) Abnehmern und Produzenten führt. Die EU und Deutschland können den Marktaufbau beeinflussen, nicht aber allein bestimmen – Europas Technologieführerschaft im Sektor ist also weder gesichert noch unbedingt realistisch.

Trotz aller Ambivalenzen, Herausforderungen und fortbestehenden Abhängigkeiten sollten Deutschland und die EU Wasserstoff weiterhin als eigenständige

Säule der Energietransformation betrachten. Nebst klimapolitischen Dividenden kann die schnelle Dekarbonisierung energieintensiver Sektoren den Erhalt vorhandener Industrie unterstützen und die Ansiedlung neuer Industrien anregen. So ließen sich auch die geopolitischen Potentiale Deutschlands und der EU in einer Zeit, in der der Wettbewerb um Industrie-Allokation und -Reallokation zusehends in den Fokus rückt, sinnvoll einsetzen. Deutschland und die EU sind also gefordert, die Wasserstoffwelt schon jetzt proaktiv zu gestalten.

Erstens gilt es, außereuropäische **Präferenzen wahrzunehmen und Realitäten anzuerkennen**. Mit externen Akteuren ist pragmatisch, kompromissorientiert und ambitioniert umzugehen; Gleiches gilt für die Partnerwahl. Denn die eurozentrischen Vorstellungen der Wasserstoffökonomie entsprechen nicht der Realität. Andernfalls läuft Europa Gefahr, seine Klimaziele zu verfehlen und im globalen Wettbewerb um Technologien, Standards und Einfluss zurückzufallen.

Zweitens sollten **Technologien und Industrien gezielt gefördert** werden. Zu fördern sind der industrielle Umstieg auf Wasserstoff ebenso wie versatile Technologien, etwa die Kohlenstoffabscheidung und -lagerung (carbon capture and storage, CCS). Außerdem muss das zu fördernde Technologieportfolio eng an künftigen geopolitischen und energieökonomischen Entwicklungen ausgerichtet werden.

Drittens gilt es, die sich durch Wasserstoff ergebenden **Abhängigkeiten aktiv zu gestalten**. Angesichts der komplexen Wertschöpfungsketten bedarf es eines sektorübergreifenden, umfassenden Abhängigkeitsmanagements, das auch die Rohstoffketten umfasst. Das wichtigste Instrument ist die Diversifizierung von Technologie-, Rohstoff- und Energieimporten – unabhängig davon, wer als Handelspartner auftritt. Auch flankierende Entwicklungspolitik und Diplomatie können, wenn sie die Interessen der Partnerländer berücksichtigen, dazu beitragen, Risiken zu verringern.

Viertens ist die zentrale Aufgabe, eine **globale Wasserstoff-Governance aufzubauen**. Damit lassen sich Investitionen korrekt zuteilen, die Nachteile rein bilateraler Handelsstrukturen abfedern und geopolitische Risiken mindern. Vorstellbar wäre eine »Wasserstoffallianz« – ein multilateraler, zweistufiger Handelsclub. Ohne geeignete Governance-Mechanismen, die potentielle Marktakteure und deren Agency berücksichtigen, wird der stabilisierende und kooperationsfördernde Beitrag des Wasserstoffs, den die Politik erhofft, angesichts einer zusehends unkooperativen, fragmentierten Weltordnung begrenzt bleiben.

Geopolitik, Wasserstoff und Szenarien

Eine ausgefeilte Wasserstoffökonomie gilt als essenzieller Bestandteil eines nachhaltigen Energiesystems, der erforderlich ist, um ansonsten kaum dekarbonisierbare Schlüsselsektoren einzubeziehen und globale Klimaziele zu erreichen. Doch nicht zuletzt vor dem Hintergrund der aufflammenden amerikanisch-chinesischen Rivalität und des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine wurden auch Versorgungssicherheit, Autonomie und Technologieführerschaft erneut zu zentralen Paradigmen der Energie- und Außenpolitik.

Während bei konventionellen Energieträgern die Wechselwirkungen mit diesen Faktoren zumindest weitgehend bekannt sind, bleibt die »Geopolitik des Wasserstoffs« größtenteils unbekannt. Mit wenigen Ausnahmen befassen sich Studien zur Wasserstoffwirtschaft primär mit Technologien, Kosten, Ressourcen sowie der Infrastruktur. Aus den erarbeiteten Ergebnissen leiten sie ab, wie die zukünftige Topographie von Ländern und Märkten aussehen könnte.¹ Auch die Literatur zur Geopolitik der Energiewende nimmt den Einfluss bestehender (geo-)politischer Machtverhältnisse und Präferenzen potentieller Marktakteure nur unzureichend in den Blick, während Energieszenarien den Geopolitik-Wasserstoff-Zusammenhang nicht thematisieren.²

Vor diesem Hintergrund ist eine Identifizierung und Kartierung der Akteure, Zielkonflikte, Risiken

und Abhängigkeiten aus deutscher und europäischer Sicht notwendig. Das erfordert gleichzeitig strategische Weitsicht – die ohne eine vorausschauende Betrachtung nicht möglich ist –, will man die geopolitische Bedeutung des Wasserstoffs ermessen.

Die Geopolitik des Wasserstoffs: Ressourcen, Technologie, Macht und Weltordnung

Geopolitik bezeichnet die Interaktion zwischen geographischen Faktoren (Lage, Raum und Ressourcen) und politischen Prozessen. Die Geopolitik der Energie umfasst demnach traditionell die Auswirkungen konzentrierter (fossiler) Energieressourcen sowie deren Transport und Handel auf zwischenstaatliche Machtverhältnisse.³ Der Zusammenhang zwischen Geopolitik und Energiemärkten ist aber komplex und nicht unidirektional.

Seit der Industriellen Revolution prägen und verschieben auch fossile Ressourcen (Kohle, Öl und Gas) und ihre geographische Konzentration Macht- und Wohlstandsmuster. Dabei können Energieträger als Machtwährung, strategisches Instrument oder Konfliktquelle betrachtet werden. Insbesondere Technologie spielt – neben der Ressourcenverteilung und -konzentration – eine Schlüsselrolle in der Geopolitik der Energie. Neue Technologien leiten Veränderungen ein und können geopolitische (Macht-)Verschiebungen bewirken. Technologischer Wandel beeinflusst die strategische Bedeutung einzelner Energieträger und forciert neue Wertschöpfungs- und Lieferketten sowie Handelsrouten. Damit werden Abhängigkeiten sowie infrastrukturelle und handelspolitische Interdependenzen neu verteilt, Wirtschafts- und Energie-

¹ Eine Studie, die sich im Unterschied dazu dezidiert mit der geopolitischen Dimension des Wasserstoffes befasst, ist: International Renewable Energy Agency (IRENA), *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*, Abu Dhabi 2022, <<https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

² Geopolitische und sicherheitspolitische Überlegungen wurden in die neuesten Shell-Szenarien zur Energiesicherheit zwar prominent eingearbeitet, haben aber keinen dezidierten Fokus auf Wasserstoff (siehe Shell, *The Energy Security Scenarios*, 2023, <<https://go.shell.com/3u8PvIP>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

³ Michael Bradshaw, »The Geopolitics of Global Energy Security«, in: *Geography Compass*, 3 (2009) 5, S. 1920 – 1937 (1920 – 1921).

räume neu gezeichnet. Allerdings sind weder Ressourcenverteilung noch Technologien per se geopolitisch; erst wenn sie »in eine politische Rechnung eingesetzt werden, gewinnen sie geopolitische Bedeutung«.⁴

Über Marktmechanismen und gewisse Marktkonfigurationen lassen sich zwar Abhängigkeitsrisiken minimieren, Konflikte entschärfen und Interdependenzen entpolitisieren. Doch im Gegenzug wirken sich geopolitische Machtkonstellationen auf die politischen Präferenzen staatlicher und nichtstaatlicher Akteure und letztlich auf Marktmechanismen aus. Dies wiederum hat Einfluss darauf, wie sich Energiebeziehungen, -flüsse und -märkte entwickeln.

Diese reziproke Beziehung zwischen Geopolitik und Energie(-märkten) wirkt sich auch auf die globale Ordnung aus.⁵ Einerseits können Energiebeziehungen den globalen Rahmen prägen oder ihn sogar schaffen. Beispiele dafür sind die weltpolitische Integration Arabiens im 20. Jahrhundert oder die russischen Gasexporte, die vor 2022 Osteuropa prägten. Andererseits definiert die globale Ordnung die Rahmenbedingungen für Energiebeziehungen. Eine multilaterale Weltordnung mit gut funktionierenden Institutionen und globalen Governance-Mechanismen wird freie Energieflüsse, offene und liberalisierte Märkte sowie gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Marktakteure eher begünstigen als ein Umfeld, in dem schwache Weltregierungsinstitutionen, konkurrierende Mächte und unkooperative Staatsbeziehungen vorherrschen. So vollzogen sich etwa die sukzessive Liberalisierung der Energiemärkte und das nach dem Ende des Kalten Kriegs wirksame Bestreben, eine globale Energie-Governance zu etablieren (Energiecharta-Vertrag), in einer Phase wachsender Akzeptanz einer liberalen, multilateralen und vom Westen geprägten Weltordnung.

Die »neue« Energiewelt ist von Technologie und Rohstoffen geprägt, aber auch vom Definieren von Standards.

Die gegenwärtige Transformation des Energiesystems hat ebenfalls ihre eigene Geopolitik. Die »neue«

Energiewelt ist, mehr noch als die fossile, von Technologie und (kritischen) Rohstoffen geprägt, aber auch davon, dass Standards definiert werden und Industrieführerschaft erhalten bleibt.⁶ Wertschöpfungs- und Lieferketten sind länger sowie räumlich verteilter und verzahnter als im Falle fossiler Energieträger; gleichzeitig sind erneuerbare Energieressourcen prinzipiell weniger konzentriert. Insgesamt verlagern sich also Abhängigkeiten auf andere Stufen der Wertschöpfungs- und Lieferketten und sie verschieben sich geographisch – und werden dabei meist noch komplexer. Staaten, öffentliche Unternehmen und private Firmen konkurrieren somit nicht mehr »nur« um den Zugang zu Rohstoffen und deren Transportrouten, sondern auch um Leitmärkte, Schlüsselkomponenten, Produktionsprozesse, Industrie und deren Erhalt sowie Finanz- und Investitionsflüsse.

Es ist anzunehmen, dass sich diese Entwicklungen auch – und insbesondere – in der »Geopolitik des Wasserstoffs« niederschlagen werden. Je nach Produktionsart bringen Wasserstofftechnologie- und Zertifizierungspfade sowie Folgeprodukte unterschiedliche Wertschöpfungs- und Lieferketten sowie neue Produktionsnetzwerke hervor. Für Technologie- und Wasserstoffexporteure bestehen markante Anreize, mögliche Abhängigkeiten durch Technologie- und Marktführerschaft sowie Pfadabhängigkeiten zugunsten bestimmter Produktions-, Transport- und Anwendungstechnologien zu etablieren.

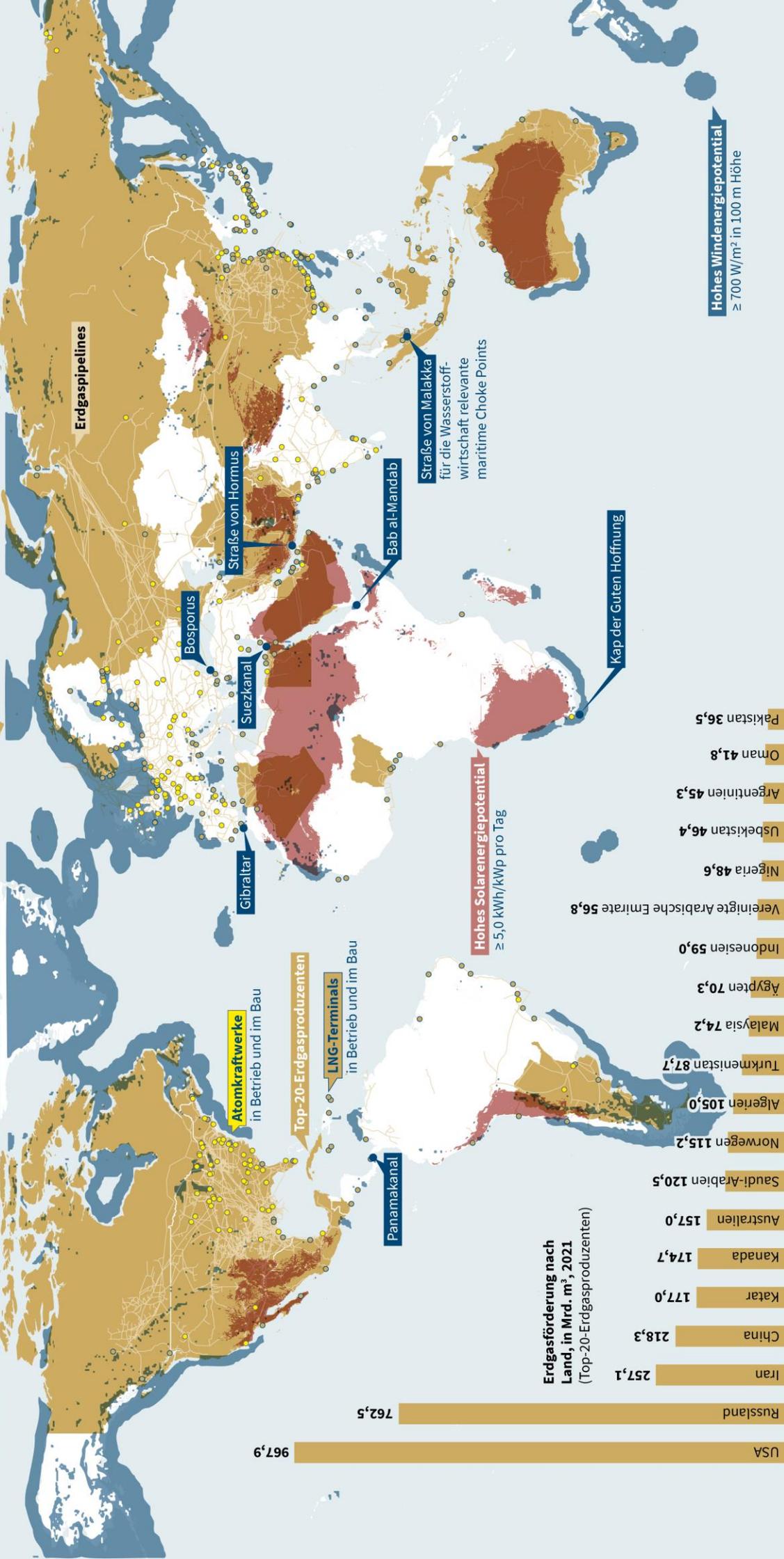
Die zugrundeliegende Rohstoff-, Technologie- und Transportlandschaft, in der Wasserstoff eingebettet ist, ist überaus divers (siehe Grafik 1) – die Vermutung liegt nahe, dass die Wasserstoffwelt die Rolle konzentrierter Ressourcen als Bestimmungsfaktor für die Geopolitik der Energie ändern könnte. Erdgas, das auch als Ausgangsstoff für Wasserstoff dient, kommt eher konzentriert vor. Hingegen sind Sonnen- und Windenergieressourcen sowie Atomkraftwerke als weitere Wasserstoffquellen homogener verteilt. Damit verringert sich das Risiko geographischer Konzentration potentiell, was zu diffuseren und weniger asymmetrischen Abhängigkeiten führen könnte.

4 Otto Maull, *Politische Geographie*, Berlin: Safari-Verlag, 1956, S. 30.

5 Dazu zählen die Konfiguration (bipolar, multipolar, unipolar), Governance-Mechanismen (regional, global) sowie die Natur der Beziehungen zwischen den Staaten (kooperativ, konfrontativ, multilateral, bilateral) und deren außenpolitische Ambitionen.

6 Jason Bordoff/Meghan L. O'Sullivan, »Green Upheaval: The New Geopolitics of Energy«, in: *Foreign Affairs*, 30.11.2021, <<https://www.foreignaffairs.com/articles/world/2021-11-30/geopolitics-energy-green-upheaval>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023); Daniel Scholten et al., »The Geopolitics of Renewables: New Board, New Game«, in: *Energy Policy*, 138 (2020); Kirsten Westphal et al., *Geopolitik des Stroms – Netz, Raum und Macht*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2021 (SWP-Studie 14/2021).

Die neue Wasserstoffwelt: Rohstoffe, Infrastruktur, Ressourcen



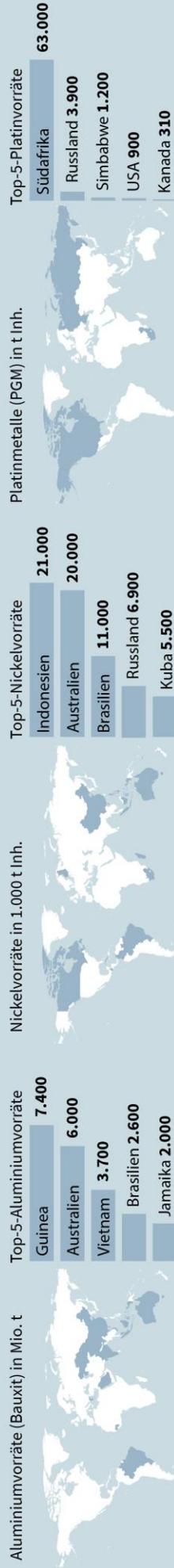
Erdgasförderung nach Land, in Mrd. m³, 2021
(Top-20-Erdgasproduzenten)



Atomkraftwerke
in Betrieb und im Bau

Top-20-Erdgasproduzenten
LNG-Terminals
in Betrieb und im Bau

Für die Wasserstoffproduktion kritische Rohstoffe, 2019



Quellen: Daten von der Weltbank, DEFA, BGR und Global Energy Monitor, zusammengeführt und ergänzt durch das SWP-Team »Daten und Statistiken«; https://doi.org/10.18449/2023S14#Karte_Quellen. Die Karte dient der Illustration und bildet keine Position zu volkrechten Ansprüchen ab. Für eine optimale Lesbarkeit wird die Farbdarstellung empfohlen.

Gleichzeitig liegen kritische Rohstoffe, deren Abbau und Veredelung für den Wasserstoff Bedeutung haben, wiederum eher konzentriert vor, wenn auch die Orte ihrer Vorkommen meist nicht deckungsgleich mit jenen (heutiger) Gasexporteure sind. Auch der Transport ist wichtig. Der Bau von Infrastrukturen – insbesondere von Häfen, Frachtern und Pipeline-netzen – sowie der Aus- und Umbau bestehender Transportanlagen wird enorme Ressourcen binden und eigene Pfadabhängigkeiten hervorbringen. Entsprechende Investitionsentscheidungen werden daher auch langfristige physische Interdependenzen und sowohl die Akteurs- als auch die Machttopographie im Wasserstoffsektor verändern.

Jenseits von Technologien, Ressourcen und Transportwegen könnten vor allem politische Richtungsentscheidungen – ihrerseits wesentlich von teils konkurrierenden Konnektivitäts-, industrie- und energiepolitischen Präferenzen geprägt – die Marktentwicklung und die Geopolitik des Wasserstoffs mitbestimmen.⁷ Es liegt also nahe, dass auch die Geopolitik des Wasserstoffs maßgeblich von aktuellen Machtverhältnissen und dem Stand der Weltordnung abhängt. Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft unterliegt insofern Trends wie der zunehmenden Fragmentierung der Welt, der Erschütterung der liberalen Ordnung und der (Re-)Militarisierung des geopolitischen Wettbewerbs. Zur Rivalität zwischen China und den USA und zum Konflikt zwischen der EU und Russland kommt hinzu, dass unterschiedliche Akteure im globalen Süden, aufstrebende Mächte wie Indien und Regionen mit neuem geopolitischem Gewicht wie die arabischen Golfstaaten ihre Prioritäten und Präferenzen neu festlegen. Selbst innerhalb des traditionell wertegeleiteten transatlantischen Bündnisses zeigen sich Bruch- und Trennungslinien.

Obleich Gewinner und Verlierer noch nicht ausgemacht werden können, erscheint ein genaueres Verständnis der Geopolitik des Wasserstoffs unabdingbar – nicht zuletzt, um schlüssige Handlungsoptionen zu entwickeln.

⁷ Eine Analyse politischer Präferenzen bei strategischen Importen liefern Dawud Ansari und Jacopo Maria Pepe mit *Toward a Hydrogen Import Strategy for Germany and the EU: Priorities, Countries, and Multilateral Frameworks*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Juni 2023 (Working Paper Forschungsgruppe 8, 01/2023).

Wasserstoff und Geopolitik in der strategischen Vorausschau

Die bisherigen Ausführungen lassen erahnen, dass die Geopolitik des Wasserstoffs ein Sinnbild der »VUKA«-Welt darstellt; sie ist geprägt von Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität, was Prognosen nahezu unmöglich macht.⁸ Derart substanzieller Verflochtenheit und Unberechenbarkeit können methodisch am besten Szenarien im Rahmen strategischer Vorausschau Rechnung tragen. Szenarien sind hypothetische Ereignissequenzen zwischen der Gegenwart und einem Endzeitpunkt (siehe Grafik 2).⁹

Sie dienen der Antizipation unsicherer Entwicklungen, unbekannter Einflussfaktoren und entsprechender strategischer Handlungsgestaltung. Ihre Güte ergibt sich anders als bei Vorhersagen also nicht aus der Eintrittswahrscheinlichkeit der vorgestellten Zukunft, sondern aus der mit ihr verbundenen Möglichkeit, neue Einsichten zu gewinnen. Szenarien orientieren sich zwar an Plausibilität – grob gesagt an der internen Konsistenz und Glaubwürdigkeit kausaler Zusammenhänge –, ihr Ziel besteht aber darin, visionäre und sogar unwahrscheinliche Zukünfte zu skizzieren, um so die Bandbreite möglicher Zukünfte einzugrenzen (siehe Grafik 2).¹⁰ Im Prozess der Szena-

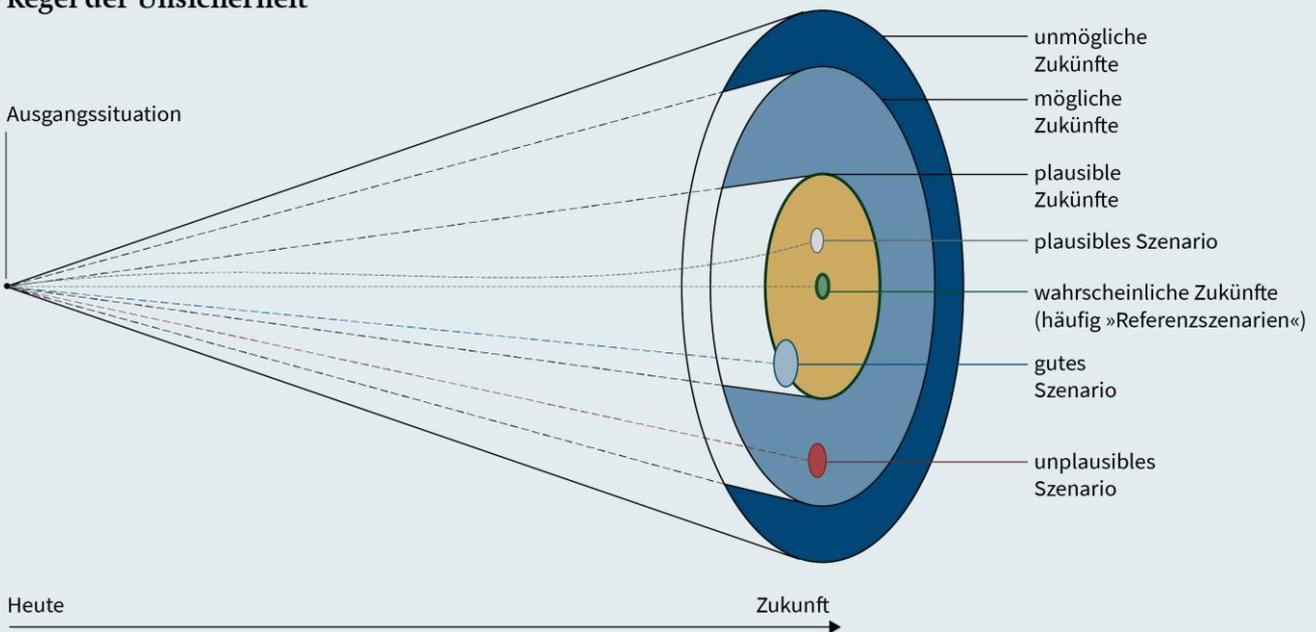
⁸ Nicholas W. Townsend/Judith Stiehm, *The U.S. Army War College: Military Education in a Democracy*, Philadelphia, PA: Temple University Press, 2002, S. 64–65; Mathew J. Burrows/Oliver Gnad, »Between »Muddling Through« and »Grand Design«: Regaining Political Initiative – The Role of Strategic Foresight«, in: *Futures*, 97 (2018), S. 6–17.

⁹ Herman Kahn/Anthony J. Wiener, *The Year 2000. A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years*, London: Macmillan, 1967, S. 6; Dawud Ansari et al., »Energy Outlooks Compared: Global and Regional Insights«, in: *Economics of Energy and Environmental Policy*, 9 (2020) 1, S. 21–42.

¹⁰ Das kontinuierliche Zusammenwirken unsicherer Einflussfaktoren sorgt dafür, dass die Unsicherheit über die Zukunft im Zeitverlauf stetig größer wird und sich ein »Kegel der Unsicherheit« bildet. In dessen Zentrum liegt die wahrscheinlichste Zukunft als lineare Fortschreibung aktueller Trends, während mit zunehmendem Abstand zu seinem Zentrum unwahrscheinlichere Zukünfte bis hin zur Unplausibilität und sogar Unmöglichkeit angesiedelt sind. Szenarioentwicklung sollte sich erstens am Rand der Plausibilität bewegen und zweitens möglichst kontrastierende Zukünfte wählen, um ein breites Spektrum möglicher Entwicklungen abzudecken; siehe Paul J. H. Schoemaker, »Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking«, in: *Sloan Management Review*, 36 (1995) 2, S. 25–40; Ansari et al., »Energy Outlooks Compared: Global and Regional Insights« [wie Fn. 9].

Grafik 2

Kegel der Unsicherheit



Quelle: Basierend auf Dawud Ansari et al., »Energy Outlooks Compared: Global and Regional Insights«, in: *Economics of Energy and Environmental Policy*, 9 (2020) 1, S. 21–42.

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

riogenerierung wird meist auf strukturierte, qualitative Analysetechniken, partizipative Prozesse und heterogene Expertise zurückgegriffen.

Szenarien zielen darauf ab, bei Rezipienten eine »Erinnerung an die Zukunft« zu erzeugen.

Die Stärke von Szenarien liegt in ihrer hybriden und fluiden Natur, die sich zwischen Logik und Intuition bewegt: Szenarien verzichten auf Rigidität, Formalität und Reduktionismus, stattdessen zielen sie wie in einem künstlerischen Prozess darauf ab, bei Rezipienten eine »Erinnerung an die Zukunft« zu erzeugen, die ihnen zuvor ungeahnte Konsequenzen und Risiken, aber auch strategische Optionen vor Augen führt.¹¹

¹¹ Im Rahmen des Erfühlens und Erlebens einer fiktiven Zukunft, in der unsichere Ereignisse sich bereits ereignet haben – eine Erinnerung an die Zukunft sozusagen –, soll sich bei Entscheidungsträgern ein Aha-Moment einstellen, der neue Risiken und Optionen offenbart oder bestehende Annahmen herausfordert; siehe hierzu Pierre Wack, »Scenarios: Shooting the Rapids«, in: *Harvard Business Review*, (1985) 11, S. 139 – 150 (146); Peter Schwartz, *The Art of the Long View*.

Bis dato gibt es noch keine bifokalen Szenarien mit den Schwerpunkten Wasserstoff und Geopolitik, was die vorliegende Untersuchung umso relevanter macht. Szenarien sind zwar im Energiesektor geläufig, allerdings werden – trotz der methodischen Anforderung, dass sie interdisziplinär sein sollen – geo- und sicherheitspolitische Aspekte kaum bis gar nicht berücksichtigt. Dabei bieten Szenarien die beste Möglichkeit, die komplexen und ambivalenten Wirkungsketten der Geopolitik des Wasserstoffs zu verstehen und strategisch einzuordnen. In Vorbereitung darauf werden zunächst technologische und technopolitische Aspekte von Wasserstoffproduktion und -transport sowie regionale Präferenzen und geopolitische Gegebenheiten kartiert.

Planning for the Future in an Uncertain World, New York: Doubleday, 1996, S. 205.

Technologiepfade, Transportarten, regionale Präferenzen: eine Bestandsaufnahme

Gegenwärtig gibt es noch keinen globalen oder regionalen Markt für (sauberen) Wasserstoff als Energieträger,¹² weder Angebot noch Nachfrage können als gesichert gelten. Potenziell sind für Wasserstoff sehr unterschiedliche Herstellungsverfahren, Technologien, Produkte, Transportwege und Anwendungen denkbar. Darauf bezogene Pfadentscheidungen werden einerseits durch politische Präferenzen bestimmt, andererseits durch bestehende Markt- und Machtstrukturen. Verschiedene Anforderungen an Rohstoffe, Komponenten und Know-how bedingen zudem verschiedene Strukturen im Hinblick auf Energie(-markt), Interdependenzen und Macht. Vor diesem Hintergrund ist eine Übersicht über die potentiellen Wasserstoffakteure in unterschiedlichen Weltregionen und ihre jeweiligen Präferenzen im geopolitischen Kontext unabdingbar.

Technologien, Rohstoffe und Abhängigkeiten: die Produktion von Wasserstoff

Bisher wird nahezu sämtlicher Wasserstoff (> 99 Prozent) aus fossilen Brennstoffen hergestellt, wobei keine Verfahren zur Verringerung der CO₂-Emissionen angewendet werden.¹³ Zu den derzeit gängigsten Produktionsverfahren zählt die Dampfreformierung (steam methane reforming, SMR). Dabei entsteht aus

Erdgas unter Einsatz von Wärme und Wasser(-dampf) Wasserstoff sowie CO₂ und Kohlenstoffmonoxid. Das Verfahren ist emissionsintensiv: Im Jahr 2021 fielen für jede Tonne produzierten Wasserstoffs etwa 12 bis 13 Tonnen CO₂-Äquivalente an, was insgesamt etwa 2 Prozent der globalen Emissionen ausmacht.¹⁴ In der heutigen Debatte wird auf diese Weise hergestellter Wasserstoff meist als »grauer« Wasserstoff bezeichnet (siehe Grafik 3).¹⁵

Im Rahmen der Energietransformation soll Wasserstoff als kohlenstoffarmer oder sogar kohlenstofffreier Energieträger etabliert werden, indem seine Herstellung dekarbonisiert wird (bei der letztlichen Verbrennung treten keine CO₂-Emissionen auf). Ein prominenter Ansatz besteht darin, die beim SMR-Verfahren entstehenden Emissionen abzuscheiden und unterirdisch zu speichern (carbon capture and storage, CCS)¹⁶ oder anderweitig zu nutzen, etwa in

¹² Wasserstoff ist bereits seit langem ein essenzieller Rohstoff in verschiedenen Sektoren, etwa in der Landwirtschaft und der Chemieindustrie. Er wird jedoch bislang nicht in großen Mengen gehandelt, meist mit emissionsintensiven Verfahren hergestellt und kaum als Energieträger genutzt.

¹³ International Energy Agency (IEA), *Hydrogen* (online), <<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

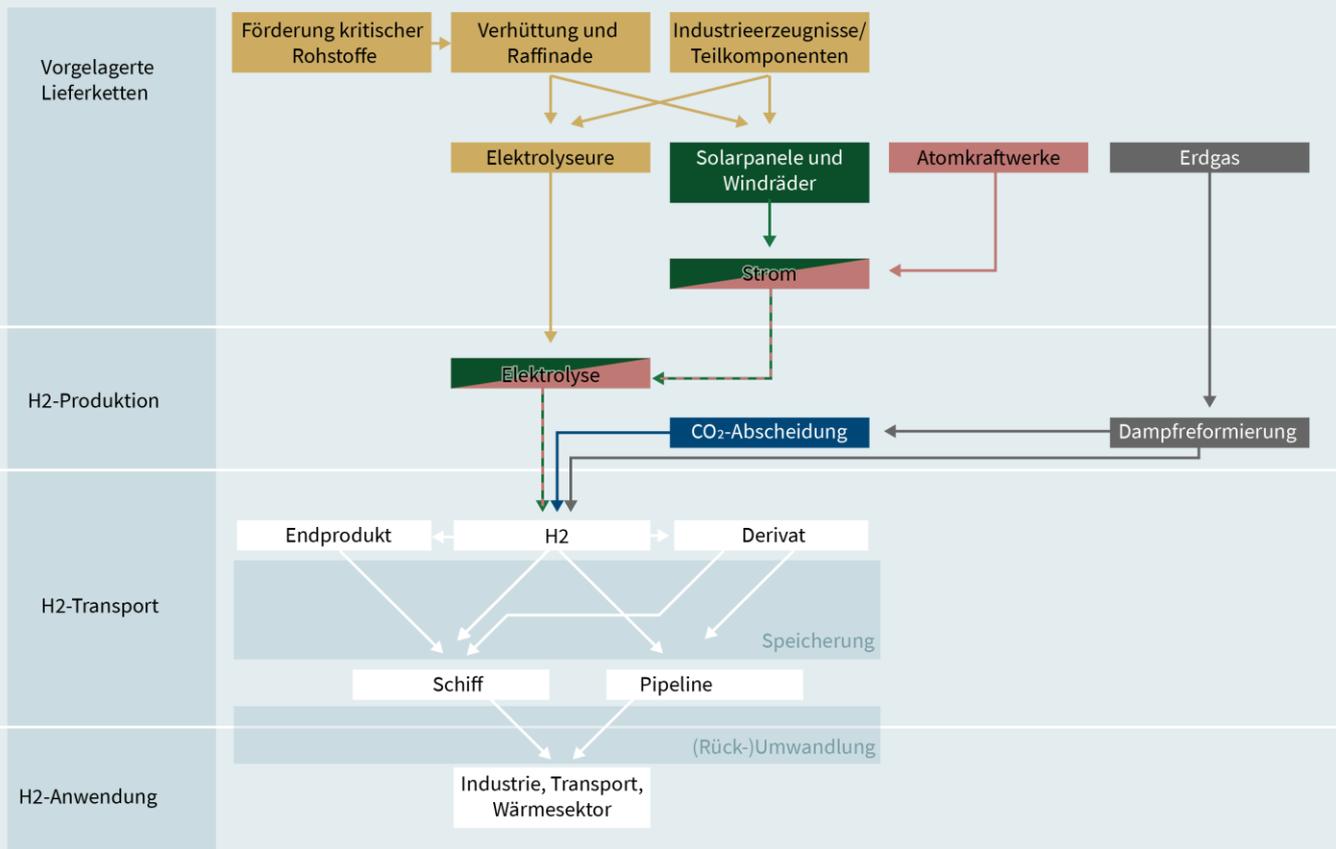
¹⁴ IEA (Hg.), *Towards Hydrogen Definitions Based on Their Emissions Intensity*, April 2023, S. 8, <<https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

¹⁵ Wasserstoff wird aktuell häufig mit »Farben« gekennzeichnet, um die Herstellungstechnologien zu unterscheiden, obgleich diese Praxis bei vielen Experten als verwirrend und inkonsistent gilt. Zur vollständigen Übersicht über die »Farbenlehre« und den Emissionsgehalt siehe Amela Ajanovic et al., »The Economics and the Environmental Benignity of Different Colors of Hydrogen«, in: *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (2022); Julian Grinschgl et al., *Eine neue Wasserstoffwelt. Geotechnologische, geökonomische und geopolitische Implikationen für Europa*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Dezember 2021 (SWP-Aktuell 78/2021).

¹⁶ Felix Schenuit et al., »Carbon Management«: *Chancen und Risiken für ambitionierte Klimapolitik*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Mai 2023 (SWP-Aktuell 30/2023).

Grafik 3

Wertschöpfungskette Wasserstoff (vereinfacht und selektiv)



Quelle: Basierend auf Julian Grinschl et al., *Eine neue Wasserstoffwelt. Geotechnologische, geökonomische und geopolitische Implikationen für Europa*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Dezember 2021 (SWP-Aktuell 78/2021).

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

der tertiären Ölförderung oder prospektiv als Rohstoff (carbon capture, utilisation and storage, CCUS).

Der so gewonnene (»blaue«) Wasserstoff ist arm an Kohlenstoff, jedoch nicht frei davon. Wie viel (Rest-)Emissionen entstehen, hängt von der Effizienz des CC(U)S-Verfahrens ab. Diese Technologie wurde in den letzten Dekaden weniger gefördert und erforscht als jene zur Gewinnung erneuerbarer Energien, so dass sie noch kaum marktreif ist und aktuell nur einen Teil der entstehenden Emissionen abfangen kann. Schätzungen zur künftig möglichen Emissionsvermeidung gehen weit auseinander, speziell müssen auch Methanaustritte in der Erdgaslieferkette unterbunden werden.¹⁷

¹⁷ Siehe unter anderem Christian Bauer et al., »On the Climate Impacts of Blue Hydrogen Production«, in: *Sustainable Energy & Fuels*, 6 (2022) 9, S. 66–75; Julian Schippert et al., »Greenhouse Gas Footprint of Blue Hydrogen with Dif-

ferent Production Technologies and Logistics Options«, in: *Social Science Research Network*, Juli 2022.

¹⁸ IEA (Hg.), *Towards Hydrogen Definitions Based on Their Emissions Intensity*, Paris 2023, S. 22, <<https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023). Zum Vergleich: 2019 lag der Preis bei circa 0,70 bis 1,50 Euro pro Kilogramm, siehe IEA, *Global Average Levelised Cost of Hydrogen Production by Energy Source and Technology, 2019 and 2050* (online), <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-average-levelised-cost-of-hydrogen-production-by-energy-source-and-technology-2019-and-2050>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

Aus geopolitischer Sicht kann die Entscheidung zugunsten des SMR-Verfahrens vorhandene Machtpositionen von Erdgasproduzenten stabilisieren, indem diese weiterhin Gas im Rahmen der etablierten Handelsbeziehungen exportieren. Die vorhandenen Gasreserven und der Technologiewettbewerb um CCS werden am Ende über die Bedeutung fossiler Energieexporteure in den erneuerbaren Energiemärkten entscheiden. Bereits fertiggestellte und geplante Anlagen für die kommerzielle Nutzung sind vor allem in Nordamerika, Australien, Nordeuropa sowie den arabischen Golfstaaten, China und Südostasien zu finden. In Europa und in Asien-Pazifik ist eine Steigerung der Kapazitäten bis 2030 geplant.¹⁹

Der Fokus der deutschen und europäischen Wasserstoffambitionen liegt auf der Gewinnung von klimaneutralem Wasserstoff durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom (»grüner« Wasserstoff).²⁰ Hierzu wird meist Wasser in einer Elektrolyse-Anlage mit elektrischer Energie in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten. Sofern der Strom emissionsfrei erzeugt wurde (etwa aus Sonnen-, Wasser-, Wind- oder auch Atomenergie), gilt der Wasserstoff als klimaneutral.

Mit umgerechnet etwa 4,60 bis 7,30 Euro pro Kilogramm sind die Kosten für klimaneutralen, mittels Elektrolyse erzeugten Wasserstoff vergleichsweise hoch.²¹ Diese Kosten hängen maßgeblich von der Ent-

wicklung der Kosten erneuerbarer Energien und somit von geographischen und meteorologischen Faktoren ab – beispielsweise werden die Kosten für die Produktion grünen Wasserstoffs bis 2030 in Sub-Sahara-Afrika auf etwa 1,90 Euro pro Kilogramm und in den arabischen Golfstaaten auf circa 1,50 bis zwei Euro prognostiziert.²²

In Hinblick auf erneuerbaren Wasserstoff stellen vor allem Elektrolyseure (und die für sie nötigen Rohstoffe; siehe dazu auch Grafik 1) kritische Faktoren für die Skalierung des Marktes dar.²³ Nach derzeitigem Stand sind zwei Elektrolyseur-Typen verbreitet: alkalische und Polymer-Elektrolyt-Membran-(PEM)-Elektrolyseure.

Alkalische Elektrolyseure stellen die älteste, kostengünstigste und mit 61 Prozent Anteil an der weltweit installierten Kapazität die am weitesten verbreitete Technologie dar. Für die Produktion alkalischer Elektrolyseure sind Nickel und (vernickelter) Stahl erforderlich. Die Nickelverarbeitung findet vor allem in Indonesien, China und Japan statt.²⁴ Einige Länder wollen die Ausfuhr von unraffiniertem Nickel verhindern. China sichert sich zudem durch strategische Investitionen bereits Verhüttungskapazitäten in den Abbauländern. Hinzu kommt, dass die Volksrepublik nicht nur die meisten alkalischen Elektrolyseure herstellt, sondern mit rund 190 Euro pro Kilowatt (kW) auch nur ein Sechstel des europäischen Preises veranschlagt.²⁵

PEM-Elektrolyseure sind etwas besser an die fluktuierende Versorgung durch erneuerbare Energien angepasst, jedoch weniger ausgereift und teurer als alkalische Geräte. Ihr weltweiter Marktanteil liegt zurzeit bei knapp 31 Prozent, die Kosten belaufen sich auf 1.300 bis 1.960 Euro pro kW.²⁶ Insgesamt hat Europa hier (noch) einen Vorsprung, wenn es um Patente

19 Global CCS Institute, *Facilities Database* (online), <<https://co2re.co/FacilityData>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023); IEA, *CCUS Projects Explorer* (online), 24.3.2023, <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

20 Europäische Kommission, *Hydrogen* (online), <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023); Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), *Nationale Wasserstoffstrategie: Grüner Wasserstoff als Energieträger der Zukunft* (online), 26.7.2023, <<https://www.bmbf.de/bmbf/forschung/energie-wende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie-node.html>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

21 IEA, *Indicative Production Costs for Hydrogen via Electrolysis in Selected Regions Compared to Current References* (online), 12.1.2023, <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/indicative-production-costs-for-hydrogen-via-electrolysis-in-selected-regions-compared-to-current-references-2>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023); Leigh Collins, »Ukraine War. Green Hydrogen »Now Cheaper Than Grey in Europe, Middle East and China«: BNEF«, *Recharge*, 7.3.2022, <<https://www.rechargenews.com/energy-transition/ukraine-war-green-hydrogen-now-cheaper-than-grey-in-europe-middle-east-and-china-bnef/2-1-1180320>> (zuletzt abgerufen am 23.10.2023).

22 IEA (Hg.), *African Energy Outlook*, Abu Dhabi 2022, S. 157; Ministry of Foreign Affairs, *Hydrogen in the GCC*, Den Haag 2020, S. 2.

23 Dawud Ansari et al., *Elektrolyseure für die Wasserstoffrevolution. Herausforderungen, Abhängigkeiten und Lösungsansätze*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2022 (SWP-Aktuell 58/2022).

24 IRENA, *Geopolitics of the Energy Transition: Critical Materials*, Abu Dhabi 2023, S. 40.

25 Xiaohan Gong et al., *China's Emerging Hydrogen Economy. Policies, Institutions, Actors*, Potsdam: Research Institute for Sustainability – Helmholtz Centre Potsdam, 2023.

26 Aliaksei Patonia/Rahmatallah Poudineh, *Cost-competitive Green Hydrogen: How to Lower the Cost of Electrolysers?*, Oxford: The Oxford Institute for Energy Studies, 2022.

und die Produktion geht. Für die Herstellung werden allerdings Platin und Iridium benötigt, deren Verteilung (und somit potentielle Lieferketten) stark konzentriert ist. Südafrika ist im Besitz der weltweit größten Vorräte an Platingruppenmetallen (platinum group metals, PGM; rund 91 Prozent), worunter auch Iridium fällt, gefolgt von Russland (circa 6 Prozent) und Simbabwe (circa 2 Prozent).²⁷ Anders als bei der alkalischen Elektrolyse ist auch die Versorgung mit Komponenten für PEM-Elektrolyseure tendenziell konzentriert, einzelne Hersteller finden sich in Europa, den USA, dem Vereinigten Königreich und Japan.

Wasserstoff aus erneuerbarem Strom könnte zur Entstehung einer neuen Klasse von Exporteuren entlang neuer Wertschöpfungsketten führen.

Wasserstoff aus erneuerbarem Strom könnte daher zur Entstehung einer neuen Klasse von Exporteuren entlang neuer Wertschöpfungsketten führen, deren Strukturen und Abhängigkeiten diffuser sind als bei den fossilen Brennstoffen. Der Wettbewerb um Rohstoffe wird dabei gegenüber dem um Komponenten, Know-how und Transportarten relativ an Bedeutung verlieren, allerdings nicht verschwinden.

Pipelines, Schiffe, Choke Points: geopolitische Transportdilemmata

Großskalierter Wasserstofftransport kann prinzipiell über Pipelines oder mit Schiffen stattfinden (siehe Grafik 3). In Pipelines lässt sich Wasserstoff gasförmig transportieren, mit Schiffen entweder verflüssigt über flüssige organische Wasserstoffträger (liquid organic hydrogen carriers, LOHC) oder verschiedene Derivate, beispielsweise Ammoniak.

Der Transport von Wasserstoff als Gas via Pipelines und der Schiffstransport von Ammoniak gelten als wahrscheinlichste Optionen, da beide von zum Teil bestehender Infrastruktur, erprobten Produktionsverfahren sowie etablierten Lieferketten und Märkten profitieren. Für die erste Lösung können vorhandene Erdgaspipelines umgenutzt oder neu gebaut werden. Nach Schätzungen ist langfristig der Pipelinetransport die kosteneffizienteste Lösung für Distanzen bis zu

4.000 Kilometern bei Neubauten und bis zu 8.000 Kilometern bei Umrüstungen, wenn das Projektvolumen ausreicht.²⁸ Umrüstungen setzen darüber hinaus eine dauerhaft sinkende Erdgasnachfrage und den massiven Umbau des nationalen und (inter-) regionalen Erdgaspipelinetzes voraus. Neue Pipelines bedeuten nicht nur hohe Anfangsinvestitionen und diplomatische Anstrengungen, es vergehen auch Jahre oder sogar Jahrzehnte bis zu ihrer Fertigstellung. Als Folge infrastruktureller Rigidität schaffen sie zudem machtpolitische Pfadabhängigkeiten und lassen konstruktionsbedingt kaum interregionalen Handel zu. Werden Onshore-Pipelines genutzt, wachsen mit der Distanz und der Anzahl durchlaufener Staaten außerdem Abhängigkeiten und Risiken.

Schiffe eignen sich vor allem für weite Entfernungen und sind kaum an Netzinfrastruktur gebunden, was die Möglichkeiten globalen Handels verbessert. Das gilt auch, weil die Transportkosten nur mäßig mit der Distanz steigen. Obwohl flüssiges Ammoniak für den Schiffstransport eine vielversprechende Option darstellt, ist die darauf abgestimmte Schifffahrtstechnologie noch nicht ausgereift. Hafeninfrastruktur und Prozesstechnik für die Umwandlung in und von Ammoniak sind weiterhin zentrale Herausforderungen. Darüber hinaus müssen die Koordination zwischen Abnehmer- und Verkäuferländern und deren integrierte Netzplanung insbesondere bei Derivaten wie Ammoniak funktionieren. Das sorgt für Investitionssicherheit und Wirtschaftlichkeit,²⁹ festigt aber auch langfristig gegenseitige Abhängigkeiten. Letztlich erfordert der maritime Transport ein komplexes Lieferkettenrisikomanagement, insbesondere im Hinblick auf Choke Points – globale Flaschenhälse wie Suez, Malakka und Panama – sowie potentielle Gefährdungen von Seerouten.

Regionale Inkongruenzen und geopolitische Divergenzen

Die Entscheidungen zu den Technologie- und Transportpfaden und zum Marktsetup finden im politischen

²⁸ Siehe IRENA (Hg.), *Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal. Part II: Technology Review of Hydrogen Carriers*, Abu Dhabi 2022, S. 125 – 126.

²⁹ Kirsten Westphal et al., *Commercial Interfaces as a Challenge for the Build-up of Hydrogen Supply Chains*, Hamburg: H2Global Stiftung, 2023.

²⁷ Deutsche Rohstoffagentur (DERA), *ROSYS – Rohstoffinformationssystem* (online), <<https://rosys.dera.bgr.de>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

Wettbewerb der potentiellen Wasserstoffakteure³⁰ statt, der durch die Präferenzen der beteiligten Akteure geprägt ist. Neben Ressourcenvorkommen, meteorologischen Bedingungen und bestehender Infrastruktur (siehe Grafik 1) dienen hier industriepolitische Erwägungen sowie das jeweilige regionale geopolitische Umfeld als Basis für die Analyse.

Europa auf der Kante: zwischen Wunsch und (geopolitischer) Wirklichkeit

Die EU profiliert sich als größtes Nachfragezentrum für emissionsarmen Wasserstoff und strebt eine führende Rolle beim Aufbau eines Wasserstoffmarktes an. Angesichts des zusehends spürbaren technologisch-industriellen Wettbewerbs mit den USA und China sollen neben dem EU Green Deal weitere Initiativen wie der REPowerEU-Plan, die Clean Hydrogen Partnership und die angekündigte Wasserstoffbank den Hochlauf des Wasserstoffmarktes in der EU beschleunigen.³¹ Das soll sowohl die technologische und regulatorische Vorreiterposition der EU festigen als auch zum Erreichen von Klimaneutralität (bzw. der Errichtung eines postfossilen Energiesystems) und zur Versorgungsautonomie beitragen.³²

Für die inländische Produktion wird seit dem Ausbruch des Kriegs in der Ukraine eine installierte Elektrolysekapazität von mehr als 120 Gigawatt (GW) bis 2030 angestrebt, um 10 Millionen Tonnen Wasserstoff jährlich herzustellen. Zwar wird CCS im Rahmen des Net Zero Industry Acts der EU gefördert, doch der Fokus liegt auf der Elektrolyse mit erneuerbaren Energien.³³ Flächen mit günstigen klimatischen Bedingun-

gen sind allerdings nur begrenzt verfügbar. Außerdem ist es mit den aktuellen industriepolitischen Maßnahmen und dem Zugang zu Rohstoffen und Technologie kaum möglich, die heimische Produktion schnell zu skalieren. Der REPowerEU-Plan sieht deshalb ebenfalls 10 Millionen Tonnen an jährlichen Wasserstoffimporten vor – trotz unterschiedlicher Ansichten der Mitgliedstaaten dazu. Die geographisch östliche Nachbarschaft, die sich zuvor angeboten hatte, scheidet jedoch sicherheitsbedingt kurz- bis mittelfristig aus. Für die EU gibt es nur wenige Partner, mit denen sich Wasserstoffhandelsbeziehungen realisieren ließen (siehe unten im Absatz zu Afrika und Nahost).

Kontinentaleurasien im Wandel: geopolitische Auswirkungen auf Wasserstoffpotential und Prioritäten

Von der Sicherheitslage abgesehen bieten insbesondere Russland, die Ukraine und Zentralasien Potential für die Produktion von Wasserstoff. Die Nähe zum europäischen und asiatischen Markt würde die Region zu einem natürlichen Swing-Produzenten machen, allerdings hat das geo- und sicherheitspolitische Umfeld Prioritäten und Möglichkeiten auf dem zukünftigen Wasserstoffmarkt deutlich verschoben.

Russlands Exportpläne³⁴ sehen zunächst Lieferungen von 2 Millionen Tonnen Wasserstoff pro Jahr bis 2035 vor; Ziel ist dabei, die führende Rolle des Landes als globaler Energieexporteur zu bewahren.³⁵ Weil Europa als Absatzmarkt ausfällt, setzt Russland nun auf Kooperationen mit Indien und China, obwohl beide sich vorerst nicht unbedingt als große Nachfrage- und Importzentren positionieren. Die Ukraine hingegen spielt weiterhin eine wichtige Rolle bei den Wasserstoffimportplänen der EU, wird allerdings frühestens in der zweiten Hälfte der 2030er Jahre zum Akteur in der Wasserstoffwirtschaft werden können.

Der Krieg in der Ukraine hat Zentralasien die Chance eröffnet, sich für den europäischen Markt als

bedingungen-und-mehr-investitionen-fur-saubere-2023-03-16_de> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

34 Siehe hierzu auch Yana Zabanova/Kirsten Westphal, *Russland im globalen Wasserstoff-Wettlauf: Überlegungen zur deutsch-russischen Wasserstoffkooperation*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Juni 2021 (SWP-Aktuell 48/2021).

35 Regierung der Russischen Föderation, *Pravitelstvo Rossiyskoy Federacii* [Entscheidung], Moskau, August 2021, <<http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2Nqcvsexl.pdf>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

30 Die Reihenfolge der Regionen sowie die Auswahl der dargestellten Länder in den folgenden Unterkapiteln drücken keine Wertung durch die Autoren aus.

31 *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, REPowerEU Plan*, 18.5.2022, COM(2022) 230 final, <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

32 Jacopo Maria Pepe, *Geopolitik und Energiesicherheit in Europa*, Brüssel: Competence Centre for Climate and Social Justice und FES Just Climate, 2023.

33 Europäische Kommission, »Net Zero Industry Act: Kommission will bessere Bedingungen und mehr Investitionen für saubere Technologien in Europa«, Pressemitteilung, 16.3.2023, <<https://germany.representation.ec.europa.eu/news/net-zero-industry-act-kommission-will-bessere->

Alternative zu Russland und der Ukraine zu positionieren.³⁶ Hier besteht zum einen ein Interesse daran, die Resilienz der eigenen kohlenstoffintensiven Volkswirtschaften zu erhöhen, zum anderen daran, sich in grüne Wertschöpfungsketten anderer wichtiger Akteure zu integrieren, wie etwa China, die EU, die Vereinigten Arabischen Emirate (VAE) und Russland. Da Russland als Haupttransitland auf dem Weg nach Europa entfällt, sind Exporte in diese Richtung auf eine komplexe intermodale Logistik entlang des Mittleren Korridors Kaspisches Meer – Kaukasus – Schwarzes Meer angewiesen. Die Wasserstoffzukunft der Region liegt daher kurz- bis mittelfristig eher im Raum Asien-Pazifik.

Afrika und Nahost: große Chancen und große Hoffnungen

Oman, Saudi-Arabien und die VAE sind der Realisierung einer Wasserstoff-(Export-)Wirtschaft vermutlich bereits am nächsten gekommen.³⁷ Außer auf reichliche Ressourcen (Fläche, Sonne, Wind, Erdgas) können die Staaten auf großes Know-how für Energieexporte, petrochemische Industrie und CO₂-Management sowie extensive Finanzierungskapazitäten und eine hohe Agilität bauen.

Die Golfstaaten suchen einen Exportsektor zu errichten, der das Öl- und Gasgeschäft ergänzt, aber keineswegs ersetzt.

Die Golfstaaten suchen einen Exportsektor zu errichten, der das Öl- und Gasgeschäft ergänzt, aber keineswegs ersetzt. Sie wollen Wertschöpfungsketten im eigenen Land etablieren und die inländische Wertschöpfung ausbauen, weshalb Wasserstoffanwendungen (etwa grüner Stahl) populärer werden. Die Wasserstoffwirtschaft könnte aktuelle Machtstrukturen in Staat und Gesellschaft langfristig stabilisieren und

zudem geopolitische Ambitionen fördern. Als potentielle Abnehmer werden Europa und Asien-Pazifik (insbesondere Korea und Japan) parallel umworben. Allerdings neigt sich die Waage zunehmend gegen Fernost, gemessen an der Anzahl der Projektvergaben und Delegationsreisen.

Eine regionale Eskalation des Nahostkonflikts könnte Auswirkungen auf die Transportrouten nach Europa haben – je nach Ursprungshafen müssen Wasserstofflieferungen zwei Choke Points passieren (siehe Grafik 1). Wahrscheinlich würde auch die Wasserstoffpolitik der Levante beeinflusst. Bis dato sehen sich Israel als Wasserstoffimporteur und Jordanien als prospektiver Exporteur nach und via Israel.

Nordafrika hingegen ist ein Hotspot, der sich sowohl durch Angebot (exzellente erneuerbare Ressourcen sowie, im Fall Algeriens und Ägyptens, Erdgasreserven³⁸) als auch Nachfrage (EU-Pläne) auszeichnet. Die Haltung gegenüber der EU ist ambivalent: einerseits vom Wunsch nach ökonomischer Integration geprägt, andererseits von bewusst demonstrierter Abgrenzung (etwa wenn es um regulatorische Anforderungen an Wasserstoff geht). Die Staaten der Region sehen sich mit wenigen Ausnahmen als Exporteure, wirtschaftspolitische Gesichtspunkte stehen im Vordergrund. Wasserstoff wird nur wenig mit der lokalen Klimapolitik verbunden. Ägypten sticht zwar geographisch und infrastrukturell hervor, finanzielle Risiken als Folge der Schuldenkrise³⁹ bilden jedoch eine Barriere. Die Staaten des Maghreb profitieren vom bestehenden Gaspipelinnetz. Marokko, das längst in vielen Sektoren mit der EU kooperiert, sieht sich als prospektiver Exporteur von erneuerbarem Wasserstoff in die EU.⁴⁰ Allerdings überschatten (energie-)diplomatische Divergenzen und damit verbundene Vorfälle in den letzten Jahren die vielversprechende Partnerschaft. Algerien scheint sowohl aus institutionellen Gründen als auch wegen seiner Fokussierung der existierenden Gasindustrie weniger involviert in die »grüne« Wasserstoffwende. Zudem

³⁶ Yana Zabanova, »Towards a Geoeconomics of Energy Transition in Central Asia's Hydrocarbon-Producing Countries«, in: Rahat Sabyrbekov et al. (Hg.), *Climate Change in Central Asia*, Cham: Springer International Publishing, 2023, S. 106.

³⁷ Siehe hierzu auch Dawud Ansari, *Die Wasserstoffagenden der arabischen Golfstaaten. Zwischen ökonomischer Diversifizierung und Machterhalt*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Juli 2022 (SWP-Aktuell 43/2022); Dawud Ansari, *Wasserstoff aus Oman für Deutschland und die EU*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, März 2023 (SWP-Aktuell 18/2023).

³⁸ Laurent Ruseckas, *Europe and the Eastern Mediterranean: The Potential for Hydrogen Partnership*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, August 2022 (SWP Comment 50/2022).

³⁹ Stephan Roll, *Kredite für den Präsidenten. Auslandsverschuldung und Herrschaftssicherung in Ägypten*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2022 (SWP-Studie 10/2022).

⁴⁰ Ministère de l'Énergie des Mines et de l'Environnement, *Feuille de Route de l'Hydrogène Vert*, Januar 2021, S. 7, <https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrog%C3%A8ne%20vert.pdf> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

ist die Region vor allem durch einen anhaltenden Konflikt zwischen Marokko und Algerien geprägt, der sich auf den potentiellen Energiehandel auswirkt und auch Tunesien und Libyen betrifft.

Südlich der Sahara zeigen sich mehrere Länder interessiert an Wasserstoffexporten – aus wirtschaftlichen Gründen und meist als Reaktion auf europäische Wasserstoffdiplomatie, die unter anderem Namibia, den Senegal, Nigeria, Kenia und Südafrika betrifft.⁴¹ Mit Ausnahme Südafrikas und Nigerias handelt es sich jedoch um eher unerfahrene Parteien mit markanten Finanzierungs- und Infrastrukturingpässen. Die Ausbaupazitäten sind darum fraglich und sind auf massive Direktinvestitionen angewiesen. Gleichzeitig orientieren sich auch diese Länder nach Fernost; so legte etwa Namibia in seiner Wasserstoffstrategie fest, dass es nicht nur nach Europa, sondern insbesondere auch nach Japan, Südkorea und China exportieren werde.⁴²

Der Indo-Pazifik im Spannungsfeld: Wasserstoffpolitik zwischen globalen und Mittelmächten

Im Indo-Pazifik⁴³ finden sich unterschiedliche Ressourcenausstattungen, Akteurspräferenzen und energiepolitische Ausrichtungen.

Bei der Produktion alkaliner Elektrolyseure und der Raffinade vieler Rohstoffe liegt China bereits vorne.

Chinas Wasserstoffambitionen beruhen einerseits auf Energiesicherheit und -unabhängigkeit, andererseits auf Nachhaltigkeit und Industriepolitik. Bereits bis 2025 will die Volksrepublik zwischen 0,1 und 0,2 Millionen Tonnen Wasserstoff aus erneuerbarer Energie jährlich produzieren und sich gleichzeitig

als Selbstversorger und Hub profilieren.⁴⁴ Der strategische Wettbewerb mit den USA befeuert das Rennen um Technologie- und Marktführerschaft. Bei der Produktion von alkalinen Elektrolyseuren und bei der Raffinade vieler Rohstoffe liegt China bereits vorne. Ähnliches gilt für die Produktion von Solarpanelen und (zum geringeren Grad) von Windturbinen.

Auch Indien zeigt sich im Umgang mit seiner Industrie und seinen Wertschöpfungsketten protektionistisch. Das Land strebt neben der Eigenbedarfsdeckung bis 2047 Wasserstoff- und Technologieexporte an.⁴⁵ Bis 2030 sollen 5 Millionen Tonnen Wasserstoff jährlich primär aus Elektrolyse produziert werden.⁴⁶ Ob Indien dieses Ziel erreichen wird, ist wegen des hohen Kapitalbedarfs sowie konkurrierender nationaler Prioritäten allerdings ungewiss. Ungeachtet aller Spannungen im Verhältnis zwischen dem Westen, China und Russland unterhält Indien intensive Handelsbeziehungen mit allen Seiten; nach wie vor dominieren Rüstungsimporte den Handel Indiens mit Russland.

Japans und Südkoreas auf Wasserstoff gerichtete Bestrebungen zielen nicht nur auf die Dekarbonisierung ihrer Wirtschaft ab, sondern vor allem auch auf den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Industrie im eigenen Land sowie auf die Herstellung von Energiesicherheit und strategischer Autonomie.⁴⁷ Angesichts territorialer Dispute mit China besteht das prinzipielle Risiko von Unterbrechungen der Energieversorgung, was Diversifizierungsbestrebungen auslöst. Aufgrund begrenzter natürlicher Ressourcen (einschließlich Flächen) stehen Importe im Fokus. Geplant ist die Einfuhr von grünem Wasserstoff aus Oman, aber auch von blauem Wasserstoff, etwa

41 Europäische Kommission, *Global Gateway 2023 Flagship Projects – Infographics* (online), <https://international-partnerships.ec.europa.eu/publications/global-gateway-2023-flagship-projects-infographics_en> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

42 Ministry of Mines and Energy Namibia, *Namibia. Green Hydrogen and Derivatives Strategy*, Windhoek, November 2022, S. 21, <https://www.ensafrica.com/uploads/newsarticles/0_namibia-gh2-strategy-rev2.pdf> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

43 Der Begriff Indo-Pazifik wird in diesem Zusammenhang nicht als politisches, sondern als rein geographisches Konzept verwendet, das auch Indien einschließt.

44 Gong et al., *China's Emerging Hydrogen Economy. Policies, Institutions, Actors* [wie Fn. 25].

45 Government of India, *National Green Hydrogen Mission* (online), <<https://www.india.gov.in/spotlight/national-green-hydrogen-mission>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

46 Ebd.

47 The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, *Basic Hydrogen Strategy*, Tokio, Juni 2023, <https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_5.pdf> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023); Ministry of Trade, Industry and Energy, »Segye Choegosujunui Susogyongje Seondogukgaro Doyak« [Eine führende Position in der Wasserstoffwirtschaft einnehmen], Pressemitteilung, Seoul, 17.1.2019, <http://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=81&cate_n=1&bbs_seq_n=161262> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

aus den VAE und Australien. Australien wiederum möchte sich als Supermacht der erneuerbaren Energien etablieren und kann dazu auf Erfahrungen mit Energieexporten, die bereits existierende lokale Wasserstoffproduktion und den Zugang zu Kapital zurückgreifen.⁴⁸ Die strategische Partnerschaft mit der EU legt den Handel mit ihr nahe, allerdings besteht hier Konkurrenz durch Nachfrage aus Japan und Südkorea, die auch geographisch näher liegen.

Australien, Japan und Südkorea sind wirtschaftlich weitgreifend mit China verflochten. Sie teilen das Interesse an Frieden und Stabilität, gleichzeitig eint sie das Bestreben, Chinas Einfluss in der Region entgegenzuwirken. Die wachsende militärisch-industrielle Zusammenarbeit mit den USA ist ein weiterer Faktor, der die sicherheits- und geopolitische Lage prägt.

In Südostasien befinden sich zum einen traditionelle regionale Erdgasexporteure wie Brunei, Indonesien und Malaysia, zum anderen langjährige Importeure wie Singapur und Thailand. Wasserstoffambitionen werden in dieser Region trotz erster Anstrengungen zurzeit noch – mit Ausnahme Singapurs⁴⁹ – in bescheidenem Umfang verfolgt. Zwar gibt es dort vereinzelte Rohstoffvorkommen (beispielsweise Nickel in Indonesien oder Erdgas in den genannten Ländern), es mangelt jedoch vor allem an Technologie, Kapital und dem Ausbau erneuerbarer Energien. China ist für die Region von herausragender Bedeutung, auch wegen seiner entwicklungsorientierten Investitionen. Da die Länder allerdings stark unter dem bereits beschriebenen Systemkonflikt leiden, sind Frieden und Stabilität prioritäre Handlungsmotive.

All-in und all-out: die USA als starker Prosumer neben den aufstrebenden Exporteuren aus Lateinamerika

Insbesondere die USA werden als potentiell einflussreicher Prosumer (Produzent und Konsument zugleich) eine bedeutende Rolle in der künftigen Wasserstoffwelt spielen. Sie verfolgen in Bezug auf Wasserstoff einen weitgehend technologieoffenen Ansatz.

⁴⁸ Australian Government, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, *Growing Australia's Hydrogen Industry* (online), <<https://www.dceew.gov.au/energy/hydrogen>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

⁴⁹ Ministry of Trade and Industry Singapore, *Singapore's National Hydrogen Strategy* (online), <<https://www.mti.gov.sg/Industries/Hydrogen>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

Mit protektionistischen Initiativen wie dem Inflation Reduction Act (IRA) wird die Produktion von blauem Wasserstoff und die Elektrolyse von erneuerbarem und nuklearem Strom ins Visier genommen.⁵⁰ Die im Sommer 2023 veröffentlichte US-Wasserstoffstrategie kündigt eine inländische Produktion von jährlich 10 Millionen Tonnen sauberen Wasserstoffs bis 2030 und 50 Millionen Tonnen jährlich bis 2050 an.⁵¹ Damit kann nicht nur langfristig nahezu die gesamte inländische Nachfrage gedeckt werden, es eröffnen sich auch Spielräume für Exporte an Verbündete.

Der Vorstoß der USA im Hinblick auf sauberen Wasserstoff beruht nicht nur auf Klimaerwägungen.

Der Vorstoß der USA im Hinblick auf sauberen Wasserstoff beruht allerdings nicht nur auf Klimaerwägungen. Insbesondere die systemische Rivalität mit China und der sich verschärfende industriell-technologische Wettbewerb sowohl mit China als auch mit Europa, der als Bedrohung für die technische und wirtschaftliche Führungsrolle der USA angesehen wird, treiben die politische Weichenstellung an. Hinzu kommt das Streben nach Resilienz und Unabhängigkeit bei der Versorgung mit kritischen Rohstoffen und Industriekomponenten.

In Lateinamerika dagegen rückt Wasserstoff nur langsam in den Fokus der Energiepolitik. Potentiale und das Interesse daran sind nicht homogen verteilt. Mit der Entwicklung des Wasserstoffs streben die Länder der Region Energieunabhängigkeit und Dekarbonisierung an, gleichzeitig eröffnet sich die Chance für Exporte innerhalb der Region und nach Übersee. Chile und Brasilien bieten sich als prominente Beispiele an: Insbesondere in Chile herrschen überaus vorteilhafte geographische und klimatische Bedingungen. Brasilien verfügt außerdem über relevante Erfahrungen im Rohstoffhandel und beim Export fossiler Brennstoffe und besitzt eine petrochemische Industrie, die bereits konventionellen Wasserstoff nutzt.

⁵⁰ Kongress der Vereinigten Staaten, *Inflation Reduction Act of 2022, H.R.5376* (online), 16.8.2022, <<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

⁵¹ U.S. Department of Energy, *U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap*, Juni 2023, <<https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf>> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

Chiles Potential für die Produktion grünen Wasserstoffs wird auf jährlich 160 metrische Tonnen bis 2050 geschätzt.⁵² Pläne zum Export grünen Wasserstoffs und von Derivaten nach Japan, Südkorea und Deutschland existieren bereits. Äußerst vorteilhaft ist der Zugang zu Pazifik und Atlantik. Doch hindern das Fehlen von regulatorischen Rahmen oder deren unzureichender Ausbau ebenso wie Defizite bei Infrastrukturen und Elektrolyseur-Technologien das Land daran, die Exporte anlaufen zu lassen. Hinzu kommt eine wachsende Abhängigkeit von Rohstoffexporten nach China sowie von chinesischen Investitionen in den Abbau von Ressourcen und in die Infrastruktur Chiles. Diese Faktoren könnten sich negativ auf die Exportpräferenzen und zukünftigen Handelskonstellationen auswirken. In Brasilien hingegen besteht die Möglichkeit – ähnlich wie in Indien –, dass Klimaambitionen angesichts konkurrierender Probleme wie der Armutsbekämpfung ins den Hintergrund geraten. Obwohl sich Brasilien wiederholt zu mehr (Klima- und Energie-)Kooperation mit der EU bekannt hat, bleibt zudem unklar, inwieweit die Position des Landes innerhalb der BRICS-Gruppe (Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika) und wechselnde geopolitische Präferenzen seine Partnerwahl beeinflussen werden.

52 Ministry of Energy, Government of Chile, *National Green Hydrogen Strategy*, Santiago de Chile, November 2020, <https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf> (zuletzt abgerufen am 17.10.2023).

Drei Szenarien zur Geopolitik des Wasserstoffs

Diverse Technologieoptionen, globale Wertschöpfungsketten und inkongruente, auch von geopolitischen Interessen geprägte Akteurspräferenzen – die neue Wasserstoffwelt ist von Ambivalenzen und Komplexität geprägt. Im Folgenden werden drei Szenarien entwickelt, die einen ersten Ansatz zur Kartierung möglicher Entwicklungen, Chancen und Risiken bieten wollen: H2-Neuordnung, H2-(Un-)Abhängigkeit und H2-Imperialismus (siehe Grafik 4).

Die drei Varianten erlauben es, mögliche zukünftige Entwicklungen der Geopolitik des Wasserstoffs, den Einfluss aktueller Trends sowie strategische Optionen zu identifizieren. Sie wurden in einem mehrstufigen Prozess in Kollaboration mit einer internationalen und interdisziplinären Expertengruppe erarbeitet.⁵³ Maßgebliche Faktoren der Szenarioentwicklung waren insbesondere Rohstoffe, Technologieführerschaft, Autonomie, Systemkonflikt (vor allem zwischen dem Westen und China) und globale Ordnung. Die Szenarien sind auf globaler Ebene angesiedelt, Zeithorizont ist das Jahr 2040. Ihre Perspektive ist zwar europäisch, aber mit der (bewussten) Ausnahme von H2-(Un-)Abhängigkeit nicht eurozentrisch; sie spiegeln sämtlich die unterschiedlichen Akteurspräferenzen wider.⁵⁴ Allen Szenarien liegen die (nicht trivialen) Annahmen zugrunde, dass die europäische und die globale Klimapolitik weiterhin große Bedeutung haben wird, Staaten als dominante

Akteure im Wasserstoffsektor auftreten und der Zugang zu Kapital global sichergestellt ist.

H2-Neuordnung eröffnet einen Blick in eine Welt, in der europäische Wasserstoffambitionen im Sande verlaufen, während sich Wasserstoffökonomie, energieintensive Industrie und mit ihr der Schwerpunkt der Weltordnung nach Osten verschieben. **H2-(Un-)Abhängigkeit** zeichnet eine Zukunft, in der sich Europa im Interesse der Förderung strategischer Autonomie weltweit allein zum Wasserstoff bekennt, während latente Abhängigkeiten in Rohstofflieferketten die Handlungsfähigkeit der EU in Anbetracht globaler Machtverschiebungen einschränken. **H2-Imperialismus** ist die dystopische Vision einer globalen Wasserstoffökonomie, in der Hegemonialmächte die Wertschöpfungskette und die Exportländer untereinander aufteilen und entwicklungspolitische Vorhaben zum Vorwand werden, um Wasserstoffdiktaturen zu errichten.

Die drei Szenarien loten den Kegel der Unsicherheit (siehe Grafik 2) breit aus. Die Szenarien sind bewusst nicht wahrscheinlich gestaltet, wohl aber divers und plausibel. Auf diese Weise ermöglichen sie es, im Kontinuum möglicher Zukünfte zu navigieren. Sie umrahmen ein hier nur im Anhang rudimentär skizziertes und nicht weiter ausgearbeitetes Referenzszenario der »wahrscheinlichsten« Zukunft (siehe Tabelle 2).

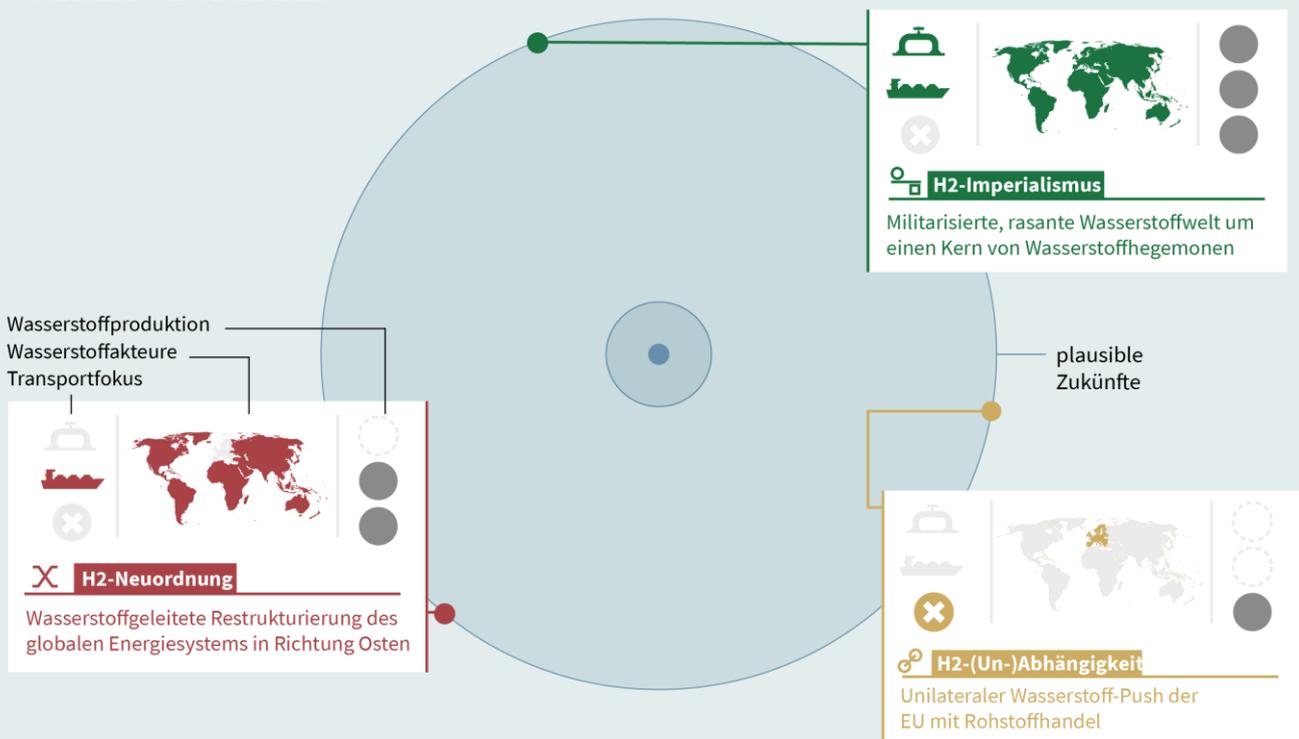
Es muss betont werden, dass die dargestellten Szenarien rein hypothetischer und überspitzter Natur sind. Sie spiegeln nicht die aktuelle Situation in einem konkreten Land wider oder lassen sich aus dieser ableiten. Alle in den Szenarien genannten Länder dienen lediglich als Beispiele für grundsätzlich denkbare Entwicklungen; sie sollten nicht als Bewertung der SWP oder der Studienautoren interpretiert oder für solche herangezogen werden.

⁵³ Eine ausführliche Beschreibung des Prozesses, seiner Methodik und der Teilnehmenden sowie der Indikatoren, die das Eintreten eines jeden Szenarios ankündigen, findet sich im Anhang, S. 42f.

⁵⁴ Dennoch entstehen Ungleichgewichte in der Betrachtung, die mit der Methode zu tun haben: Die Szenariotexte geben zwar ein global konsistentes und plausibles Bild wieder, doch der globale Fokus verlangt eine gewisse Abstraktion bezüglich nationaler oder sogar regionaler Prozesse. Dazu gehört auch, dass die Studie die innereuropäische Dimension weitgehend außen vor lässt und die EU als einen Block betrachtet.

Grafik 4

Übersicht der Szenarien



Quelle: Szenarien »Geopolitik des Wasserstoffs«.

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

H2-Neuordnung

Europa auf Eis

Anfang 2024 erklären Wetterexperten, dass Europa sich auf einen besonders langen und harten Winter einstellen muss. Nach einer Phase der trügerischen Ruhe schießen die Strom- und Gaspreise wieder in die Höhe und belasten die Wirtschaft. Daraus resultiert der Aufstieg der politischen Rechten, die nun in direkter Konkurrenz zu dem immer noch starken Lager der Befürworter von Klimaschutzmaßnahmen steht. Wahlen auf allen Ebenen haben chaotische Ergebnisse, die politische Polarisierung innerhalb und zwischen den EU-Ländern führt zu einem lähmenden politischen Stillstand. Punktuelle Maßnahmen werden getroffen, um einkommensschwache Haushalte zu schützen. Doch der politische Deadlock verhindert umfassende Reformen, Infrastrukturinvestitionen und Unterstützung für die europäische Industrie. Das ist nicht zuletzt deshalb so, weil Europa durch den noch immer andauernden Krieg Russlands in der Ukraine in Schach gehalten wird. Nach wie vor ist

Wasserstoff ein großes Thema in der Debatte, bindende Abkommen oder Investitionsentscheidungen bleiben aber aus, da der Stillstand Institutionen erfasst hat und die private Wirtschaft entmutigt. Ehrgeizige Klimaschutzmaßnahmen werden immer noch von einer knappen Mehrheit in der EU befürwortet – in einer kraftvollen Rede bekräftigt der Präsident der Europäischen Kommission Anfang 2025 Europas Rolle als »Grüner Kontinent«. Aber die Uneinigkeit darüber, wie und ob überhaupt die vielfältigen Krisen bewältigt werden sollen, bewirkt, dass jedwede Unterstützung von Technologien und Industrien ausbleibt.

Der bislang schwache Trend zur Deindustrialisierung in Europa bekommt Auftrieb, grundlegende Veränderungen in der Wirtschaftsstruktur Europas stehen bevor. 2026 entscheidet zum Beispiel BASF, sein größtes Werk in Ludwigshafen zu schließen und den Betrieb am Verbundstandort in Antwerpen drastisch einzuschränken. Die EU muss immer mehr energieintensive Produkte aus Regionen mit niedrigeren Energiepreisen importieren, große Teile der europäischen Industrie werden sogar dorthin verlagert.

Das betrifft verschiedene Standorte in Asien, wo multinationale Unternehmen bereits bestehende Cluster ausweiten, aber auch die arabischen Golfstaaten, wo Erdgas, Wasserstoff und Finanzkapazitäten für neue Industrien reichlich vorhanden sind. Die EU führt (infolge des politischen Stillstands verspätet) erst im Jahr 2028 den CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (carbon border adjustment mechanism, CBAM) ein, um die Deindustrialisierung zu verlangsamen. Abgesehen von einem Anstieg der Importpreise zeigen sich keine Effekte, da bezahlbare saubere Energie es den (neuen) Industrie-Hotspots ermöglicht, einen Teil ihrer Exporte nach Europa rasch zu dekarbonisieren.

In der Zwischenzeit haben die USA nach den Präsidentschaftswahlen 2024 den politischen Stillstand der frühen 2020er Jahre überwunden und zu einem breiten Kompromiss für die Unterstützung heimischer Industrie bei gleichzeitiger Bekämpfung des Klimawandels gefunden. Dieser Kompromiss verstärkt Trends, die bereits seit Inkrafttreten des Inflation Reduction Acts (IRA) erkennbar sind und sich angesichts der anhaltenden Handelsstreitigkeiten mit China intensiviert haben. Ergebnis dieser Entwicklungen ist eine immer zahnlosere Welthandelsorganisation. Der neue aggressive grüne Merkantilismus der USA stellt technologische Autarkie über Offenheit, da saubere Technologien zu einem zentralen Handlungsfeld erklärt werden, in dem eine Entkopplung von China und eine herausragende Wettbewerbsposition gegenüber diesem Land erforderlich sind. 2027 verkündet die US-Präsidentschaft stolz, dass Offshore-Windkraft, die nun als »Freedom Power« bezeichnet wird, einen Kernbestandteil ihrer sauberen und autarken Zukunft ausmachen soll. Bedeutende finanzielle Förderprogramme und eine Entbürokratisierung von Windprojekten werden im Rahmen einer landesweiten Bewegung unter dem Motto »A Strong and Clean America« beschlossen und strategisch auf Wasserstoff ausgeweitet. Im Lauf der Jahre werden PEM-Elektrolyseure zu einer der Top-Industrien der USA.

Während die meisten PEM-Elektrolyseure der USA den heimischen Markt und ausgewählte Outlets (wie Kanada, Chile, Australien und Brasilien) anvisieren, dominieren chinesische alkalische Elektrolyseure die globale Landschaft. China entscheidet im Jahr 2024, seine ambitionierten Wasserstoffziele erneut höher zu stecken. Es strebt an, ein ganzheitliches Technologiesystem zu schaffen. Dieses soll der Volksrepublik die Kontrolle über ihren Energiesektor ermöglichen, eine florierende aufstrebende Exportindustrie mit

geopolitischem Einfluss schaffen und ihr die Fähigkeit verleihen, schnell Dominanz in der globalen Klimaagenda zu erlangen. Das verstärkt die Unterstützung für mit Wasserstoff verbundene Technologien erheblich, insbesondere für alkalische Elektrolyseure, die dem Anschein nach für großtechnische Anwendungen effizienter sind und leichter hochzufahren als PEM-Elektrolyseure. Gleichzeitig setzt die US-Regierung auf gezielte Innovationsförderung, auf ehemalige europäische PEM-Champions (die in die USA umgesiedelt sind, als klar wurde, dass die EU die Wasserstofftransformation nicht vollziehen würde) sowie eine kürzlich vermittelte exklusive Partnerschaft mit Südafrika, um sich die notwendigen Rohstofflieferketten zu sichern.

2028 gelingt es chinesischen Herstellern, die Preise für Wasserstoff auf unter 100 US-Dollar pro kW zu drücken. Das Momentum wird noch stärker, als der Zustrom von Ex-EU-Industrien die Kommunistische Partei dazu veranlasst, 2029 offiziell die Doppelpolitik der »Net-Zero-Industrieführerschaft« zu beschließen, die stark auf den inländischen Gebrauch von Wasserstoff setzt – auch als Reaktion auf das CBAM der EU.

Das Zeitalter des Drachens

Die Binnenorientierung sowohl der USA als auch Europas verstärkt die Verlagerung auf neue Schwerpunkte in Afro-Eurasien, die seit Beginn des Jahrhunderts zu beobachten ist. Eine Golf-China-Achse manifestiert sich als bedeutendster Handels- und Machtkorridor in der Region. Abgesehen davon, dass es sich um politisch und pragmatisch Gleichgesinnte handelt, vereint beide Regionen das Streben nach einer Ausdehnung ihrer (geo-)ökonomischen Reichweite. (Informelle) multilaterale Abkommen regeln die immer weiter wachsende Präsenz dieser Nationen in Ostafrika und dem Nahen Osten. 2028 schließen die Golfstaaten und China ein Abkommen über die bevorzugte Lieferung chinesischer Elektrolyseure im Austausch gegen Wasserstoff, Mineralien und Petrochemikalien aus der Golfregion. Letztere hat sich zu einem aufstrebenden Zentrum für Dienstleistungen, Rohstoffe und Schwerindustrie entwickelt – ein zusätzliches Standbein neben den zwar leicht reduzierten, aber weiterhin betriebenen Öl- und Gasexporten in zahlreiche Wirtschaften der Region. 2031 eröffnet Saudi-Arabien die weltweit größte Anlage zur Produktion von grünem Stahl. Sie befindet sich in Neom und wird mit Wasserstoff betrieben, der ursprünglich für den Export in die EU vorgesehen war.

Gleichzeitig verkündet ein breit angelegtes Industrie-Forschungskonsortium von Akteuren aus Oman und den VAE, dass Khalifa Port und der Hafen von Duqm die weltweit einflussreichsten maritimen Brennstoffhubs werden sollen.

Japan und Korea führen 2030 eine dem europäischen CBAM ähnelnde Struktur ein, um die Dekarbonisierung voranzutreiben. Beide Staaten schaffen es, die meisten ihrer inländischen Industrien aufrechtzuerhalten, beziehen aber ihren Wasserstoff (oder Flüssigerdgas [LNG] zur Umwandlung in Wasserstoff) aus dem Golf, Australien und anderen Staaten der Region wie Thailand und Chile.

Chinas Afrika-Handelskorridor ist wichtiger denn je, getauscht wird hier Infrastrukturförderung (einschließlich Energie) gegen Rohstoffe, die für die verschiedensten Sparten von Chinas CO₂-armer Tech-Branche notwendig sind, beispielsweise den Bereich Batterien. 2031 gründen die Afrikanische Union (AU) und China die China-Africa-Cooperation-Organisation. Nur zwei Jahre später unterzeichnet das hundertste Land Chinas Dragon Accord. Die beteiligten Staaten profitieren von günstigen, von China kreditfinanzierten Elektrolyseuren und erkennen dabei (teilweise) Chinas regulatorisches Rahmenwerk für Wasserstoff an. Insbesondere die einkommensschwächeren Unterzeichner erhoffen sich dadurch chinesische Infrastrukturinvestitionen und eine Vertiefung der Handelsbeziehungen. Es wird erwartet, dass solche Investitionen zum Beispiel Kenia und Tansania einen rascheren Zugang zum Wasserstoff (Leap-Frogging) und damit Industrialisierung ermöglichen. So werden sie in die Lage versetzt, einerseits Wasserstoff an China zu verkaufen und andererseits in den späten 2030er Jahren grüne Industrieprodukte in die EU zu exportieren. Darüber hinaus schaffen es südostasiatische Nationen zunehmend, einen Teil ihrer Öl- und Gaslieferungen aus dem Golf durch im Inland produzierten Wasserstoff zu ersetzen. Die Golfregion hat sich zum zweitgrößten Lieferanten von Gütern – einschließlich Rohstoffen, aber auch Stahl und sogar Autos – an die EU entwickelt.

Russland, dessen Beziehung zu China auf vorsichtigem Pragmatismus beruht, ist zu einem Lieferanten kritischer Rohstoffe, etwa von Nickel, für Chinas neue Industrien geworden. Aber seine Isolation im Westen lässt sich durch breitere wirtschaftliche Beziehungen mit China nicht ausgleichen. Moskau scheitert mit seinen Versuchen, einen integrierten Energiemarkt im postsowjetischen Raum zu schaffen und eine eurasische Wasserstoffunion zu fördern; es gelingt nicht,

andere Teilnehmer aus Zentralasien anzuziehen. Dass Putin 2032 aus gesundheitlichen Gründen das Präsidentenamt aufgibt, verstärkt noch die politische Instabilität und wirtschaftliche Stagnation in der Region. Gleichzeitig vertiefen sich die bereits bestehenden Beziehungen zum Golf und zu China. Letztere haben erhebliche Summen in die Region investiert, um einen neuen aufstrebenden Absatzmarkt (und ein Tourismusziel) zu etablieren, kritische Rohstoffe zu gewinnen und zusätzlich ihren politischen Einfluss in einer Region auszudehnen, von der sie glauben, dass sie im Zuge neuer Machtverhältnisse relevanter wird. Zwei Jahre später übernehmen Russland, Kasachstan und Usbekistan Chinas Low-Carbon-Wasserstoffstandards bei und bauen ihre Positionen als zusätzliche Versorgungsbasen für kritische Mineralressourcen und die Energieproduktion aus.

2034 etabliert China eine Wasserstoff- und Rohstoffallianz mit Indonesien, den Philippinen und Australien, die sich in das System erweiterter regionaler Handelsabkommen einfügt. Der Einfluss der Volksrepublik auf Europa und die USA hat sich in der neuen, transregionalen globalen Ordnung erheblich verringert. Beide sind weniger abhängig von chinesischen Waren als 2023 – mit der Einschränkung, dass die EU immer noch auf Solarpanele und einige energieintensive Importprodukte angewiesen ist. 2036 kauft der chinesische Bergbau- und Chemieriese Sinopec BASF und Norilsk Nickel. Nur ein Jahr später wird Sinopec in SinoHy umfirmiert, nachdem es 500 GW an Elektrolyseuren für internationale Märkte produziert hat.

Unterdessen hat Indien einen eher agnostischen Ansatz zu Klimafragen entwickelt, indem es ein kohlenstoffintensives Wachstum mit sauberer Technologie ausgleicht. Einige erste Wasserstoffanwendungen existieren, doch Indien ist eher ein vorsichtiger Follower der großen Akteure und daher selbst (noch) kein großer Akteur in dieser geoökonomischen Landschaft. Das Land ist nicht bereit, umfassende Abkommen mit China (oder den USA) zu schließen, sondern hält eine gewisse Distanz zu allen Seiten, außer zu den Ländern des Golfkooperationsrats (GCC). Bis 2035 hat der indische Subkontinent China längst als Hauptimporteur von Öl und Gas aus dem Golf überholt, wobei die (unausgeglichene) Beziehungen durch bedeutende Investitionen des Golfs in Indien und eine Kodifizierung der Niederlassungserlaubnis für indische Migranten in den VAE, Katar und Saudi-Arabien erheblich intensiviert wurden. Über eine indisch-russische Öl- und Gas-Pipeline wurde immer

wieder gesprochen, aber der Einfluss der Golfstaaten in der Region hat alle darauf gerichteten Versuche blockiert. Auf globaler Ebene dominieren Methanol- und Ammoniaklieferungen den internationalen Wasserstofftransport, Pipelines werden nur selten genutzt.

Im Jahr 2040 macht Wasserstoff mehr als 25 Prozent in Chinas Energiemix aus; auch andere Akteure in Ostasien verzeichnen große Anteile von Wasserstoff in ihrem System. Abgesehen von der Luft- und Schifffahrt, in der Wasserstoff immer mehr zum Standard wird, haben auch Chinas Forschungsambitionen mit Wasserstoff angetriebene Fahrzeuge, insbesondere LKW, wieder ins Spiel gebracht; sie ergänzen Elektroantriebe, die nun vorwiegend für kleinere Autos verwendet werden. Chinas Bedeutung in der Cleantech-Branche ermöglicht es ihm, seinen Einfluss weit über die eigenen Grenzen hinweg auszudehnen – die Volksrepublik ist nun der De-facto-Schiedsrichter bei allen Unstimmigkeiten in der östlichen Hemisphäre und setzt praktisch überall technologische Standards, außer in Europa und den USA. Die Golfstaaten, die mittlerweile Energieexporte, Industrie und den weltweit höchstbezahlten Dienstleistungssektor vorweisen können, haben ein informelles Machtteilungsabkommen mit China und üben ihren hegemonialen Einfluss von Pakistan bis Libyen und zunehmend auch in der Türkei und in Teilen Europas aus. In Europa existiert noch immer eine kohlenstofffreie Dienstleistungsindustrie, doch die Wirtschaftsleistung hat im Vergleich zu 2023 um fast 20 Prozent abgenommen – insbesondere weil die Finanzindustrie zunehmend dem Exodus der Fertigungsindustrie folgte. Sogar viele Forschungseinrichtungen sind in den nach Asien und in den Golf umgezogen (14 der Top-20-Universitäten in globalen Rankings sind inzwischen in China, Indien und dem Golf ansässig). Eine bemerkenswerte Ausnahme stellt Europas Tourismussektor dar, der im letzten Jahrzehnt gewachsen ist – hauptsächlich aufgrund der sich vergrößernden reiselustigen Mittelschicht im Nahen Osten und in China. Ein Silberstreif am wirtschaftlichen und geopolitischen Horizont der EU: Im Dezember 2040 verkündet der Präsident der Europäischen Kommission, dass die EU mit Inbetriebnahme der ersten Direct-Air-Capture-Anlage Europas endlich das Net-Zero-Ziel erreicht hat – zehn Jahre vor der Deadline.

H2-(Un-)Abhängigkeit

Festung Europa

Im Jahr 2024 fegen zahlreiche Dürren und Unwetter über Europa hinweg. Sie verursachen wirtschaftliche Schäden von mehr als zwanzig Milliarden Euro und eine große Zahl an Todesopfern. Bei einer Überschwemmung von Dörfern entlang der Donau im Norden Österreichs kommen fast 3.500 Menschen ums Leben, der Industriehafen von Linz wird zerstört. Seitdem kann es sich keine politische Partei mehr leisten, den Klimawandel zu ignorieren. Der Krieg in der Ukraine tobt immer noch, russische Truppen sind auf dem Weg nach Kiew. Auf die neuerliche Flüchtlingswelle wird mit weniger Freundlichkeit reagiert als auf die vorherige. Sicherheit, Autonomie und Nationalismus verhärten sich zu dominanten Narrativen in ganz Europa.

Die politische Landschaft forciert nationalistisch-grüne Kompromisse, die ein starkes Europa und entschlossene Klimamaßnahmen fordern.

Diese scheinbar widersprüchlichen Trends – der Fokus zum einen auf Sicherheit, Autonomie und Nationalismus und zum anderen auf Klimaschutz – manifestieren sich bei EU-Parlamentswahlen und bei nationalen Wahlen im Jahr 2024 in einer Verschiebung sowohl in Richtung grüner als auch rechter Parteien. Die sich ergebende politische Landschaft forciert nationalistisch-grüne Kompromisse: Gefordert wird ein starkes Europa und entschlossene Klimaschutzmaßnahmen, gleichzeitig wird zugesichert, die Abhängigkeit von außen drastisch zu reduzieren. Analysten übersetzen, was das für die kommenden Jahre bedeutet: Eindämmung der Migration, strategischer Handel und ein Fokus auf heimische, erneuerbare Energien – wobei Wasserstoff an der Spitze steht. Das saubere Gas entpuppt sich als kleinster gemeinsamer Nenner, auf den sich sowohl grüne als auch nationalistische Kräfte einigen können – solange es innerhalb Europas gewonnen wird.

Parallel dazu geht aus der US-Präsidentenwahl 2024 wieder ein republikanischer Hardliner hervor, der erneut für »America First« eintritt. Er strebt eine Entkopplung von China und eine merkantilistische Politik an. Die globale (wirtschaftliche) Ordnung erodiert zusehends, das Vertrauen in globale Governance und Zusammenarbeit schwindet schnell

und nachhaltig. In ihrem Drang nach Friendshoring verhandeln die USA mit der EU über ein Freihandelsabkommen. Doch kommt es deshalb nicht zustande, weil die Europäer mit dem US-Ansatz zu Klimafragen und Industriepolitik nicht einverstanden sind und die EU auf (Energie-)Souveränität beharrt – selbst gegenüber der US-LNG- oder Wasserstoffindustrie.

Bis 2025 nimmt die »Festung Europa« immer klarere Konturen an. Die Agenda zielt auf neue migrationsfokussierte Abkommen mit Marokko, Tunesien, Libyen und der Türkei ab, um die europäischen Außengrenzen durch Polizei und Flüchtlingsinternierungslager zu sichern. Außerdem geht es darum, sich von allen »unerwünschten« – das heißt nicht westlichen oder nicht demokratischen – Handelspartnern abzukoppeln sowie Wasserstoff und erneuerbare Energien zu fördern. Die EU vereinfacht Genehmigungsverfahren für den Ausbau der Produktion erneuerbarer Energien, erlässt strategische Regularien für Wasserstoff und gründet die Europäische Wasserstoffunion. Ziel ist es, die Wasserstoffproduktion zu erleichtern und die europäische Industrie »H2-ready« zu machen. Ein offizielles Verbot von Wasserstoffimporten steht aus, aktuell errichtet die Wasserstoffunion über einen CBAM-Mechanismus hohe nichttarifäre Barrieren, mit denen die Konkurrenzfähigkeit von Wasserstoffexporten in die Union beeinträchtigt werden soll – Importe gelten als Bedrohung der Energieautarkie.

Die Europäische Kommission unterstützt ihre Elektrolyseur-Industrie mit einer breit angelegten Förderpolitik samt Innovationsfonds und direkten Subventionen. Das Handeln konzentriert sich ausschließlich auf PEM-Elektrolyseure (im Fall der Forschungsförderung auch auf weniger ausgereifte Technologien), da die Kommission den Kampf um alkalische Elektrolyseure für verloren hält. Erforderliche kritische Rohstoffe stammen insbesondere aus dem demokratischen Südafrika. Die USA und Kanada benötigen solche Platingruppenmetalle ebenfalls für ihre eigenen Industrien, auch für sie ist Südafrika die einzige effektive Option; das Land wird zudem als »sicherer« Handelspartner angesehen. Im Jahr 2026 gibt die Europäische Kommission stolz den Democracy Trade Channel bekannt, eine formalisierte Vereinbarung über einen bevorzugten Zugang zu Platingruppenmetallen und anderen kritischen Rohstoffen aus Südafrika und deren garantierten Kauf. EU-Entscheidungsträger hoffen, die Vereinbarung später auf andere (demokratische) Länder ausweiten und so eine Handelsunion unter Verbündeten schaffen zu können.

Anderswo schwindet das Momentum für Wasserstoff. Bis 2026 führen Korea und Japan noch zuvor in Auftrag gegebene Pilotprojekte in den arabischen Golfstaaten durch, der Schwerpunkt verlagert sich aber zusehends auf CCS-Technologie. Entscheidungsträger im gesamten Asien-Pazifik und in anderen Regionen halten Wasserstoff für unpraktisch. Er ist teuer in der Produktion, Transport und Handhabung sind kompliziert – die jüngste Forschung über die direkte Verwendung von Ammoniak als Energieträger liefert ernüchternde Ergebnisse.

Chinas Elektrolyseur-Industrie wächst weiter, wenn auch langsamer und ohne industriepolitische Unterstützung einer signifikanten Hochskalierung. Stattdessen diversifizieren sich die Investitionen in saubere Technologien. Im Jahr 2027 gründen Japan, Korea, China, Singapur und der GCC die »Global Carbon Alliance«, um die Forschung zur CC(U)S-Technologie, die viele Länder mehr und mehr als »den Weg nach vorn« betrachten, sowie deren Weiterentwicklung zu bündeln und zu beschleunigen. In diesem Zusammenhang wird Wasserstoff schließlich verwendet, aber in Form von LNG, das vor Ort umgewandelt wird, zum Beispiel in Singapur und Japan. Erdgas ist auch die Hauptantwort der USA auf Klimabedenken – die nationale politische Spaltung wird überbrückt durch ein Bekenntnis zur heimischen Öl- und Gasindustrie und ein gleichzeitig verhängtes Moratorium für Kohle.

Falsche Freunde

Trotz (oder gerade wegen) dieser Tendenzen verstärkt die EU ihr einsames Engagement für Wasserstoff. Bis 2028 sind die ersten großtechnischen Elektrolyseure in Spanien betriebsbereit und versorgen lokale Industrie-Cluster, 25.000 Kilometer des Hydrogen Backbone sind fertiggestellt. Die EU kündigt an, sie werde schrittweise eine Wasserstoffnutzungsquote in der Stahl- und Chemieindustrie implementieren und wolle bis 2038 80 Prozent erreichen. Die Investitionen (hauptsächlich privaten Ursprungs) in die Wasserstoff-Transportinfrastruktur mehren sich, Wasserstoff-Cluster entstehen auch in Nordwesteuropa.

Die beschleunigte Transformation vollzieht sich innereuropäisch und erzeugt einen großen Bedarf an kritischen Rohstoffen.

Die beschleunigte Transformation vollzieht sich innereuropäisch und zielt auf Selbstversorgung ab,

erzeugt aber einen großen Bedarf an kritischen Rohstoffen. Das gilt insbesondere für Elektrolyseure, die zum Kernstück der EU-Industriepolitik werden. Die Rohstoffversorgung hängt weiterhin hauptsächlich von Südafrika ab. Auch ausländische Solarmodule stehen auf der Importliste. Zwar hatte die EU kurzzeitig in eine Wiederbelebung der heimischen Photovoltaikindustrie investiert. Das Projekt wurde aber letztlich als zu teuer abgelehnt und die Spannungen mit China als hinreichend ausbalanciert eingeschätzt.

Das politische System Südafrikas ist seit Mitte der 2020er Jahre recht stabil: Kleinere regionale Parteien haben sich im ganzen Land etabliert, und das »Experiment Koalitionsregierungen« wirkt sich unerwartet positiv aus. Die Demokratie im Land wird bereichert, stabilisiert und belebt – der African National Congress (ANC) bleibt indes eine zentrale Kraft. Allerdings verfolgt die Regierung Südafrikas, während sie positive Beziehungen zu Europa pflegt, nach wie vor eine ausgewogene Außenpolitik, die eine aktive Rolle innerhalb der BRICS-Gruppe einschließt. Dieser Zusammenschluss institutionalisiert sich zusehends, die Form der Kooperation bleibt aber weiterhin flexibel. Während die Idee einer gemeinsamen Währung nie verwirklicht wurde, gründete BRICS in Zusammenarbeit mit der Eurasischen Wirtschaftsunion im Jahr 2027 eine eigene Zahlungsinfrastruktur als Alternative zum US-gestützten SWIFT. Zeitgleich hat sich der BRICS-Gipfel als zentrales Gremium jenseits des Westens und als De-facto-Komponente der globalen Governance in einer fragmentierten Weltordnung etabliert.

2032 sind die Auseinandersetzungen in der Ukraine bereits seit Jahren abgeflacht, große Teile des Landes sind aber russisch besetzt. Die EU hält an ihrer Strategie der Einmischung ohne Konfrontation fest, insbesondere indem sie die Ukraine militärisch unterstützt und wirtschaftlich integriert. Zusammen mit der Türkei und dem Vereinigten Königreich ist die Ukraine nun Mitglied der European Hydrogen Alliance und liefert Wasserstoff aus Kernkraftwerken in das europäische Netz. Der Eckpfeiler aktueller EU-Pläne zur Gewährleistung von Sicherheit an der Ostgrenze ist ein gigantisches Luftabwehrsystem, das 2034 in den nicht besetzten Gebieten der Ukraine installiert werden soll. Russland reagiert darauf mit dem Vorschlag, die seit langem geplante Zoll- und Sicherheitsunion (ZSU) unter den BRICS-Staaten zu etablieren, die auf bestehenden wirtschaftlichen, aber auch militärischen Beziehungen zwischen einigen der beteiligten Länder aufbaut. Die Idee findet insbeson-

dere wegen ihres politischen Werts großen Anklang in China.

Im Jahr 2034 unterzeichnen China, Russland, Brasilien und Südafrika ein Rahmenabkommen zur geplanten Zoll- und Sicherheitsunion.

Handel mit Russland ist für Südafrika nur Nebensache, auch wenn die Sicherheitsbeziehungen zwischen beiden Ländern seit vielen Jahren existieren und vom ANC geschätzt werden. Russlands Vorschlag passt auch zum untergründigen, wachsenden Anti-EU-Sentiment in der südafrikanischen Gesellschaft: Die strengen Regulierungen des Democracy Trade Channels und die geforderten hohen sozialen und Umweltstandards erhöhen demnach die Kosten für den Bergbau. Dies führe dazu, dass Unternehmen Arbeiter durch Maschinen ersetzen, und befeuert das Narrativ des »weißen, europäischen Neokolonialismus«. Außerdem wächst sowohl innerhalb als auch außerhalb der BRICS die Nachfrage nach südafrikanischen Platingruppenmetallen, und dies kollidiert mit der bisherigen Politik des bevorzugten EU-Zugangs. Im Ergebnis wäre die von der ANC geführte Regierung – und die Gesellschaft als Ganze – froh darüber, Europa auf Distanz zu halten, innerhalb der BRICS mehr Macht auszuüben und ihre Loyalität gegenüber anderen BRICS-Staaten zu betonen. Im Jahr 2034 unterzeichnen China, Russland, Brasilien und Südafrika ein Rahmenabkommen zu der geplanten Zoll- und Sicherheitsunion. Indien hingegen hält sich zurück, um seine Autonomie gegenüber China zu behaupten und die USA als zentralen Partner zu umgarnen. Geplante südafrikanische Bergbauprojekte, die für den EU-Export konzipiert waren, sind nun auf Eis gelegt – die Behörden des Landes knüpfen die Genehmigung weiterer Abbaurechte inoffiziell, aber eindeutig daran, dass die EU ihre Pläne für ein neues Luftverteidigungssystem an ihrer Ostgrenze aufgibt.

Diese Entwicklungen sind ein Schlag für die bisherige Energie- und Handelsdoktrin der EU, die genau solche Situationen vermeiden wollte. Würde der Zufluss kritischer Rohstoffe aus Südafrika versiegen, würde dies die grüne Industrie der EU lähmen, insbesondere die Elektrolyseur-Manufaktur. Während die EU es zweifellos als ihre Pflicht ansieht, die Ukraine weiterhin zu unterstützen, sind die Sorgen um einen Stopp der Energiewende größer noch als die Angst vor Energieknappheit. Infolgedessen gibt

die EU ihre Pläne für den Raketenabwehrschild auf. Die Behörden widmen sich erneut dem Projekt Diversifizierung von Rohstofflieferanten, doch nun sind die Kosten ungleich höher. Große Teile der Industrie sind bereits umgestiegen oder befinden sich aktuell im Prozess der Umstellung auf Wasserstoff; dabei gibt es keine Exporteure, die zu Hilfe kommen könnten. Maßnahmen wie die Umwidmung von Gasleitungen aus Nordafrika oder der Bau heimischer CCS-Anlagen zur Produktion von Wasserstoff aus Erdgas werden ergriffen, doch wird es Jahre dauern, bis sie abgeschlossen sind.

Angesichts dieser Entwicklungen nutzt China 2037 die Gelegenheit und annektiert Taiwan mit militärischer Gewalt. Die EU steht vor einem Dilemma: Soll sie Chinas Handeln akzeptieren oder alles riskieren und eine wirtschaftliche und militärische Eskalation mit der gesamten ZSU in Kauf nehmen? Immerhin hat die Union zusehends die Form einer alternativen Nordatlantischen Allianz (Nato) angenommen. Die USA, deren Administration in den 2020er Jahren den Handel mit China bereits erheblich eingeschränkt hatte, verurteilen die Militäraktionen, brechen die diplomatischen Beziehungen zu China ab und drängen Europa dazu, gemeinsam und entschlossen zu handeln. Die EU entscheidet sich jedoch am Ende dafür, nicht mehr zu tun, als sich in einer Erklärung »zutiefst besorgt« über die Situation zu äußern: Nicht nur die militärischen Risiken, auch die Abhängigkeit von Solarmodulen und Rohstoffen aus den ZSU-Staaten ist zu groß. Andere regionale Mächte wie die arabischen Golfstaaten, Chile oder das industrialisierte Kenia bleiben offiziell neutral, doch ihre Sympathien liegen schon lange näher bei den BRICS als bei der EU.

Im Jahr 2040 speisen eine neu errichtete CCS-Anlage in Norwegen und eine umgewidmete Maghreb-Europa-Pipeline Wasserstoff aus lokalem Erdgas in den bis dahin fertiggestellten Hydrogen Backbone ein. Europa atmet auf, dabei hat sich die umgebende Landschaft dauerhaft verändert. Der Wunsch, Energieabhängigkeiten durch Nutzung von Wasserstoff zu verringern, hat in der Praxis Wechselwirkungen und geopolitische Komplexitäten lediglich verschoben. Immerhin konnte Europa seine CO₂-Emissionen erheblich senken und viele Industrien am Leben erhalten. Das Scheitern des bis dahin verfolgten Ansatzes, Technologien, Standards und Handelswege überzuregulieren, und die ersten Lieferungen von »blauem« Wasserstoff aus Nordafrika bringen neue geopolitische Herausforderungen mit sich – aber auch neue Chancen.

H2-Imperialismus

Härter, besser, schneller, stärker

Die 29. Klimakonferenz (COP29) im Jahr 2024 endet mit einem Paukenschlag: Die EU, die USA, Japan, Südkorea und China vereinbaren, dass die meisten energieintensiven Industrien bis 2033 (fast) »Net-Zero« erreichen sollen; sie sehen Wasserstoff als Schlüssel zur Transformation. Dieser Meilenstein ergibt sich aus drei parallelen Entwicklungen, die schon früher im selben Jahr begonnen haben. Erstens haben Wetterextreme – ein Stakkato aus Waldbränden, Dürren, Überschwemmungen, Kälteeinbrüchen und Hitzeperioden – Länder auf der ganzen Welt heimgesucht und den Klimawandel zu einem dominanten Thema in fast allen großen Volkswirtschaften gemacht. Zweitens hat die G7 während ihres Gipfels in Italien die Verpflichtung bekräftigt, ihre Abhängigkeit von China zu verringern, gleichzeitig aber konstruktive Beziehungen zu Peking aufzubauen, um eine Gegenbewegung zur Fragmentierung der globalen Ordnung zu initiieren. Regierungen betrachten die Nutzung von Wasserstoff als ambivalentes Handlungsfeld, das globale Zusammenarbeit erfordert und unterstützt, aber gleichzeitig den Schlüssel zu anhaltender industrieller Dominanz birgt. Darüber hinaus ist die globale geopolitische Kluft tiefer geworden. Die (unzureichende) Reaktion auf Russlands anhaltende Invasion der Ukraine hat Europa gezeigt, wie sehr seine Position erodiert ist und seine diplomatischen Beziehungen und Hebel im Lauf der Jahre geschwächt worden sind. Drittens haben Spitzenenergiepreise und die Nachwirkungen von Covid-19 eine spürbare, aber milde Rezession entstehen lassen – was bedeutet, dass einerseits der Wunsch nach einer expansiven Fiskalpolitik besteht, andererseits die Möglichkeit dazu gegeben ist.

Die Länder, die das Wasserstoffabkommen unterzeichnet haben, stellen daher drei zentrale Anforderungen an die bevorstehende Wasserstoffwende: Sie sollte so schnell wie möglich erfolgen, Brücken bauen und gleichzeitig Autonomie demonstrieren. Die Kosten spielen keine Rolle, solange die Ausgaben auch der Konjunktur helfen. Aufbauend auf den Erfahrungen mit grünen Konjunkturpaketen wie dem amerikanischen Inflation Reduction Act oder dem European Green Deal legen die Regierungen umfangreiche Förderpläne vor, die die Wasserstoffwirtschaft voranbringen. Erstens erhalten die mandatierten Schlüsselindustrien massive finanzielle Unterstützung, um

den Offtake zu motivieren und bis 2033 »H2-ready« zu werden. Zweitens sollen massive Finanzierungsmechanismen auf Wasserstoff bezogene Forschung und Entwicklung vorantreiben und dessen Produktion und Transport hochskalieren.

Die geopolitische Doktrin der Balance von Kooperation und Autonomie führt die Länder auf unterschiedliche Innovationspfade.

Die geopolitische Doktrin der Balance von Kooperation und Autonomie führt die Länder auf unterschiedliche Innovationspfade: Wasserstoffmächte in spe streben nach einer Spezialisierung in einzelnen Nischen entlang der Wertschöpfungskette, um unverzichtbar zu werden. Ergebnis sind schnelle Fortschritte und erhebliche Kostensenkungen in jeder einzelnen Technologie. Japan und Korea erweitern ihren Fokus auf Frachter für Wasserstoffderivate und beginnen ab 2027 mit der Belieferung von Reedereien. Außer auf den Pipelinebau und die PEM-Elektrolyseure konzentriert sich die EU auf wasserstoffbetriebene Züge und Flugzeuge; im Jahr 2029 gelingt ihr der erste wasserstoffbetriebene Transatlantikflug. Boeing in den USA hat ähnliche Ambitionen, hinzu kommen ihre Fortschritte bei Endprodukten und Methanpyrolyse. China beschäftigt sich hauptsächlich mit alkalischen Elektrolyseuren, Solartechnologie und Brennstoffzellen sowie neuen Anwendungen im Privat- und Schwertransport. Die Golfstaaten verbuchen weiterhin Erfolge in der CCS-Technologie, doch ihre Bemühungen um eine Wasserstoffökonomie lassen nach, sie setzen nur noch auf direkte Exporte. Da sie sich nicht zum COP29-Meilenstein bekannt haben, binden die Unterzeichnerländer sie kaum ein. Das Gesamtergebnis ist eine globalisierte Wasserstoffwertschöpfungskette, in der es keinen einzigen Technologieführer im Bereich Wasserstoff gibt, sondern nur eine verteilte Führerschaft. Da keine Möglichkeit besteht, die Geoökonomie des Wasserstoffs zu dominieren, wirkt sich die latente Instabilität der globalen Ordnung nicht auf den Wasserstoffhandel aus.

Das heißt nicht, dass es keine geopolitischen Spannungen gäbe. Dispute um Patente und Fälle von angeblichem Marktmachtmissbrauch sind üblich, doch als offenkundigste Plattform für Rivalität erweisen sich die Importe. Alle Unterzeichnerstaaten haben früh erkannt, dass ihre Pläne erhebliche Wasserstoffmengen aus dem Ausland erfordern. Die »Farbe« des Wasserstoffs spielt für sie dabei kaum eine Rolle. Das

Gros der Zeit in den 2020er Jahren nutzen die Importeure, um ihre Präsenz in bestimmten Schlüsselregionen auszubauen: Japan und Südkorea vertiefen ihre Beziehungen mit den Golfstaaten (die weiterhin die aufnahmebereiten Märkte Indiens und Asiens mit fossilen Brennstoffen bedienen). Die USA bereiten sich mit ersten Importen aus Lateinamerika auf den erwarteten Anstieg der Wasserstoffnachfrage vor, die sie nicht selbst decken wollen. China nutzt seine Beziehungen zu Ostafrika und Zentralasien, um Wasserstoffimporte zu etablieren. Die EU tätigt bedeutende Investitionen in Nordafrika – die Region wurde nach einem langwierigen, globalen Sondierungsprozess als der am meisten wettbewerbsfähige und überlegene Partner für eine Wasserstoffzusammenarbeit erachtet. Um das Jahr 2030 nehmen die Spannungen zu, unter anderem als Japan und Korea versuchen, auch aus Kenia und Chile zu importieren, worauf die USA und China mit neuen Handelsstreitigkeiten reagieren.

Auf der anderen Seite erhöht China seine Investitionen und Kredite drastisch, um seinen Infrastruktur-Industrie-Komplex weiter in Richtung Zentralafrika voranzutreiben – und dies nicht nur, um Wasserstoff und kritische Mineralien zu erwerben, sondern auch, um die eigene hegemoniale Reichweite zu vergrößern. EU-Entscheidungsträger bestätigen, dass Afrika im Fokus ihrer Wasserstoffimportstrategie steht, und weiten ihre Energie- und Klimapartnerschaften über große Teile des Kontinents hinweg aus. Einerseits möchte Europa den (bereits) engen Markt für Wasserstofffrachter umgehen und sich stattdessen auf den pipeline-basierten Handel konzentrieren. Andererseits wird der Europas Wasserstoffkorridor mit Afrika als bahnbrechendes Instrument für nachhaltige Entwicklung angesehen. Beispielsweise garantiert die EU Mauretanien und dem Senegal begünstigte Abnahme Wasserstoffvolumen und Infrastrukturunterstützung im Austausch dafür, dass diese Länder die weitere Entwicklung ihrer Öl- und Gasindustrien aufgeben. Während China und die EU geographisch noch nicht direkt aufeinanderprallen, wissen beide Akteure, dass der Wettbewerb um die lukrativsten Standorte und Regierungsaufträge unmittelbar bevorsteht. Die meisten afrikanischen Regierungen begrüßen die neuen Investitionen und Exportmöglichkeiten, da sie ihnen stabile Deviseneinnahmen beschaffen und zur Entwicklung von Infrastruktur und Arbeitsmärkten beitragen.

(Hydro-)Apocalypse now

2030 eskalieren die Spannungen rund um jene lokalen Gemeinden in Marokko, die im Zuge von Wasserstoffprojekten vertrieben worden sind. Damit verschärfen sich dort bereits bestehende soziale Konflikte, die Folge ist ein Aufstand. Das Land galt bislang als Wasserstoffavantgarde und stand lange Zeit im Fokus der europäischen Wasserstoffambitionen. Aufgrund seiner Effizienz und vielversprechenden Ausgangsbedingungen hat Marokko Elektrolyseure, Mega-Solaranlagen und Pipelines nach Süden gelockt. Vieles davon wurde auf anderweitig genutztem Land realisiert, sodass bestehende Siedlungen, lokale Nomadenstämme oder vorherrschende Lebensmodelle verdrängt wurden. Nachdem in den vorangegangenen Jahren kleinere Proteste stattgefunden haben, verschärfen sich die Auseinandersetzungen, als erneut mehrere Landkonzessionen an europäische Unternehmen vergeben werden. Die Aufständischen stürmen Baustellen und Arbeiterunterkünfte, entführen das europäische Personal und drohen damit, die Entführten zu töten und Pipelines anzugreifen.

Die Ereignisse werden umgehend über die europäischen Nachrichtenkanäle verbreitet. Und dies ausgerechnet in einer Zeit, in der das Engagement für afrikanischen Wasserstoff ohnehin öffentlich in Frage gestellt wird, hauptsächlich aufgrund der explodierenden Kosten. Die EU-Mitgliedstaaten haben bereits mehr als vierzig Milliarden Euro allein in Marokko investiert. Europäische Regierungen fürchten den Todesstoß für die Wasserstoffwende, rezessionsauslösende Kreditausfälle und radikale politische Umschwünge. Um weitere Störungen zu verhindern, europäische Geiseln zu befreien und gegenüber der eigenen Bevölkerung Stärke zu demonstrieren, bittet die EU Marokko formell darum, die Eindämmungsmaßnahmen zu unterstützen. Marokko kommt der Bitte nach, hauptsächlich um die Wirtschaftsbeziehungen zur EU nicht zu gefährden. So starten EU-Mitgliedstaaten eine militärische Trainingsmission in der Region. Frankreich und Spanien liefern Rüstungsgüter wie Drohnen und leicht gepanzerte Fahrzeuge, um ihre Investitionen zu schützen und die Wasserstofflieferungen zu sichern.

Neokoloniale »authoritarian hydrogen bargains« entstehen: Unterstützung von Repression/Diktatur gegen Wasserstoffversorgung.

Der Aufstand flaut schnell ab, doch dessen Folgen wirken nach und prägen europäische (und globale) politische Entscheidungen im nächsten Jahrzehnt dauerhaft. Ungeachtet der raschen Reaktion stellen europäische Oppositionsführer die Energiepolitik in Frage. Der aufkommende Diskurs spiegelt den Aufschrei von 2022 wider, den Europas Abhängigkeit von Russland ausgelöst hatte. Analog zu jener Zeit werden drastische Maßnahmen gefordert, um weiterhin eine sichere Wasserstoffversorgung zu gewährleisten. Da die Investitionen irreversibel sind, sieht die europäische Führung keine andere Lösung, als den eingeschlagenen Weg weiterzugehen: Die errichtete Infrastruktur soll um jeden Preis erhalten bleiben. Um dieses Ziel zu erreichen, drängt die EU in einem impulsiven Schritt die Regierungen von Ländern mit ziviler Führung, die dauerhafte Präsenz europäischer Truppen zur Sicherung der Wasserstoffinfrastruktur zuzulassen. Gegenüber Militärdiktaturen (und Exportländern mit ähnlich dominanter Militärmacht) erklärt sich die EU damit einverstanden, ein neues Instrument der »Entwicklungspolitik« zu schaffen. Dieses Instrument garantiert pauschale Transfers finanzieller Mittel an Herrscher, die im Gegenzug die gesamte Wasserstoffproduktions- und -transportinfrastruktur uneingeschränkt schützen. Nichtregierungsorganisationen weltweit verurteilen die Militarisierung des Wasserstoffhandels und jenes Phänomen, das sie als neokolonialen »authoritarian hydrogen bargain« bezeichnen: die Unterstützung von Repression und Diktatur im Ausland als Gegenleistung für eine gesicherte Wasserstoffversorgung. Europäische Politiker sehen in dieser Situation jedoch keinen anderen Ausweg.

Die Ereignisse wirken über Europa hinaus und berühren dabei auch die bisher ungelösten Spannungen zwischen den Importeuren. Was jetzt geschieht, erinnert eindringlich daran, wie abhängig die Länder von ihren Exporteuren sind und dass angesichts der vielfältigen Natur der Wasserstoffwertschöpfungskette letztlich jeder von Problemen betroffen sein kann. Andererseits wissen die Akteure, dass ihre anhaltenden Streitigkeiten und unregulierten Expansionen die Konflikte weit über den Wasserstoffsektor hinaus verschärfen werden.

Gespräche über die Formalisierung der Zusammenarbeit und die geographische Verteilung von Tech-

nologien und Importen beginnen im Jahr 2031 und führen 2034 – zum Jubiläum des COP29-Meilensteins – zur feierlichen Gründung der Organisation der wasserstoffimportierenden Länder (OHIC) durch jene Staaten, die ursprünglich das Wasserstoffabkommen unterzeichnet haben. Die Organisation, offiziell als Diskussionsforum dargestellt, soll dazu dienen, die Spannungen zwischen den Mitgliedern abzubauen und sich auf eine Senkung der Importpreise zu einigen. Ihre Bestimmungen beruhen auf einem Oligopson-Mechanismus – analog zur Ölmarktstruktur, die zur Zeit der Seven Sisters geherrscht hat –, bei dem Importpreis-»Empfehlungen« abgegeben und Bedingungen wie Konzessionsgebühren für alle Mitglieder festgelegt werden. Darüber hinaus regelt die Organisation die Aufteilung der Exportländer, den Zugang zu kritischen Rohstoffen, die für die Produktion von Wasserstoff und erneuerbaren Energien benötigt werden, und die Aufteilung der Technologie entlang der Wertschöpfungskette unter den OHIC-Mitgliedsländern (oder gegenseitige Angebote zu wettbewerblichen Preisen).

Die OHIC-Mitglieder betrachten diesen neuen Rahmen als Chance, ihren Platz in der globalen Ordnung über den Wasserstoffbereich hinaus zu zementieren. Sie nutzen exportseitige Abhängigkeiten, die sich aus der Aufteilung der Wasserstoffkarte ergeben, um hegemoniale Beziehungen zu ihren jeweiligen Wasserstofflieferanten zu knüpfen. Das Geschäftsmodell ähnelt jenem, das die EU früher in Westafrika betrieben hat: Wasserstoff und Loyalität im Austausch für Geld und Regimeüberleben. Dies stärkt Autokratien und Militärdiktaturen, die Hauptempfänger von Wasserstoffeinnahmen sind und Exportsicherheit als Vorwand nutzen, um gegen Oppositionskräfte vorzugehen. Ähnlich wie im historischen Imperialismus fördern die vertieften Wirtschaftsbeziehungen in der Tat ein gewisses Maß an Industrialisierung in den exportierenden Nationen, doch die Sektoren sind von schlichter Natur und die Regionen bleiben abhängig vom globalen Norden, der als Eigentümer der Infrastruktur oder Verbraucher fungiert.

Russland hat sich bereits weit vor 2030 aus der Ukraine – die nun Mitglied des Europäischen Wirtschaftsraums ist – zurückgezogen, doch ist es ihm nicht gelungen, den Energiehandel mit dem Westen wieder aufzubauen oder bedeutend nach Süden auszuweiten. Die Konkurrenz mit der Golfregion hat zu einem Ölpreis von unter 40 US-Dollar pro Barrel geführt, die russische Ölindustrie ist daher kaum noch rentabel.

Im Jahr 2034 verkündet der kasachische Präsident überraschend, dass die Zukunft des Landes und der zentralasiatischen Region im Süden und Osten liegt – das Land will (ähnlich wie seine Nachbarn) mit anderen Worten nichts mehr mit Russland zu tun haben und bevorzugt eine Integration in Richtung Süd- und Ostasien. Japan nutzt den Moment und zwingt das einsame und verarmte Russland, Wasserstoffproduktions- und -exportanlagen in Sibirien für die Versorgung Japans zu errichten – ein Schritt, den die anderen OHIC-Mitglieder begrüßen, da er dazu beiträgt, die geographische Aufteilung der Produktionsgebiete unter den Mitgliedern voranzutreiben.

Die installierte Wasserstoffkapazität in der EU geht 2037 bereits über 60 GW hinaus, während die installierte Wasserstoffkapazität in Ländern, aus denen Europa importiert, rund 200 GW beträgt. Aufbauend auf der OHIC-Geographie weitet Europa seine Pipelinenetzwerke nach Afrika und nach Osteuropa aus, insbesondere in die Ukraine. Dies geschieht parallel zur inländischen Wasserstoffentwicklung. Auch die USA, China, Japan und Korea sind auf dem Weg der Dekarbonisierung und haben ihre inländischen Wasserstoffkapazitäten ausgebaut und die Wasserstoffimporte erhöht. Da sich diese Länder von fossilen Brennstoffen abwenden und die Wasserstoffentwicklung im Golf stagniert, isoliert sich die Golfregion zunehmend und geht (wieder) zur Nutzung der inländischen Öl- und Gasreserven über. Im Jahr 2038 gibt Saudi-Arabien offiziell sein »Net-Zero«-Ziel auf, Kuwait nimmt stolz ein neues ölbetriebenes Kraftwerk in Betrieb.

Bis zum Jahr 2040 haben sich Wasserstoffversorgungs-Cluster gebildet, der Wasserstoffhandel intensiviert sich weiter. Wasserstoff und seine primären Derivate werden sowohl über Pipelines als auch per Schiff transportiert. Während der Wasserstoffhandel hauptsächlich entlang einer Nord-Süd-Linie zwischen den Hegemonen und ihren jeweiligen Lieferanten stattfindet, ist der Wasserstoffmarkt Zentralasiens unter mehreren asiatischen Volkswirtschaften (Japan, Korea und China) aufgeteilt. Die Fortschritte auf dem Weg zu globalem Klimaschutz sind erheblich, obwohl einzelne Nationen ihren CO₂-Fußabdruck tatsächlich vergrößert haben. Das Potential von Wasserstoff als Mittel der Entwicklungspolitik wird immer noch häufig in wissenschaftlichen Arbeiten aufgezeigt. Doch die Realität vor Ort spricht eine andere Sprache, da die Liste der Wasserstoffexporteure und jene der von Korruption bzw. Armut geplagten Staaten viele Übereinstimmungen aufweisen.

Analyse und Auswertung der Szenarien

Die drei Szenarien, die radikale Entwicklungen nachzeichnen, beziehen sich auf ein breites Spektrum an Risiken, die mit den sich bereits manifestierenden (und teilweise konkurrierenden) Trends in der Wasserstoffpolitik und der globalen Ordnung einhergehen. Eine nähere Betrachtung der Szenarien und der darin eine Rolle spielenden Wirkungsketten ermöglicht es, ein Verständnis der Geopolitik des Wasserstoffs zu entwickeln, Zielkonflikte zu skizzieren und Ansätze zur Risikovermeidung zu finden.

Ambivalente Zukünfte: Klima und Entwicklung

Ein Querschnittsvergleich der Szenarien im Hinblick auf mögliche Ziele deutscher und europäischer Wasserstoffpolitik⁵⁵ (siehe Tabelle 1) zeigt die grundsätzlich ambivalente Natur von Wasserstoff auf. Einzig die Fortschritte beim Klimaschutz sind in allen Szenarien (annahmegemäß) groß, wenngleich mit Unterschieden. Nur im Szenario H2-Imperialismus wird Klimaschutz universal durch Wasserstoff erreicht; in den anderen beiden Szenarien tragen (regionale) Deindustrialisierung und Carbon-Management-Technologien zur Emissionsverringerung bei.

55 Die Bewertung der Szenarien, Zusammenhänge und Handlungsoptionen erfolgt aus der Sicht Deutschlands und Europas. Die hier aufgeführten Ziele – Klimaschutz, Technologieführerschaft, strategische Autonomie, Eindämmung der öffentlichen Kosten und Kosten der Wasserstoffversorgung, globale bzw. europäische ökonomische Entwicklung, soziopolitische Entwicklung und werteorientierter Handel – wurden dem politischen Diskurs entnommen. Sie wurden ebenfalls während des Vorschauprozesses durch die Teilnehmenden initial identifiziert. Zu einer Diskussion über mögliche Ziele von Wasserstoffimporten und die damit verbundenen Zielkonflikte siehe auch Ansari/Pepe, *Toward a Hydrogen Import Strategy for Germany and the EU* [wie Fn. 7].

Die Szenarien suggerieren auch, dass regionales Engagement für das Klima vom Pfad der Wasserstofftransformation abhängt. Die Golfstaaten etwa schwanken zwischen Dekarbonisierung und Re-Karbonisierung – in Abhängigkeit davon, wie sehr sie in die globale Energietransformation eingebunden sind und wie stark ihre Technologieoffenheit ausgeprägt ist. Weiterhin zeigt der Querschnittsvergleich, dass Europas Rolle als (Klima-)Technologieführer weder zwingend gegeben noch notwendig ist, sondern aktiv gestaltet werden muss.

Auch im Hinblick auf das Potential nachhaltiger Entwicklung ergibt sich ein ernüchterndes Bild. Keines der Szenarien weist auf eine positive soziopolitische Entwicklung infolge der Wasserstoffwende hin, da durch den Wasserstoffhandel internationale wie inländische Machtgefälle geschaffen oder verstärkt werden. Ökonomische Entwicklung ist mithin möglich. Jedoch ist es schwer, dem Nullsummenspiel der Industriereklokation zu entkommen: Signifikantes Wachstum außerhalb Europas geht in den Szenarien einher mit dem Exodus der europäischen Industrie. Nur in H2-Imperialismus kommt es umfassend zu Wachstum, allerdings mit der Einschränkung, dass dieses in Exportökonomien größtenteils infrastruktureller Herkunft ist und in exportnahen Sektoren erfolgt. Dies bedeutet, dass auch die negativen politökonomischen Folgen eines Ressourcenfluchs⁵⁶ eintreten können, die sich in der negativen soziopolitischen Entwicklung bereits widerspiegeln.

56 Der »Fluch der Ressourcen« (resource curse) ist ein entwicklungsökonomisches Phänomen. Es bedeutet, dass Rohstoffeinnahmen mit negativen (polit-)ökonomischen Folgen für ein Land einhergehen, häufig deshalb, weil die Ressourcen Institutionen erodieren lassen; siehe auch Frederick van der Ploeg, »Natural Resources: Curse or Blessing?«, in: *Journal of Economic Literature*, 49 (2011) 2, S. 366 – 420; Alycia Leonard et al., »Renewable Energy in Morocco: Assessing Risks to Avoid a Resource Curse«, in: *Social Science Research Network*, Februar 2022.

Tabelle 1: Querschnittsvergleich der Szenarien

↑ Zielerfüllung → kein signifikanter Effekt ↓ Verschlechterung

	Szenario		
	H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus
Kern des Szenarios	Deindustrialisierung, Degrowth und Bedeutungsverlust der EU beschleunigen und konterkarieren (energie-)politische Verflechtung Afro-Eurasiens	Wasserstoff-Alleingang der EU endet in konzentrierten Abhängigkeiten in vorgelagerten Lieferketten, die trotz Friendshoring europäische Autonomie einschränken	Rapider, durch Importeure forciertes Hochfahren des Wasserstoffs ohne initiale Wasserstoff-Governance mündet in Ökokolonialismus und Energieregionalisierung
Beobachtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Übererfüllung von EU-Klimazielen • Weniger Abhängigkeit von China • Herausbildung und Stärkung des Raums Afro-Eurasien inklusive ökonomischen Wachstums, aber mit Verlust von Pluralismus 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Koordination, kurzsichtiges Friendshoring und fehlende Überwachung von Lieferketten führen zu verborgenen Abhängigkeiten • EU-Wasserstoff-Governance ohne globales Äquivalent nur bedingt nützlich • Industriehalt und Infrastrukturausbau in der EU 	<ul style="list-style-type: none"> • Ökokolonialismus versteckt sich hinter oberflächlicher Entwicklung, Infrastrukturausbau und selektiver Industrialisierung im globalen Süden • Wasserstoff festigt Machtverhältnisse • Globale Entflechtung der Energie hin zu Raumsilos • Niedrige Wasserstoffpreise
Empfehlung für antizipatorischen strategischen Handlungsfokus	Industrie im Blick behalten	Wertschöpfungsketten im Blick behalten	Infrastruktur im Blick behalten
Effekt auf mögliche Ziele europäischer Wasserstoffpolitik			
Klimaschutz	↑	↑	↑
Technologieführerschaft	↓	↑	→
Strategische Autonomie	↓	→	↑
Öffentliche Kosten	↓	→	↑
Versorgungskosten	N/A	↑	↓
Ökonomische Entwicklung global	↑	→	→
Ökonomische Entwicklung EU	↓	→	↑
Soziopolitische Entwicklung	→	→	↓
Werteorientierter Handel	→	↑	↓

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

SWP Berlin
Die Geopolitik des Wasserstoffs
November 2023

Grafik 5

Wirkungskette im Szenario H2-Neuordnung: Handlungsfokus Industrie



Quelle: Szenarien »Geopolitik des Wasserstoffs«.

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Die Annahme, dass Wasserstoff einen entwicklungs-politischen Beitrag leisten könnte, ist also alles andere als gesichert. Diese Erkenntnis sollte unbedingt ernst genommen werden. Wie im Szenario besteht die Gefahr, dass sich Handlungsträger und Experten klassische Narrative autoritärer Regime zu eigen machen und Infrastrukturausbau und partielle Industrieansiedlung als Ersatz für Agency, die Ansiedlung von Wertschöpfungsketten und anspruchsvoller Industrie und für soziale Entwicklung verklären. Überdies zeigen die einzelnen Szenarien die ambivalenten Effekte der Wasserstoffnutzung auf und verweisen gleichzeitig auf erste Ansätze für Handlungsoptionen.

H2-Neuordnung: Wasserstoff zwischen Eurozentrismus und Raumverschiebungen

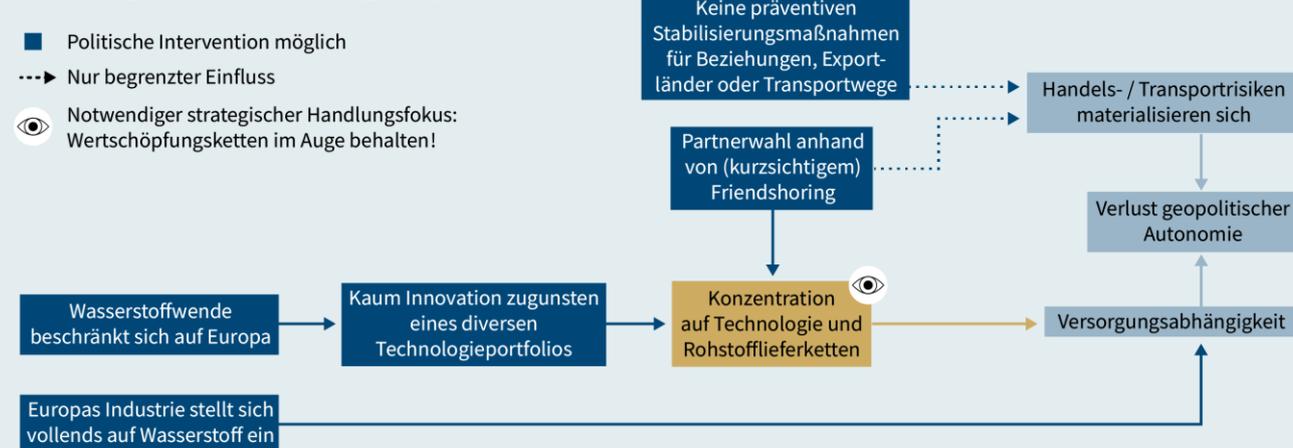
H2-Neuordnung zeigt eine Welt, die Europa nicht mehr gestalten kann – dies aber auch nicht mehr muss. Globale (ökonomische) Entwicklungen und Klimaschutz werden ohne europäisches Zutun vollzogen und dadurch sogar verbessert (siehe Tabelle 1). Da die EU beim Aufbau der Wasserstoffökonomie als Folge eines politischen Deadlocks und divergierender Präferenzen zurückfällt, wird ambitionierte Klimapolitik nicht mit Innovations- oder Industrieförderung flankiert (siehe Grafik 5). Das Ergebnis ist eine breit ausgreifende Deindustrialisierung, die sowohl den Verlust europäischer Technologieführerschaft

als auch den Abzug von Wertschöpfungsketten aus Europa bedeutet. Im Zuge dessen verschiebt sich der geoökonomische Schwerpunkt nach Afro-Eurasien. Das staatliche (Nicht-)Handeln verringert zwar Opportunitätskosten emissionsarmer Sektoren in Europa (zum Beispiel Informationstechnik), letztendlich überwiegt jedoch der magnetische Effekt von Kapital, Einfluss und Industrie. Dieser zieht schließlich auch Branchen wie Finanzen und Bildung in die östliche Hemisphäre. Die Wasserstoffwirtschaft ohne Europa fungiert hier als Katalysator geoökonomischer und geopolitischer Trends. Die Beziehungen zwischen der Golfregion und China drehen sich zunächst um Energie(-versorgung), mit der Zeit aber festigen sie eine neue Machtachse. In diesem Zusammenhang gewinnt auch die potentielle Rolle ressourcenreicher Mittelmächte im Indo-Pazifik an Bedeutung, beispielsweise diejenige Indonesiens.

Dieses Szenario zeigt einerseits, dass Eurozentrismus fehl am Platze ist. Andererseits sollte es von Entscheidungsträgern als warnender Hinweis darauf verstanden werden, dass Europas Position in der Energiewelt ebenso fragil ist wie die globale Ordnung – nur ein handlungsfähiges Europa kann eigene Ziele umsetzen. Dies bezieht sich auch auf philanthropische Ambitionen außerhalb Europas; im Szenario wird dieses Feld neuen Hegemonen überlassen. Die Handlungsfähigkeit Europas erodiert – nicht nur weil die Diplomatie an Bedeutung einbüßt, sondern auch weil die industrielle Stärke abnimmt. Ein wesentlicher Teil europäischer Einflussfähigkeit beruht

Grafik 6

Wirkungskette im Szenario H2-(Un-)Abhängigkeit: Handlungsfokus Wertschöpfungsketten



Quelle: Szenarien »Geopolitik des Wasserstoffs«.

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

auf Europas engmaschiger Einbindung in globale Lieferketten. Insofern illustriert das Szenario die Wechselwirkung von Technologieführerschaft, ökonomischer Stärke, Autonomie und Energie.

Aus europäischer Sicht muss sich ein strategischer Handlungsfokus auf die Industrie richten. Eine starke, breit aufgestellte Industrie sichert zum einen geopolitischen Einfluss, zum anderen die erreichten Lebensstandards. Das Szenario zeigt auf, dass der Prozess der Deindustrialisierung nur schwer zu stoppen ist, wenn er erst einmal eingesetzt hat – das hat mit irreversiblen Investitionsentscheidungen und der Abwanderung von Know-how zu tun. Politische Interventionen sollten daher möglichst am Anfang der Kette erfolgen. Neben der Sicherstellung handlungsfähiger Politik und der kritischen Auseinandersetzung mit Degrowth-Präferenzen – zwei weitere Handlungsfelder, deren Bearbeitung den Rahmen dieser Studie sprengen würde – stechen hier vor allem industriepolitische Maßnahmen wie Subventionen für die Wasserstoffwirtschaft, entsprechende Technologien und der Blick auf die Industrie als Ganze hervor.

H2-(Un-)Abhängigkeit: Friendshoring ist kein Ersatz für Diversifizierung

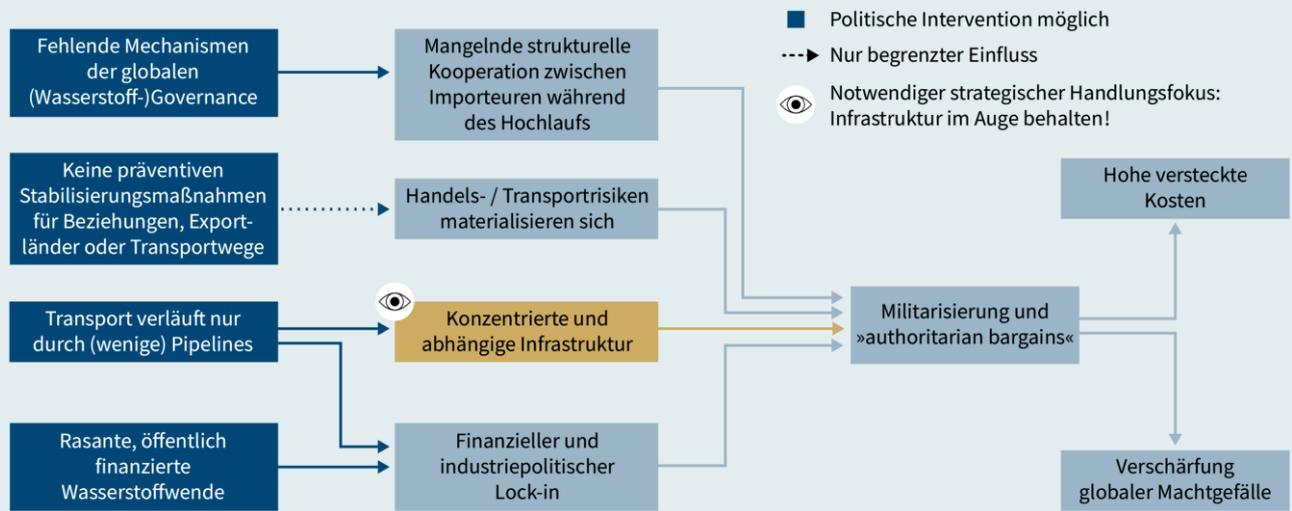
H2-(Un-)Abhängigkeit illustriert die zentrale Rolle von Wertschöpfungs- und Lieferketten, aber auch die Komplexität von Abhängigkeiten bei grünen Techno-

logien (siehe Tabelle 1). Zwar setzt die EU gezielt auf eine autarke Energieversorgung und damit auf maximale Eigenständigkeit, doch aus der fehlenden Diversifizierung von Technologien und Lieferketten resultiert der Verlust geopolitischer Autonomie (siehe Grafik 6). Die damit verbundenen Risiken müssen kartiert, diversifiziert und abgemildert werden. Voraussetzung für sinnvolle Überlegungen ist die Einsicht, dass Europa Abhängigkeiten nicht vermeiden kann, vor allem nicht allein dadurch, dass es zu grünen Technologien wechselt.

Spätestens im Kontext der Rohstoffversorgung ist Handel unvermeidbar – und wichtig, da ein eingekapseltes Europa zur Fragmentierung der Weltordnung beiträgt und damit seine Handlungsfähigkeit in anderen Bereichen einschränkt. Dies führt zur zweiten Erkenntnis dieses Szenarios: Kurzsichtigem Handeln in Verbindung mit wertebasierter Politik und Autonomie drohen viele Fallen und tote Winkel bei der Politikgestaltung. Wertegebundener Handel ist kaum mit Risikoverringern gleichzusetzen und dient nicht zwangsläufig dazu, gesetzte geopolitische Ziele zu erreichen: Demokratische Staaten sind weder inhärent stabiler als nichtdemokratische noch zwingend bessere Handelspartner. Wer jedoch bewusst das Vorhaben verfolgt, Handel an engen wertebasierten Allianzen auszurichten, beschleunigt die Erosion der Weltordnung. In jedem Fall zeigt dieses Szenario eindrucksvoll, dass Friendshoring keinesfalls als Ersatz für Diversifizierung und Stabilisierung angesehen werden darf.

Grafik 7

Wirkungskette im Szenario H2-Imperialismus: Handlungsfokus Infrastruktur



Quelle: Szenarien »Geopolitik des Wasserstoffs«.

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Der strategische Handlungsfokus liegt hier auf Wertschöpfungsketten. Außer mit Ansätzen zur Diversifizierung lässt sich das Risiko neuer Abhängigkeiten durch flankierende Stabilisierungsmaßnahmen (etwa vertiefte Diplomatie mit Rohstoff und Wasserstoff exportierenden Ländern oder Entwicklungszusammenarbeit mit ihnen) allenfalls verringern, jedoch nie vollständig vermeiden. Die Versorgungsabhängigkeit kann aber auch direkt angegangen werden, etwa mit nachfrageseitiger Diversifizierung: Durch eine parallele Nutzung von Erdgas und Elektrifizierung ließe sich der Lock-in bei Wasserstoff abwenden. Dies würde zwar Abhängigkeiten verringern, gleichzeitig aber die Systemkosten massiv in die Höhe treiben und den technologischen Fortschritt bei Wasserstoff behindern. Dieser Hebel sollte im Rahmen einer Wasserstoffwende also nur sehr vorsichtig genutzt werden. Möglich wäre es außerdem, alternative Wertschöpfungsketten zu fördern (zum Beispiel konkurrierende Elektrolyseure) oder auf eine globale Wasserstoffwende zu bauen. Letzteres würde eine Verbreiterung der Wertschöpfungsketten und die Entwicklung konkurrierender Technologien unterstützen, was wiederum konzentrierte Abhängigkeiten mindert. Hier sind verschiedene Instrumente wie Energie- und Klimapartnerschaften vorstellbar, ebenso globale Wasserstoff-Governance-Konzepte zur Förderung von Forschung, Handel und Investitionen.

H2-Imperialismus: Missmanagement und Spannungsentladung im globalen Süden

In einer Welt, die im Zeichen des H2-Imperialismus steht, schafft es die EU, ihren Einfluss auszubauen, Klimaschutz und ökonomische Entwicklung voranzutreiben und einen lebendigen Wasserstoffmarkt zu schaffen (siehe Tabelle 1). Bemerkenswert ist dabei: Die Verteilung von Technologieführerschaft hat enorme Lernkurveneffekte mit Blick auf das Ziel ermöglicht, weltweit über günstigen Wasserstoff zu verfügen. Allerdings beinhaltet dieses Szenario eigene Problempfade, die denen des vorherigen Szenarios nicht unähnlich sind (siehe Grafik 6 und 7).

Zu Beginn des Szenarios herrscht ein konfrontatives Klima vor (siehe Grafik 7), gepaart mit fehlenden Governance-Mechanismen. Diese Konstellation erweist sich als Nachteil: einerseits wegen der mangelnden globalen Kooperation, andererseits weil sie zur Militarisierung des Wasserstoffhandels führt. Der Wasserstoffimperialismus belastet nicht nur die Agency in Exportländern und trägt zur Verschärfung globaler Machtgefälle bei, er verursacht außerdem hohe Kosten (zum Beispiel Militärausgaben), die nicht in den Preis von Wasserstoff einkalkuliert sind.

Die Etablierung des Wasserstoffoligopsons im Szenario zeigt, dass Inkonsistenzen zwischen Energie- und Geopolitik nicht langfristig Bestand haben kön-

nen: Das (in diesem Szenario) kooperative Energiesystem musste in ein kooperatives geopolitisches Framework eingehen, ansonsten drohte es zu zerfallen. Dieser begrenzt stabilen Konstellation könnte ebenfalls durch früh eingerichtete Governance-Strukturen im Wasserstoffmarkt entgegengewirkt werden. In der Folge würden etwaige Bedingungen, die auf eine Militarisierung hinauslaufen, gar nicht erst entstehen. Weiterhin könnte die Gefahr eines Zwischenfalls in der Lieferkette durch flankierende Maßnahmen der Diplomatie oder Entwicklungszusammenarbeit zumindest teilweise verringert werden.

Beide Maßnahmen sind jedoch nur bedingt in der Lage, die Eskalationsspirale zu stoppen. Die Problematik liegt hier darin, dass eine schnelle Transformation und der Fokus auf eine begrenzte Anzahl von Pipelines eine starke Wasserstoffabhängigkeit bedingen und die Errichtung einer konzentrierten Infrastruktur erfordern. Analog zum vorherigen Szenario könnte diesem Lock-in durch eine Entschleunigung der Wasserstoffwende oder nachfrageseitige Diversifizierung entgegengewirkt werden. Dies würde allerdings mit den zuvor beschriebenen massiven Einschränkungen einhergehen. In diesem Fall liegt der strategische Handlungsfokus auf der Infrastruktur.

In der kommenden Dekade wird es kaum möglich sein, ein diversifiziertes Netz an Pipelines zu schaffen – mit den wenigen existierenden ist daher in diesem Zeitraum eine enorme Abhängigkeit verbunden. Als Handlungsoption steht deshalb vor allem die Errichtung alternativer Transportwege an, insbesondere für den maritimen Wasserstoffhandel.

Handlungsempfehlungen für eine proaktive Wasserstoffpolitik

Die Analyse der Szenarien bestätigt, dass die Trends, die bereits in der Geopolitik der Energiewende wirksam sind, die Wasserstoffwelt ebenfalls prägen werden und dass das Zusammenspiel von Ressourcen, Technologie, Macht und Weltordnung auch in der Wasserstoffökonomie zentral ist. Ebenso wie bei erneuerbaren Energien im Allgemeinen sind auch in der Wasserstoffökonomie Technologie, Standards und Industrieführerschaft potentiell wichtiger als konzentrierte Energieressourcen. Wasserstoff ist indes noch stärker von Ambivalenz und Komplexität geprägt. Vielstufige Lieferketten, technologiespezifische Wertschöpfungsketten und eine diverse Akteurs-topographie resultieren in schwer überschaubaren Machtstrukturen und befeuern den Wettbewerb um die Gestaltung von Pfadabhängigkeiten im eigenen Sinne. Dabei kann es in der hier skizzierten Geopolitik des Wasserstoffs durchaus passieren, dass sich Abhängigkeiten symmetrischer herausbilden als in der »alten« Energiewelt. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass sich Interdependenzen lediglich verlagern; möglich ist auch eine Stärkung aktueller Akteure, je nach eingeschlagenem Pfad. Vor allem die zunehmende Relevanz von Rohstoffexporteuren fällt in den Szenarien auf. Zugleich wird sichtbar, wie viel Geo-, Energie- und Klimapolitik in den kommenden Jahren unabhängig von Europa stattfinden kann – entsprechend auch, welche Bedeutung proaktives und antizipatorisches Handeln hat.

Empfehlungen lassen sich aus den Ergebnissen der bisherigen Analyse und einer »Windtunnelling«-Analyse (siehe Anhang) ableiten. Letztere steuert robuste Ideen für die Politik bei, also Ansätze, die in möglichst vielen Szenarien nützlich und in keinem Szenario schädlich sind. Gleichzeitig können und sollten Maßnahmen im Zuge der fortschreitenden Zeit auf die sich manifestierende Zukunft zugeschnitten wer-

den. Indikatoren (siehe Anhang) helfen den Beobachtern und Entscheidungsträgern bei ihren Bemühungen, die sich herauskristallisierenden Zukünfte zu erkennen, um rechtzeitig intervenieren zu können.

Auf Basis der Analyse ergeben sich für Deutschland und die EU vier große Handlungsfelder und Maximen.

Präferenzen wahrnehmen und Realitäten anerkennen. Um Energiebeziehungen zielführend, antizipatorisch und risikomindernd gestalten zu können, müssen die unterschiedlichen Präferenzen und Motive nichteuropäischer Akteure verstanden und anerkannt werden. Das erfordert allerdings einen Paradigmenwechsel. Aktuell verzerrt ein häufig eurozentrischer Blick auf den Sektor das Verständnis und grenzt insofern die Gestaltungsmöglichkeiten ein.

Dabei ist beispielsweise ein Monieren fehlender Klimaschutzintentionen in Exportländern ebenso wenig zielführend wie der Hinweis, dass diese Länder zuerst ihre eigenen Stromsysteme dekarbonisieren sollten. Letzteres Ansinnen wird meist als neokolonial-paternalistisch aufgefasst und könnte die Bereitschaft zu Klimaschutzmaßnahmen vermindern. Zudem sind derartige Top-down-Ansätze für den internationalen Klimaschutz unerheblich: Auch wenn Wasserstoffexporte ausbleiben, bedeutet dies nicht (zwingend), dass potenzielle Exportländer stattdessen ihre Wirtschaft dekarbonisieren werden. Sowohl mit Blick auf den Wasserstoffhochlauf als auch den Klimaschutz sollte den Präferenzen von Exporteuren daher pragmatisch und kompromissbereit begegnet werden.

Ein solcher Realismus sollte sich auch in der Partnerwahl widerspiegeln. Kleinere, einkommensschwächere Länder sind gegebenenfalls auf lange Sicht relevant, werden mangels Voraussetzungen bei Finanzierung, Erfahrung und Infrastruktur aber kaum

beim Hochfahren des Wasserstoffsektors hilfreich sein. Vielen prospektiven Wasserstoffexporteuren stehen auch andere Optionen offen, die sie zuungunsten Europas zunehmend bevorzugen. Eine Zielüberfrachtung der Wasserstoffpolitik ist insofern problematisch, als die vielfältigen Ambitionen, die im Zusammenhang mit ihr diskutiert werden, häufig nicht trivial oder gleichzeitig zu realisieren sind – das gilt etwa für eine Werteorientierung oder für nachhaltige Entwicklung. Letztere ist keineswegs ein Automatismus, sondern erfordert gut abgestimmte Politik und Kooperation, die Agency und die Herausbildung anspruchsvoller Wertschöpfungsketten im Partnerland fördern. Daher sollte sich Europa im Wettstreit um die Etablierung regulatorischer Standards und den Markthochlauf flexibler und agiler zeigen. Sonst werden andere Akteure Marktform, Technologien, Standards und damit gegebenenfalls auch neue Machträume und -strukturen definieren.

Technologien und Industrien gezielt fördern.

Eine Förderung von Technologien und Industrie wird für eine erfolgreiche Wasserstoffwende und das Management ihrer Risiken in jedem Fall erforderlich sein. Wasserstoff- und Klimaschutzziele sind nur bei ausreichend schneller Innovation erreichbar; und die Erhaltung von Industriekapazitäten hat auch unter geopolitischen Gesichtspunkten Bedeutung. Im Hinblick auf den um sich greifenden Protektionismus in anderen Industrienationen ist Förderung nötig, um die europäische Technologieführerschaft aufrechtzuerhalten. Sie sollte jedoch gut durchdacht sein: Eine willkürliche und allumfassende Förderung nach dem Gießkannenprinzip würde sich – je nach Szenario – als kontraproduktiv erweisen.

Als robuste Maßnahme kann die bereits in Teilen umgesetzte Unterstützung der Industrie beim Umstieg auf Wasserstoff gelten. Sie bringt die Wasserstoffwende unabhängig von Technologiewahl, geopolitischem Klima oder dem Erfolg der europäischen Wasserstoffproduktion voran. Weiterhin empfiehlt sich eine Förderung der CCS-Technologie, zumal CCS diverse Technologiepfade offenhält. Bei einer langsamen Entwicklung der Wasserstoffökonomie ließe sich CCS auch fernab des Wasserstoffs nutzen. Geht es schneller voran, ermöglicht es CCS, konzentrierte Abhängigkeiten entlang der Wertschöpfungskette für erneuerbaren Wasserstoff (Solarenergie, Elektrolyseure oder Wasserstoffimporte selbst) abzubauen.

Die Förderung anderer Technologien ist nur bedingt empfehlenswert und hängt vom Entwicklungspfad des Wasserstoffsektors und vom geopolitischen

Umfeld ab. Strom- und Gassubventionen etwa, wie sie seit den Preiskrisen im Jahr 2022 diskutiert und teils implementiert wurden, verhindern zwar Deindustrialisierung, sind jedoch mit hohen Kosten verbunden und bremsen die Transformation der Industrie aus. Die in Europa populäre PEM-Elektrolysetechnologie sollte vor allem bei einer global verteilten, kooperativen Wertschöpfungskette eingesetzt werden und könnte hier Technologieführerschaft sichern. Alternative, noch unausgereifte Elektrolysetechnologien sollten unterstützt werden, wenn asymmetrische Abhängigkeiten bestehen, etwa im Rohstoffsektor – also auch im Fall eines europäischen Alleingangs bei Wasserstoff. Konkurrierende Technologiepfade (und damit auch Lieferketten) erlauben es, Risiken zu streuen, wenn auf andere Art keine Diversifizierung möglich ist – so würde etwa eine alleinige Prävalenz von PEM-Elektrolyseuren kaum zu streuende Risiken in Rohstofflieferketten zur Folge haben, was die europäische Autonomie einschränken könnte.

Abhängigkeiten aktiv gestalten. Die Szenarien illustrieren, dass erneuerbare Energien und Wasserstoff die herrschenden Abhängigkeiten nicht verringern (oder sogar beenden); vielmehr bilden sich neue Interdependenzen oder es intensivieren sich bereits bestehende. Erneuerbarer Wasserstoff ist nicht zwangsläufig mit weniger Abhängigkeiten verbunden als Öl und Gas, sie sind lediglich anders verteilt: So steigt vor allem die Abhängigkeit von Rohstoffen und Komponenten. Ein vollständiges Decoupling ist weder machbar noch sinnvoll; selbst ein Rückzug aus der Wasserstoffwende könnte im Zuge energieintensiver Güterimporte Abhängigkeiten mit sich bringen. Es treten mit anderen Worten neue Risiken auf, die von der EU und Deutschland aktiv gestaltet werden müssen. Dies erfordert einen sektorübergreifenden, Wertschöpfungsketten umfassend berücksichtigenden Blick, der sowohl auf die kurze wie auch die lange Perspektive gerichtet ist. Dazu zählt ein aktives Management von Rohstofflieferketten – einschließlich der Verhüttungs- und Veredelungsprozesse.

Hauptansatzpunkt des Abhängigkeitsmanagements muss die physische Diversifizierung von Technologie-, Rohstoff- und Energieimporten sein – es empfiehlt sich also, auf eine größere Zahl von Partnern zu setzen. Friendshoring sollte keineswegs als Ersatz für eine solche Diversifizierung akzeptiert werden. Auch (vermeintlich) gleichgesinnte Partner können ihre Positionen radikal ändern; mit (Transport-)Risiken entlang der Lieferkette ist stets zu rechnen, und Staatsformen oder Werte bedingen nicht zwangs-

läufig einen bestimmten Grad von (In-)Stabilität oder (Un-)Zuverlässigkeit des Handels. Welche weiteren konkreten Handlungsempfehlungen sinnvoll sind, ergibt sich auch in diesem Fall aus den jeweiligen Marktentwicklungen. So können etwa Wasserstoffimporte die Resilienz fördern, wenn mit ihnen Abhängigkeiten auf anderen Ebenen der Wertschöpfungskette abgebaut werden. Der maritime Transport von Wasserstoff muss nicht zwingend durch Pipeline-Transport ergänzt werden; Pipelines wiederum sollten angesichts ihrer Rigidität durch maritimen Transportmittel komplementiert werden.

Indirekte Maßnahmen zur Risikoverminderung sind ebenfalls wichtig. Zusätzlich zur Diversifizierung – aber keineswegs als deren Ersatz – sind flankierende Maßnahmen der Entwicklungspolitik und Diplomatie mit Blick auf Rohstoff-, Technologie- und Wasserstoffexporteure eine robuste Politikempfehlung. Je nach Technologie- und Partnerwahl ginge es um Maßnahmen wie beispielsweise die Stabilisierung der Beziehungen zu Algerien, die Unterstützung der Bevölkerung in Südafrika oder eine Rohstoffpartnerschaft mit Indonesien.⁵⁷ Solche Maßnahmen fördern zumindest nachhaltige Entwicklung und Diplomatie; im besten Fall verhindern sie eine Destabilisierung der Versorgung. Jedoch müssen sie auch die lokal wahrgenommenen Bedürfnisse berücksichtigen und vor dem Wasserstoffhandel kommen. Aber Achtung: Paternalistische Interventionen könnten ineffektiv oder sogar schädlich sein; das gilt etwa für die allzu ambitionierten europäischen Nachhaltigkeitskriterien in Szenario H2-(Un-)Abhängigkeit.

Globale Wasserstoff-Governance aufbauen.

Schließlich sollten die EU und Deutschland aktiv am Aufbau einer (möglichst globalen) Wasserstoff-Governance arbeiten. Sie ermöglicht es, Investitionen in ausreichender Höhe und am richtigen Ort einzusetzen (und damit zu einer raschen Entwicklung von Lieferketten und zur Kostendegression beizutragen). Gleichzeitig federt eine solche Governance die Auswirkungen eines konfrontativen geopolitischen Klimas ab. Eine fortschreitende Fragmentierung des Marktes im Zuge der Wasserstoffwende birgt das Risiko asymmetrischer Interdependenzen, von Fehlinvestitionen und Sicherheitszwischenfällen.

Ein konkreter, robuster Ansatz für solche Governance wäre eine Wasserstoffallianz,⁵⁸ ein multilateraler Handelsclub potentieller wichtiger Importeure und Exporteure. Die Allianz könnte auf angekündigten Institutionen wie der Europäischen Wasserstoffbank aufbauen. Ihre Aufgabe wäre es, Konsistenz in die Produkt- und Vertragszertifizierung zu bringen und den Wasserstoffhandel regulatorisch und standardisiert auszurichten. Die Clubmitglieder würden in einem Zweistufensystem ausgewählt. Dabei wird die jeweilige Fähigkeit und Bereitschaft geprüft, Wasserstoff zu produzieren und zu handeln, um auf diese Weise schnelle Erstanwender (Accelerator) und längerfristige Nachzügler (Incubator) zu identifizieren und entsprechend einzubinden. Das System soll dazu dienen, sowohl kurzfristige als auch langfristige Ziele einer Umstellung auf Wasserstoff zu unterstützen, und eröffnet gleichzeitig Möglichkeiten für technologischen Austausch und den Abbau möglicher Zielkonflikte.

Die hier skizzierte Geopolitik des Wasserstoffs und die dargestellten vielen Herausforderungen, die mit ihr verbunden sind, werfen die Grundsatzfrage auf, inwieweit eine Wasserstoffwende notwendig ist bzw. überhaupt in Angriff genommen werden sollte. Prinzipiell wären auch Zukünfte denkbar, in denen andere Technologien und Technologiekombinationen zur Klimaneutralität führen können. Allerdings bleibt Wasserstoff der vergleichsweise reife und gradlinigste Ansatz, um auch die Schwerindustrie zu dekarbonisieren. Europa bietet die Wasserstoffökonomie zudem einzigartige Chancen. Neben Elektrifizierung und Energieeffizienz kann emissionsarmer Wasserstoff eine zentrale und eigenständige Säule der Energietransformation Europas sein. Das gilt insbesondere dann, wenn Deutschland und die EU nicht nur die Vision eines klimaneutralen Kontinents verwirklichen, sondern zugleich auch energieintensive Industrien erhalten, Technologieführer bleiben, weiterhin Standards setzen und Leitmarkt für neue Industrien werden möchten. Die Aussicht darauf, diese Chancen nutzen zu können, sollte Grund genug sein, um vorausschauend und proaktiv die zahlreichen Zielkonflikte, Ambivalenzen und Herausforderungen der sich abzeichnenden Geopolitik des Wasserstoffs anzugehen.

⁵⁷ Zu den möglichen Allianzen der Bundesregierung im Rohstoffsektor siehe Dawud Ansari et al., *Auf Partnersuche: neue Allianzen im Rohstoffsektor*, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik, Juni 2023 (SWP 360 Grad).

⁵⁸ Ansari / Pepe, *Toward a Hydrogen Import Strategy for Germany and the EU* [wie Fn. 7].

Anhang

Methodik und Vorschauprozess

Die Szenariogestaltung ist üblicherweise ein mehrstufiger Prozess, in dem kollaborative und partizipative Techniken angewendet werden. Sie dienen der Förderung von Kreativität und Antizipation und sollen dabei den Einfluss von Vorurteilen und Voreingenommenheiten (Bias) reduzieren. Die hier dargestellten Szenarien wurden im Rahmen eines achtstufigen Verfahrens erarbeitet:

- Abgrenzung
- Umfeldanalyse
- Faktorenbewertung
- Projektionenbildung
- Szenariokonstruktion
- Szenarioentwicklung
- Analyse und Bewertung der Szenarien
- Nachbearbeitung

Der Prozess dauerte etwa ein Jahr. Er wurde von einem professionellen Moderator – dem Unternehmen Foresight Intelligence – begleitet. Eine ausreichende Diversität der Gruppe, in der auch unabhängige Personen vertreten waren, konnte als eines der Qualitätsmerkmale des Szenarioprozesses zur Verringerung von Bias gewährleistet werden: Von den 16 Teilnehmenden (einschließlich der Moderatoren und Studienautoren) waren 32 Prozent weiblich, 44 Prozent hatten einen (teils) nichteuropäischen Hintergrund. An akademischen Fakultäten waren Politik(-wissenschaften), Volkswirtschaftslehre, Finanzen, Geschichte sowie Natur- und Technikwissenschaften vertreten; zehn Personen hatten eine interdisziplinäre akademische Laufbahn absolviert. Die Teilnehmenden kamen aus den Branchen angewandte Forschung, Unternehmens- und Politikberatung, Energieunternehmen, Politik, Entwicklungszusammenarbeit und Verwaltung.

Der Prozess begann mit der Abgrenzung von Forschungsfragen und Themen; hierzu führten der Moderator und die Autoren von Juni bis September 2022 Literatur- und Politikrecherchen durch. Für die Umfeldanalyse wurde Anfang September 2022 eine

Onlinebefragung durchgeführt: Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, Faktoren zu nennen, die nach ihrer Meinung die Geoökonomie des Wasserstoffs beeinflussen. Genannt wurden insgesamt mehr als 100 Faktoren, die der Moderator auf 42 verdichtete.

Mitte September 2022 fand die Faktorenbewertung während eines virtuellen Meetings der Teilnehmenden statt. In Zweiergruppen bewerteten die Teilnehmenden die 42 erarbeiteten Faktoren nach Einfluss und Unsicherheit und bestimmten die sechs wichtigsten Schlüsselfaktoren in beiden Kategorien.

Projektionenbildung, Szenariokonstruktion und Szenarioentwicklung erfolgten Ende September 2022 in einer zweitägigen Tagung an der SWP. Zunächst wurden in Zweierarbeitsgruppen sich gegenseitig ausschließende Manifestierungen der zuvor identifizierten Schlüsselunsicherheiten (sogenannte Projektionen) erstellt. Anschließend wählte die Gesamtgruppe der Teilnehmenden nach den Kriterien (i) Konsistenz, (ii) Plausibilität und (iii) Relevanz vier Szenarien aus, die jeweils Kombinationen der identifizierten Projektionen darstellen (siehe Tabelle 2). Aus diesen wiederum wurden drei Szenarien bestimmt, die von je einer Arbeitsgruppe über Rückprojektionen als »Rohszenarien« (grobe, plausible Abfolgen von Ereignissen bis hin zu einem Endzustand) ausgearbeitet wurden.

Analyse und Bewertung der Szenarien begannen bei der oben erwähnten Tagung und wurden auf einer weiteren Tagung im November 2022 fortgesetzt. Dabei identifizierten die Arbeitsgruppen Risiken und Chancen für die jeweiligen Szenarien aus der Sicht deutscher und europäischer Entscheidungsträger.

Im nächsten Schritt schlugen die Arbeitsgruppen mögliche strategische Optionen für das Management der Szenarien vor und evaluierten diese in der Gesamtschau der Szenarien mittels einer »Windtunnelling«-Übung (siehe Tabelle 3). Dabei betrachteten sie mögliche Maßnahmen und ihre Effekte in sämtlichen Szenarien, um diejenigen Maßnahmen zu identifizieren, die sich in allen drei Varianten als sinnvoll erweisen. Als robust gelten Maßnahmen, die in den drei erarbeiteten Szenarien zielführend (oder zu-

mindest nicht schädlich) sind. Hätte eine Maßnahme in mindestens einem Szenario einen schädlichen Effekt, wäre sie nicht robust und sollte von Entscheidungsträgern nur unter Vorbehalt implementiert werden.

Die Nachbearbeitung der Szenarien fand von November 2022 bis Juli 2023 statt. Bis Dezember 2022 fasste der Moderator die Ergebnisse des Prozesses schriftlich zusammen. Von Januar bis Juni 2023 arbeiteten die Autoren die Szenarien schriftlich aus, schärfen und verfeinerten sie. Dabei schlossen sie – auch mithilfe von Sekundärliteratur – (Plausibilitäts-)Lücken der Szenarien, bezogen neue Akteure und Ereignisketten ein bzw. vertieften sie und führten eine neue strategische Analyse durch. Um aktuellen Politikentwicklungen Rechnung zu tragen, wurde der Zeithorizont der Szenarien von 2035 auf 2040 ausgedehnt und ihr Fokus von Geoökonomie auf Geopolitik erweitert. Abschließend wurde auch die Windtunnelling-Analyse (siehe Tabelle 3) aktualisiert und erweitert und eine Reihe von Indikatoren (siehe Tabelle 4) festgelegt. Jene Indikatoren ermöglichen es Beobachtern und Entscheidungsträgern, nachzuvollziehen, welches Szenario (bzw. welche Mischung aus mehreren) sich letztendlich in der Realität manifestieren wird.

Um den partizipativen Charakter bei der Entwicklung der Szenarien zu unterstützen, wurden im Juli 2023 weitere Regionalexperten der SWP sowie die Teilnehmenden des Vorschauprozesses eingeladen, den erarbeiteten Entwurf kritisch zu begutachten.

Teilnehmende am Vorausschauprozess und Danksagungen

Der für die Studie durchgeführte Prozess der strategischen Vorausschau stützte sich auf die wertvollen Beiträge aller beteiligten Teilnehmenden. Die Expertise und die tiefgründigen Einblicke, die diese Expertinnen und Experten eingebracht haben, trugen wesentlich zur Qualität und Tiefe dieser Studie bei. Das Autorenteam und die SWP bedanken sich herzlich für die ausführliche Vorbereitung, die engagierte Mitarbeit und die wertvollen Hinweise, die eine wichtige Grundlage für die Szenarien waren und bei deren Ausarbeitung – mit dem Einverständnis und dem Feedback der betreffenden Personen – mit größter Sorgfalt behandelt wurden. Die Teilnehmenden haben der Veröffentlichung ihrer Namen zugestimmt:

- **Jochen Bard**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-(Un-)Abhängigkeit
- **Anne-Sophie Corbeau**, Mitarbeit im Prozess und am Szenario H2-Imperialismus
- **Gniewomir Flis**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-Neuordnung
- **Johannes Gabriel**, Moderation, Vorbereitung, Nachbereitung
- **Julian Grinschgl**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-Neuordnung
- **Marcel Hadeed**, Moderation und Nachbereitung
- **Rainer Quitzow**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-Neuordnung
- **Laurent Ruseckas**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-Neuordnung
- **Manal Shehabi**, Mitarbeit im Prozess und am Szenario H2-Imperialismus
- **Manuel Villavicencio**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-(Un-)Abhängigkeit
- **Kirsten Westphal**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-(Un-)Abhängigkeit
- **Yana Zabanova**, Mitarbeit im Prozess und am Rohszenario H2-(Un-)Abhängigkeit

Tabelle 2: Projektionen und Annahmen in den Szenarien

Projektionen	Referenz	Szenario   		
		H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus
Globale Nachfrage nach klimafreundlichem Wasserstoff	EU und zentrale, große Volkswirtschaften	Große und aufstrebende Volkswirtschaften außer EU	(Fast) nur EU	EU und andere große Volkswirtschaften
Geopolitische Mächte und Beziehungen	Neue Mächte und Konflikte	Neue Mächte und Konflikte	Aktuelle Großmächte und Konflikte	Aktuelle Großmächte und Kollaboration
Fokus und Konzentration klimafreundlicher Innovations- und Wertschöpfungsketten	Fokus auf verschiedene Technologien und globalisierte Wertschöpfungsketten	Fokus auf Wasserstoff und konzentrierte Wertschöpfungsketten	Fokus auf diversen klimafreundlichen Technologien und konzentrierte Wertschöpfungsketten	Fokus auf Wasserstoff und globalisierte Wertschöpfungsketten
Ausmaß und Art des internationalen Handels mit klimafreundlichem Wasserstoff und notwendige Infrastruktur	Mäßiger internationaler Transport von Wasserstoff (-derivaten), vor allem per Schiff	Mäßiger internationaler Transport von Wasserstoff (-derivaten), vor allem per Schiff	Wenig bis gar kein Handel mit Wasserstoff(-derivaten) und keine grenzüberschreitende Infrastruktur für Handel	Übermäßiger globaler Handel mit Wasserstoff (-derivat) durch Netz von Pipelines und Schifffahrtswegen
Knappeit und Konzentration von Rohstoffabbau- und Raffineriekapazitäten für erneuerbare Energien und Wasserstoff	Unzureichende und konzentrierte Kapazitäten	Ausreichende, aber konzentrierte Kapazitäten	Unzureichende und konzentrierte Kapazitäten	Ausreichende und verteilte Kapazitäten
Globaler Umfang der Wasserstoffexporte	Wenige Exporteure (z. B. USA, Kanada, Australien, Golfstaaten) und bilateraler Handel	Relativ viele Exporteure (z. B. USA, Kanada, Australien, Golfstaaten, einige aufstrebende Länder)	Fast keine Exporteure	Viele Exporteure (z. B. USA, Kanada, Australien, viele aufstrebende Länder)
Annahmen				
Zugang zu Kapital	Gegeben			
Rolle des Staates beim Entstehen der Wasserstoffwirtschaft	Wichtig			

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Tabelle 3: Ergebnisse der Windtunnelling-Analyse

Maßnahme ...

ist sehr hilfreich
 ist leicht hilfreich
 hat ausgeglichenen oder keinen Effekt
 ist leicht schädlich
 ist sehr schädlich
 ist antizipatorisch robust
 ist antizipatorisch nicht robust

Politikfeld	Maßnahme	Szenario			Gesamtbewertung
		H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus	
Industrie- und Innovationspolitik	Subventionen für Strom oder Gas				
	Förderung für die Umrüstung auf Wasserstoff				
	Förderung der PEM-Elektrolyseur-Industrie				
	Förderung (z. B. Forschung) für noch nicht markt-reife Elektrolyseur-Technologien				
	Onshoring/Aufbau AEL-Wertschöpfungsketten				
	CCS-Förderung in EU				
Infrastrukturpolitik	Paralleler Ausbau aller Importinfrastrukturen				
Diplomatie und Entwicklungspolitik	Stabilisierungsmaßnahmen bei Rohstoff- und Wasserstoffexporteuren				
Sektorale Governance	Etablierung einer »Wasserstoff-Allianz«				

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Tabelle 4a: Indikatoren

	Szenario 		
	H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus
Dimension Wirtschaft und Industrie	Hohe Gas- und Elektrizitätspreise, schädigen Europas Wirtschaft	Hohe Kosten der Wasserstoffwende belasten Europas Finanzen	
	Umfassender Arbeitsplatzrückgang in Europa; umfassende Arbeitsplatzstehung in Afro-Eurasien	Neue Arbeitsplätze in Europa im Wasserstoffsektor	Weltweite Schaffung neuer Arbeitsplätze im Wasserstoffsektor
	Tiefgreifender sektoraler Wandel und ökonomische Entwicklung in mehreren Entwicklungs- und Schwellenökonomien		Nur oberflächliche ökonomische Entwicklung bei Wasserstoff-exporteuren
	Schließung von Chemie-/Stahlfabriken in Europa und deren Wiedereröffnung in anderen Teilen der Welt	Erhalt der Schwerindustrie und des Industriestandorts Europa	Flourierende Schwerindustrie in Europa
	Global konfrontatives Verhalten in der Wasserstoffökonomie	Keine globale Dimension der Wasserstoffökonomie	Global kooperatives Verhalten in der Wasserstoffökonomie
	Ausgewogene Bezugskosten für Wasserstoff	Hohe Bezugskosten für Wasserstoff	Niedrige Bezugskosten für Wasserstoff, allerdings hohe öffentliche Kosten für Sicherheit
	Arabische Golfstaaten entwickeln sich zu zentralen Wirtschaftsmächten und integrieren sich in neue intraasiatische Energie-, Finanz- und Güterhandelsmuster		Arabische Golfstaaten zunehmend marginalisiert in Industrie und Energie
Dimension Energiehandel	Europäische Importe fokussiert auf energieintensive Produkte	Europäische Importe fokussiert auf Rohstoffe	Europäische Importe fokussiert auf Wasserstoff und dessen Derivate
	Wasserstoffhandel per Schiff und vereinzelt auch per Pipeline	Kaum Wasserstoffhandel	Wasserstoffhandel, je nach Geographie, gleichermaßen über Pipelines oder per Schiff
	Bildung von Handelskorridoren für Rohstoffe, Elektrolyseure und Wasserstoff abseits vom Westen	Kein globaler Handel mit Wasserstoff, aber EU-Handelskorridor mit Rohstoffen	Wasserstoff-, Derivat- und Rohstoffhandel entlang mehrerer Nord-Süd-Achsen
	Moderater Handel mit fossilen Brennstoffen	Intensiver Handel mit fossilen Brennstoffen	Geringer Handel mit fossilen Brennstoffen
	Kaum handelspolitische Autonomie für Europa	(Bedingte) handelspolitische Autonomie Europas und stark ausgeprägte Werteorientierung des (Energie-)Handels	Tendenziell hohe handelspolitische Autonomie Europas bei geringer Werteorientierung des (Energie-)Handels
Dimension Recht und Institutionen	Beschränkte Regulierung eines globalen Wasserstoffmarktes, etwa CBAMs oder Standards	Starke Regulierung eines europäischen Wasserstoffmarktes, etwa CBAM und Quoten für den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff	Starke Regulierung eines globalen Wasserstoffmarktes, etwa Absprachen zu kritischen Rohstoffen, Technologie-Sharing und Importpreisen

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Tabelle 4b: Indikatoren

	Szenario 		
	H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus
Dimension Recht und Institutionen	Regulatorische Führung durch China	Regulatorische Führung durch Europa	Regulatorische Führung durch bedeutende Wasserstoffimporteure
	Schaffung zahlreicher Institutionen, Allianzen und Standards abseits des Westens	Schaffung rein europäischer bzw. europäisch geführter Institutionen	Schaffung eines globalen Wasserstoffoligopsons
Dimension Technologie und Innovation	Beschleunigter Fortschritt bei Wasserstofftechnologien	Langsamer Fortschritt bei Wasserstofftechnologien	Rasanter Fortschritt bei Wasserstofftechnologien
	Schwerpunkt für Innovationen bei Wasserstoff in den USA und China; umfassende Technologieführerschaft	Schwerpunkt für Innovationen bei Wasserstoff in Europa	Innovationschwerpunkte bei Wasserstoff global aufgeteilt; Technologieführerschaft nur bei einzelnen Technologien
	Innovationsfokus eher auf Wasserstoff	Paralleler globaler Fortschritt bei verschiedensten Klimaschutztechnologien, insbesondere CCS	Klarer Innovationsfokus auf Wasserstoff
	Alkalische Elektrolyseure dominieren den globalen Markt	PEM-Elektrolyseure dominieren den globalen Markt	Verschiedene, komplementäre Elektrolyseur-Technologien koexistieren
Dimension Soziales und Innenpolitik	Polarisierung der politischen Landschaft Europas lähmt den Politikprozess	Polarisierung der politischen Landschaft Europas führt zu neuen Allianzen (vor allem zwischen grünen und rechten Akteuren)	
	Politische Blockade in der EU, die tiefgreifende Reformen und Investitionen verhindert	Trotz unterschiedlicher Standpunkte funktionierende Politik und breit angelegte Subventionen für Wasserstoff	
	Wachsender sozialer Gradient innerhalb Europas	Wachsender intraregionaler Gradient	Wachsender Nord-Süd-Gradient
Dimension Sicherheit und Geopolitik	Regionale Kooperationen und Hegemonialbeziehungen gewinnen an Bedeutung	Transregionale werte- und interessenorientierte Kooperationen (z.B. BRICS, werteorientierte Partnerschaften) gewinnen an Bedeutung	Transregionale sektorale Kooperationen (etwa Energie-Governance) gewinnen an Bedeutung und ersetzen in Teilen andere Formate der globalen Ordnung
	Geopolitische Spannungen bleiben weitgehend konstant	Geopolitische Spannungen eskalieren zusehends	Geopolitische Spannungen lösen sich zunehmend kooperativ auf
	Hohe Importabhängigkeit der EU von energieintensiven Gütern	Hohe Importabhängigkeit der EU von Rohstoffen	Hohe Abhängigkeit der EU von Wasserstoff und dessen Transportrouten
		Wasserstoffbezogene Abhängigkeiten wirken sich aus auf EU-Sicherheitspolitik und auf werteorientiertes Handeln (Taiwan)	Wasserstoffbezogene Abhängigkeiten wirken sich aus auf EU-Werteziele

Tabelle 4c: Indikatoren

	Szenario 		
	H2-Neuordnung	H2-(Un-)Abhängigkeit	H2-Imperialismus
Dimension Sicherheit und Geopolitik			Zunehmende Bereitschaft, Energie- und Rohstoffthemen in die Sicherheitspolitik einzubetten; Militarisierung von Energie
		Zwischenfälle in Lieferketten bedrohen die strategische Autonomie	Zwischenfälle in Lieferketten bedrohen die auf Wasserstoff bezogene Energiesicherheit
	Strategische Autonomie der EU nimmt umfassend ab	Strategische Autonomie der EU, die jedoch nicht krisenrobust ist	EU demonstriert strategische Autonomie auch in Krisen
	Zunahme von Einfluss vieler Entwicklungs- und Schwellenländer; Agency steigt bei neuen Hegemonen		Abnahme von Einfluss und Agency vieler Entwicklungsländer; hegemonische Beziehungen zwischen Exporteuren und Importeuren
	Entwicklungsländer orientieren sich zunehmend an China, arabischen Golfstaaten oder den USA		Wasserstoffexportländer orientieren sich primär an ihren Großmacht-Handelspartnern
	Verlagerung geopolitischer Machtzentren nach Asien	Zunehmende Entkopplung und Dezentralisierung geopolitischer Machtzentren	Entstehung einer polyzentrischen Weltordnung
	Afro-Eurasien-Verflechtung	Starke Regionalisierung von Wasserstoff (nur Europa)	Starke Silobildung entlang Nord-Süd-Achse, globale Entflechtung
		Vorwürfe des europäischen Neokolonialismus	Intensivierung von Ökokolonialismus
Dimension Kultur und Sonstiges	Europas Bürger assoziieren Wasserstoff mit Klimakrise und Techno-Dystopie	Europas Bürger assoziieren Wasserstoff mit Unabhängigkeit, Heimat und Stärke	Europas Bürger assoziieren Wasserstoff mit Klimaschutz und internationaler Entwicklung, aber auch mit Militarisierung und Autokratie
	Degrowth als zentrales Narrativ europäischen Klimaschutzes	Unabhängigkeit als zentrales Narrativ europäischen Klimaschutzes	Technologie als zentrales Narrativ europäischen Klimaschutzes
	Greenwashing von Armut, auch durch esoterische und semi-religiöse Narrative	Zunehmendes Greenwashing von Nationalismus (etwa Solarpaneele auf Grenzmauern)	Grüner Paternalismus in der Entwicklungspolitik breitet sich aus

© 2023 Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP)

Abkürzungsverzeichnis

AEL	Alkalische Elektrolyse
ANC	African National Congress
AU	Afrikanische Union
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BRICS	Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika
CBAM	carbon border adjustment mechanism
CCS	carbon capture and storage
CCUS	carbon capture, utilisation and storage
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP29	29th Conference of the Parties
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
GCC	Gulf Cooperation Council
GW	Gigawatt
IEA	International Energy Agency
IRA	Inflation Reduction Act (USA)
IRENA	International Renewable Energy Agency
kW	Kilowatt
LNG	liquefied natural gas
LOHC	liquid organic hydrogen carriers
Nato	North Atlantic Treaty Organization
OHIC	Organisation der wasserstoffimportierenden Länder
PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran
PGM	platinum group metals
SMR	steam methane reforming
SWIFT	Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications
VAE	Vereinigte Arabische Emirate
VUKA	Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität
ZSU	Zoll- und Sicherheitsunion

Quellen zur Karte »Die neue Wasserstoffwelt: Rohstoffinfrastruktur und Ressourcen«

Erdgasförderung

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), *BGR Energiedaten 2022 – Daten zu Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung*, doi: 10.25928/es-2022-tab (Stand 2021).

Kritische Rohstoffe

Deutsche Rohstoffagentur (DERA), *ROSYS – Rohstoff-informationssystem*, <<https://rosys.dera.bgr.de>> (Vorräte: sicher & wahrscheinlich, Stand 2019).

Erdgaspipelines und LNG-Terminals

Global Energy Monitor, *Global Gas Infrastructure Tracker*, <<https://globalenergymonitor.org/projects/global-gas-infrastructure-tracker>> (in Betrieb und im Bau befindliche Import- und Exportterminals für Flüss-

siggas, Stand Juli 2022; in Betrieb und im Bau befindliche Erdgaspipelines, Stand Dezember 2022).

Atomkraftwerke

Global Energy Monitor, *Global Nuclear Power Tracker*, <<https://globalenergymonitor.org/projects/global-nuclear-power-tracker>> (in Betrieb und im Bau befindliche Atomkraftwerke, Stand Oktober 2023).

Maritime Choke-Points

Abel Meza/Ibrahim Ari/Mohammed Al Sada/Muammer Koç, »Disruption of Maritime Trade Chokepoints and the Global LNG Trade. An Agent-Based Modeling Approach«, in: *Maritime Transport Research*, 3 (2022) 100071, doi: 10.1016/j.martra.2022.100071.

Leslie Palti-Guzman/Marc-Antoine Eyl-Mazzega, *The Strategic Repositioning of LNG. Implications for Key Trade Routes and Choke Points*, Paris: Institut Français des Relations Internationales (IFRI), April 2023 (Études de l'Ifri), <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/palti-guzman_eyl-mazzega_lng-traderoutes_2023.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.9.2023).

Jean-Paul Rodrigue, »The Vulnerability and Resilience of the Global Container Shipping Industry«, in: *Current History*, 121 (2022) 831, S. 17–23, doi: 10.1525/curh.2022.121.831.17.

Solarenergiepotential

World Bank, *Global Solar Atlas*, <<https://globalsolaratlas.info>> (PVOU, durchschnittliche tägliche Menge der mithilfe einer netzgekoppelten 1 kW-peak-Photovoltaikanlage erzeugten Elektrizität, berechnet für den Zeitraum 1994/1999/2007 – abhängig von der geographischen Region – bis 2018, Stand 2019).

Windenergiepotential

World Bank, *Global Wind Atlas*, <<https://globalwindatlas.info/en>> (mittlere Windleistungsdichte in 100 m Höhe über der Erdoberfläche, Stand 2019).

