

Grimm, Veronika

Article

Wasserstoff: Handlungsbedarf und Chancen im Zuge der Energiekrise

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Grimm, Veronika (2023) : Wasserstoff: Handlungsbedarf und Chancen im Zuge der Energiekrise, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Sciendo, Warsaw, Vol. 103, Iss. 3, pp. 174-178,
<https://doi.org/10.2478/wd-2023-0049>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/271711>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Veronika Grimm

Wasserstoff – Handlungsbedarf und Chancen im Zuge der Energiekrise

Klimaneutralität in Europa gegen Mitte des Jahrhunderts erfordert die Ablösung fossiler Energieträger durch die direkte oder indirekte Nutzung regenerativ erzeugten Stroms in den Sektoren Wärme und Mobilität sowie der Industrie. Die direkte Elektrifizierung und der indirekte Weg über Wasserstoff sind dabei komplementär. Die Elektrifizierung muss in allen Sektoren ambitioniert vorangetrieben werden. In einem integrierten Energiesystem wird die indirekte Sektorenkopplung über Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger die Elektrifizierung optimal ergänzen.

Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger werden dabei vorwiegend dort zum Einsatz kommen, wo eine direkte Elektrifizierung technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist (vgl. Abbildung 1; Leopoldina und Acatech, 2017). In der Industrie wird Wasserstoff sowohl energetisch als auch in der stofflichen Nutzung zum Einsatz kommen (NWR, 2021a, 2023; dena, 2021; Agora Energiewende, 2022; Egerer et al., 2023b). In der Mobilität ist es bei hoher Antriebsleistung und Fahrstrecke – wie etwa im Schwerlastverkehr – vorteilhaft, wasserstoffbasierte Antriebe einzusetzen, ebenso wie im Schiffs- und Flugverkehr (IEA, 2021). In der Wärmeversorgung kann der Einsatz von Wasserstoff abhängig von dem Anteil der Prozesswärmenachfrage, Einwohnerdichte, Gebäudestruktur vorteilhaft oder notwendig sein (Thomsen et al., 2022). Auch in der Stromerzeugung dürfte der Wasserstoffbedarf ansteigen, um Gaskraftwerke mittelfristig klimaneutral betreiben zu können (dena, 2021; Agora Energiewende, 2022).

In welchen Sektoren Wasserstoff in welchem Umfang zum Einsatz kommen wird, ist heute offen. Prognosen sehen den Wasserstoffbedarf für ein klimaneutrales Energiesystem in Deutschland zwischen 225 und 800 TWh_{H₂}

© Der/die Autor:in 2023. Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht (creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de).

Open Access wird durch die ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft gefördert.

pro Jahr (Fraunhofer, 2019; FZ Jülich, 2019; Wietschel et al., 2021; vgl. Abbildung 2), was bei einer elektrolytischen Erzeugung in etwa einem Strombedarf von 375 bis 1.333 TWh_{el} gleichkommt (der deutsche Bruttostromverbrauch lag 2022 bei etwa 550 TWh). Die bis 2030 notwendigen Mengen dürften sich aufgrund der geringeren Attraktivität von Erdgas infolge der Energiekrise noch mal erhöhen (NWR, 2022a, 2023). Eine Abschätzung des Nationalen Wasserstoffrats geht von einem Bedarf von 53 bis 90 TWh grünem (oder klimafreundlichem) Wasserstoff 2030 aus, zusätzlich zu den etwa 55 TWh grauen Wasserstoffs, der zurzeit in Deutschland produziert wird (NWR, 2023).

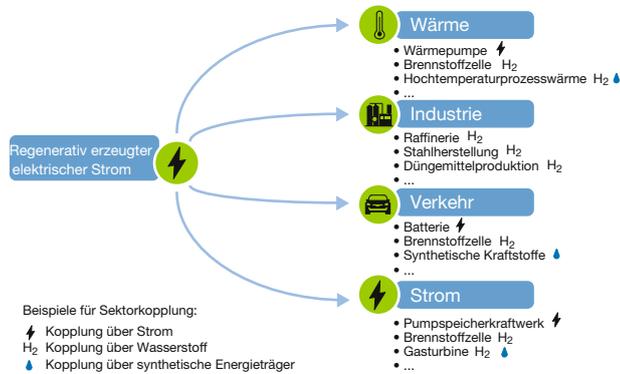
Dabei stellt schon die Bereitstellung der mindestens notwendigen Menge eine Herausforderung dar. Die Bundesregierung strebt derzeit die Installation von 10 GW Elektrolysekapazitäten bis 2030 an, womit sich etwa 28 bis 35 TWh Wasserstoff produzieren lassen. Das impliziert jedoch auch, dass ein signifikanter Teil des Wasserstoffbedarfs durch Importe gedeckt werden muss.

Wasserstoffimport

Der Import großer Wassermengen ist per Pipeline oder auf dem Seeweg möglich. Pipelinetransport erlaubt den Transport von gasförmigem Wasserstoff vergleichsweise kostengünstig, insbesondere wo auf die bestehenden Gas-Infrastrukturen aufgebaut werden kann. Nicht aus allen Regionen der Welt ist jedoch der Import über Pipelines realisierbar. Auf dem Seeweg kann Wasserstoff – wie heute LNG oder Erdöl – per Schiff aus Regionen weltweit importiert werden. Allerdings muss der Wasserstoff für den Schiffsverkehr in einen geeigneten flüssigen Energieträger umgewandelt werden. Dafür werden mehrere Optionen diskutiert, die auf verschiedenen Zeitschienen verfügbar sein werden – etwa die Verflüssigung des Wasserstoffs zu Liquid H₂ (LH₂) oder auch die Nutzung von Ammoniak, Methanol oder

Prof. Dr. Veronika Grimm lehrt Wirtschaftstheorie an der FAU Erlangen-Nürnberg und ist Mitglied des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

Abbildung 1
Beispiele für Sektorenkopplung über Strom sowie über Wasserstoff und synthetische Energieträger



Quelle: Zentrum Wasserstoff Bayern (H2.B)

Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) als Energieträger (Egerer et al., 2023a; Runge et al., 2022a). Ammoniak wird schon heute weltweit gehandelt und transportiert ebenso wie Methanol (vgl. Tabelle 1). LH2 und LOHC könnten mittelfristig an Bedeutung gewinnen (EU, 2021; Acatech, 2021; Runge et al., 2022a; Egerer et al., 2023a). Der optimale Transportpfad hängt nicht zuletzt von der geplanten Anwendung des Wasserstoffs ab. Während einige Anwendungen reinen Wasserstoff benötigen (etwa die Stahlerzeugung), ist bei an-

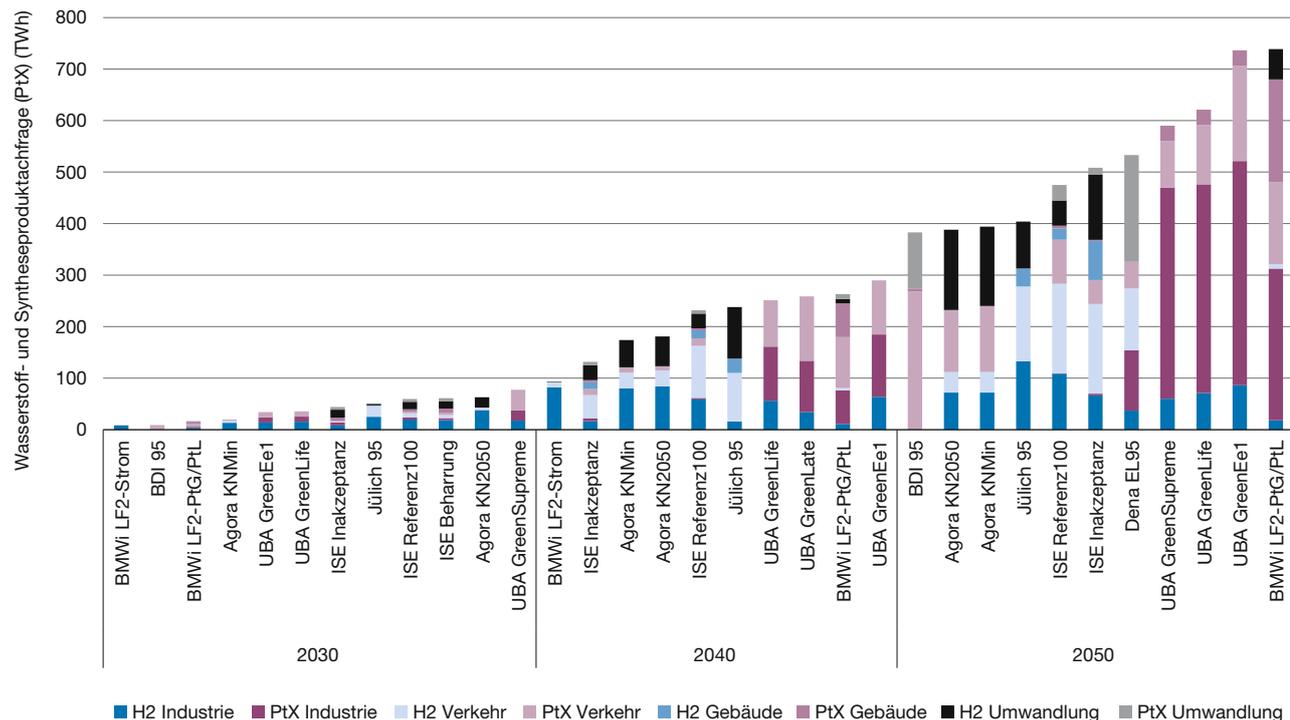
deren Anwendungen (wie z.B. für die Düngemittelproduktion) zu erwarten, dass Importe von Wasserstoffderivaten die heimische Produktion ablösen werden (Egerer et al., 2023b).

Eine Importstrategie Deutschlands oder – besser noch – der EU sollte einen schnellen Hochlauf der Importe anstoßen und dabei gleichzeitig für Diversifizierung der Lieferbeziehungen sorgen. Denn wenn Abhängigkeiten erst mal bestehen, ist es erfahrungsgemäß schwieriger, sie wieder abzubauen. Geht man nur nach dem Preis, so besteht die Gefahr, dass erneut Energieabhängigkeiten entstehen, nur von anderen Autokratien. Eine günstige Ausgangsposition als zukünftige Wasserstofflieferanten haben insbesondere Staaten, die heute fossile Energieträger exportieren und gleichzeitig bereits umfangreich in den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffproduktion investieren, etwa die Staaten der MENA-Region oder Kanada. Zurecht wurden hier jüngst Partnerschaften initiiert, jedoch sollten zugleich weitere Partnerschaften mit Ländern aus anderen Regionen weltweit aufgebaut werden (vgl. exemplarisch Abbildung 3).

Beim Energieimport Klima-, Handels- und Sicherheitspolitik zusammendenken

Auch die Energiesicherheit muss bedacht werden. Der Pipelinetransport ist zwar oft günstiger als der Schiffstransport,

Abbildung 2
Übersicht über sektorale Wasserstoff- und Syntheseproduktnachfrage in Deutschland, verschiedene Studien (ohne extreme Ausreißer)



Quelle: Wietschel et al. (2021).

Tabelle 1
Attraktivität verschiedener Wasserstoff-Transportoptionen

	Liquid Hydrogen	LOHC	Grünes Ammoniak	Grünes Methanol
Volumetrischer Wasserstoffgehalt	●	●	●	●
Verdampfungsverluste (Speicherung)	●	●	●	●
Umwandlung – Energiebedarf	●	●	●	●
Dehydrierung – Energiebedarf	●	●	●	●
Umwandlung TRL	●	●	●	●
Dehydrierung TRL	●	●	●	●
Verfügbarkeit der logistischen Infrastruktur (Überseetransport)	●	●	●	●
Direkte Nutzung/Brennstoffzelle	●	●	●	●
Entflammbarkeit	●	●	●	●
Giftigkeit	●	●	●	●

● Gut ● Mittel ● Schlecht

Quellen: Runge et al. (2022a); Egerer et al. (2023a), Aziz et al. (2019), Valera-Medina und Balnares-Alcantara (2020), eigene Darstellung.

Pipeline-Infrastrukturen sind jedoch anfälliger für Anschläge. Insbesondere der Pipelinetransport durch politisch instabile Regionen muss daher sorgfältig abgewogen werden. Die Resilienz des Schiffstransports hat sich nicht zuletzt in der aktuellen Energiekrise gezeigt. Der Import über den Seeweg ermöglicht Partnerschaften mit zahlreichen Ländern weltweit, die über exzellente Bedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff verfügen. In den vergangenen Jahren wurden in diesem Sinne bereits Gespräche oder Kooperationen etwa mit Australien, Island, Canada, Chile oder Namibia aufgenommen (BMWK, 2021; BMBF, 2023).

Über die Diversifizierung der Lieferbeziehungen hinaus sollte der Wasserstoffimport mit anderen Themen zusammengedacht werden, wie etwa der Diversifizierung von Bezugsquellen für kritische Rohstoffe, der Entwicklungspolitik oder mit der Vertiefung von Handelsbeziehungen (SVR, 2022; Grimm und von Rügen, 2022a, 2022b). Die zunehmende Bedeutung globaler öffentlicher Güter macht es trotz der aktuellen geopolitischen Veränderungen immer wichtiger, internationale Kooperationen zu stärken (SVR, 2022). So kann der Einstieg in Wasserstoffpartnerschaften auch mit dem Ausstieg aus fossilen Energieträgern in Schwellen- und Entwicklungsländern verknüpft werden und dort Zukunftschancen eröffnen (NWR, 2021b). Entwicklungs- und Schwellenländer könnten im Zuge von Wasserstoffkooperationen ihre eigene Versorgung mit grüner Energie oder auch mit Süßwasser verbessern, indem die EE-Anlagen oder Entsalzungsanlagen größer dimensioniert werden (SVR, 2021; NWR, 2021b). Wasserstoffpartnerschaften der EU sollten so angelegt sein, dass

sie diese Chancen eröffnen. So kann verhindert werden, dass Entwicklungs- und Schwellenländer letztlich erneuerbare Energie exportieren, aber selbst von fossilen Energieträgern abhängig bleiben.

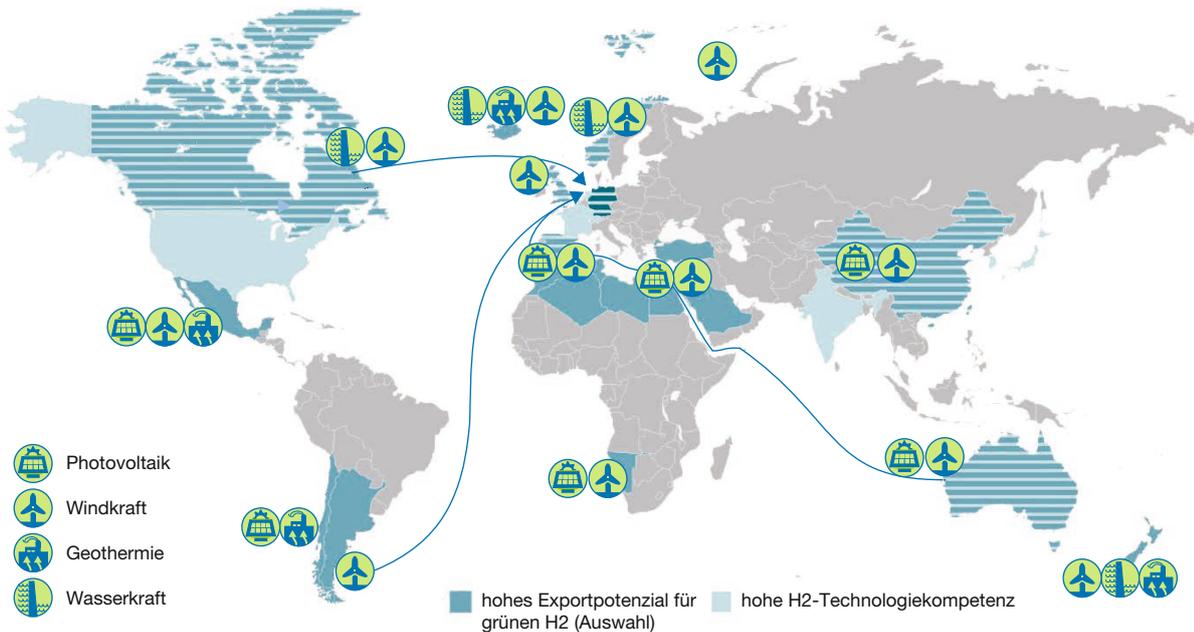
Die Bundesregierung entwickelt zurzeit eine Importstrategie und hat auch Instrumente aufgesetzt, um die mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft verbundenen Henne-Ei-Probleme zu lösen. Der zweiseitige Auktionsmechanismus im Rahmen der Initiative „H2 Global“ ist etwa darauf ausgerichtet, langfristige Verträge zum Bezug von Wasserstoff weltweit auszuschreiben und den dadurch gesicherten Importwasserstoff in kurzfristigen Verträgen an Abnehmer in Europa zu versteigern (Bollerhey et al., 2022). Die zu Beginn entstehende Kostenlücke wird durch den zweiseitigen Auktionsmechanismus minimiert und durch öffentliche Gelder gedeckt. Die Bundesregierung hat dafür 4,4 Mrd. Euro zur Verfügung gestellt (BMWK, 2022). Die langfristigen Verträge ermöglichen die Entwicklung großskaliger Projekte im Ausland und bilden die Grundlage einer weitgehenden privatwirtschaftlichen Finanzierung. Sie stellen zudem Klarheit über die Verfügbarkeit von Wasserstoff in Europa her und ermöglichen so Investitionsentscheidungen potenzieller Wasserstoff-Abnehmer auf der Anwendungsseite. Voraussetzung für den schnellen Hochlauf der Importe ist eine einheitliche Definition der zu handelnden Produkte. Statt die Zertifizierung wie bisher an der Farbenlehre und somit am Herstellungsverfahren des Wasserstoffs zu orientieren, dürfte eine Orientierung anhand des CO₂-Fußabdrucks zielführender sein, da dies die Anschlussfähigkeit an die Systematik in anderen Regionen der Welt erhöht (Runge et al., 2022b; EWK, 2023).

Ausbau von Infrastrukturen notwendig

Damit Investitionen in die Anwendung von Wasserstoff in Europa tatsächlich getätigt werden, müssen potenzielle Abnehmer erwarten können, den Wasserstoff zeitnah auch an ihrem Standort zu erhalten. Dafür ist der Ausbau eines Wasserstoff-Backbone-Netzes, möglichst europaweit, notwendig (NWR, 2020; dena, 2022; SVR, 2022; EHB, 2022; EWK, 2023). Positiv ist, dass man ein leistungsfähiges paneuropäisches Wasserstoffnetz aus Teilen des Gasnetzes errichten kann und dass nach aktuellen Berechnungen nur etwa 40 % der Leitungsinfrastruktur neu zugebaut werden müsste. Erste Vorschläge der europäischen Fernleitungsnetz-Betreiber für ein europäisches Wasserstoff-Backbonenetzt inklusive Speicherinfrastruktur liegen bereits vor (EHB, 2022). Da es sich bei einem Wasserstoffnetz um ein natürliches Monopol handeln dürfte, ist eine staatliche Regulierung notwendig. Ohne diesbezügliche Entscheidungen ist ein Fortschritt beim Ausbau nicht zu erwarten. Netzausbau und -betrieb könnte durch staatlich regulierte private Betreiber oder einen Betreiber

Abbildung 3

Bedingungen für die Erzeugung grünen Wasserstoffs und Technologiekompetenz in ausgewählten Staaten



Quelle: Zentrum Wasserstoff Bayern (H2.B).

unter staatlichem Einfluss stattfinden. Mangels sinnvoller Vergleichsmaßstäbe für eine Anreizregulierung wäre bei privatem Netzausbau eine Kosten-plus-Regulierung zu erwarten. Aufgrund der zu Beginn unsicheren Auslastung der Infrastruktur und der Gefahr, den Markthochlauf durch prohibitive Netzgebühren zu bremsen, dürfte zu Beginn eine Risikoübernahme des Staates sowie eine Förderung zielführend sein. Außerdem sollten nach den Erfahrungen der Gaskrise Sicherheitsaspekte bei der Eigentümerstruktur beachtet werden. Diesen Herausforderungen bei privatwirtschaftlichem Ausbau dürfte bei staatlichem Ausbau ein aufgrund der notwendigen Entscheidungen zu geringes Tempo des Ausbaus gegenüberstehen.

Der Inflation Reduction Act: Druck aus den USA

Seit 2020 haben viele europäische Staaten Wasserstoffstrategien vorgelegt. Prognosen der Internationalen Energie Agentur (IEA) gingen noch 2022 davon aus, dass die Produktionskapazitäten für Elektrolyseanlagen in Reaktion auf den zu erwartenden Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft insbesondere in Europa und Asien deutlich ansteigen werden (IEA, 2022). Mit dem Inflation Reduction Act (IRA) haben nun auch die USA einen deutlichen Impuls für die Entwicklung einer eigenen Wasserstoffwirtschaft gesetzt. Die dortige Förderung für erneuerbare Energien und Wasserstoff dürfte in den USA nach aktuellen Schätzungen eine Nachfrage nach Elektrolysekapazität auslösen, die sogar die bisher für den weltweiten Hochlauf prognostizierte Elektrolysekapazität

übersteigt (NWR, 2022b; BCG, 2022). Im Vorteil sind die USA aufgrund der geringen Komplexität der dortigen Rahmenbedingungen, die einen schnellen Hochlauf erwarten lassen. Für Europa ergibt sich dadurch ein Handlungsdruck, die regulatorische Komplexität deutlich zu reduzieren und Importe sowie den Netzausbau mit hohem Tempo gemeinsam voranzutreiben. Eine darüber hinausgehende fiskalische Reaktion auf den IRA kann im Bereich des Wasserstoffhochlaufs insbesondere dann einen Hebel entfalten, wenn die regulatorischen Hemmnisse zuvor deutlich reduziert werden.

Literatur

- Acatech (2021), HySupply – A Meta-Analysis towards a German-Australian Supply-Chain for Renewable Hydrogen, https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2020/11/HySupply_WorkingPaper_Meta-Analysis.pdf (27. Februar 2023).
- Agora Energiewende (2022), Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf (27. Februar 2023).
- Aziz, M., T. Oda, T. Kashiwagi (2019), Comparison of liquid hydrogen, methylcyclohexane and ammonia on energy efficiency and economy, *Energy Procedia* 158, 4086–4091.
- BCG (2022), US Inflation Reduction Act: Climate & Energy Features and Potential Implications, Dezember, <https://media-publications.bcg.com/BCG-Executive-Perspectives-US-IRA-Global-Implications.pdf> (27. Februar 2023).
- BMBF (2023), Grüner Wasserstoff: Welche internationalen Projekte fördert das BMBF?, <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/woher-soll-der-gruene-wasserstoff-kommen.html> (27. Februar 2023).
- BMWK (2021), Energiepartnerschaften und Energiedialoge. Gemeinsam für eine erfolgreiche globale Energiewende, <https://www.bmwk.de/>

- Redaktion/DE/Artikel/Energie/internationale-energiepolitik-2.html (27. Februar 2023).
- BMWK (2022), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz startet erstes Vergabeverfahren für H2Global – 900 Millionen Euro für die Beschaffung von grünen Wasserstoffderivaten, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/12/20221208-bundesministerium-fur-wirtschaft-und-klimaschutz-startet-erstes-vergabeverfahren-fur-h2global.html> (27. Februar 2023).
- Bollerhey, T., M. Exenberger, F. Geyer und K. Westphal (2022), H2Global – Idee, Instrument und Intentionen, *Policy Brief der H2Global Stiftung*, 1, http://files.h2-global.de/H2Global-Stiftung-Policy-Brief-01_2022-DE.pdf (27. Februar 2023).
- dena (2021), Deutsche Energie-Agentur, Dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf (27. Februar 2023).
- dena (2022), Deutsche Energie-Agentur, Wie gelingt der Aufbau der Wasserstoff-Netzinfrastruktur in Deutschland und Europa?, *dena-Analyse*, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/Analyse_Wie_gelingt_der_Ausbau_der_Wasserstoff-Netzinfrastruktur.pdf (27. Februar 2023).
- Egerer, J., V. Grimm, K. Niazmand und P. Runge (2023a), The economics of global green ammonia trade – “Shipping Australian wind and sunshine to Germany” *Applied Energy*, 334 (2023), 120661, <https://ssrn.com/abstract=4153386> (27. Februar 2023).
- Egerer, J., V. Grimm, K. Niazmand und P. Runge (2023b), The Industry Transformation from Fossil Fuels to Hydrogen will reorganize Value Chains: Big Picture and Case Studies for Germany, *Working Paper*.
- EHB – European Hydrogen Backbone (2022), A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries, <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf> (27. Februar 2023).
- EU – European Union (2021), Assessment of Hydrogen Delivery Options, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2021-06/jrc124206_assessment_of_hydrogen_delivery_options.pdf (27. Februar 2023).
- EWK (2023), Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“, Stellungnahme zum Strommarktdesign und dessen Weiterentwicklungsmöglichkeiten, Februar, <https://www2.wiwi.rub.de/wp-content/uploads/2023/02/Stellungnahme-zum-Strommarktdesign-und-dessen-Weiterentwicklungsmoeglichkeiten.pdf> (27. Februar 2023).
- Fraunhofer ISI und ISE (2019), Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wasserstoff-roadmap-deutschland.html> (27. Februar 2023).
- FZ Jülich (2019), Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050, https://user.fz-juelich.de/record/877960/files/Energie_Umwelt_499.pdf?version=1 (27. Februar 2023).
- Grimm, V. und C. von Rüden (2022a), Die Krise bekämpfen, das Wirtschaftsmodell neu justieren, *Wirtschaftsdienst*, 102(12), 922-928, <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/12/beitrag/die-krise-bekaempfen-das-wirtschaftsmodell-neu-justieren-7256.html> (27. Februar 2023).
- Grimm, V. und C. von Rüden (2022b), Es ist Zeit, sich aus wirtschaftlichen Abhängigkeiten zu lösen, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 23(4), 244-248 (27. Februar 2023).
- IEA – Internationale Energie Agentur (2021), Global Hydrogen Review 2021, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf> (27. Februar 2023).
- IEA – Internationale Energie Agentur (2022), Global Hydrogen Review 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf> (27. Februar 2023).
- Leopoldina und Acatech (2017), „Sektorkopplung“ – Optionen für die nächste Phase der Energiewende, <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-sektorkopplung/> (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2020), Stellungnahme zur NWS-Maßnahme 20 (Infrastruktur), https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2020-11-06_NWR-Stellungnahme_NWS-Massnahme_20.pdf (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2021a), Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021 – 2025, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2021b), Nachhaltigkeitskriterien für Importprojekte von erneuerbarem Wasserstoff und PTX-Produkten, Positionspapier, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-10-29_NWR-Stellungnahme_Nachhaltigkeitskriterien.pdf (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2022a), Eckpunktepapier zur Überarbeitung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Stellungnahme, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022-06-30_NWR-Eckpunktepapier_Ueberarbeitung_NWS.pdf (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2022b), Einschätzung zum Inflation Reduction Act, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/5_NWR-Stellungnahme_IRA_final.pdf (27. Februar 2023).
- NWR – Nationaler Wasserstoffrat (2023), Grundlagenpapier Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2023/2023-02-01_Grundlagenpapier_H2-Bedarfe.pdf (27. Februar 2023).
- Runge, P., C. Söchl, J. Albert, P. Wasserscheid, G. Zöttl und V. Grimm (2022a), Economic comparison of electric fuels produced at excellent locations for renewable energies: A scenario for 2035, *Working Paper*, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3623514 (27. Februar 2023).
- Runge, P., H. Exner-Pirot, B. Weber und V. Grimm (2022b), Understanding hydrogen as an opportunity for Canadian-German partnership, EPICO Klimainnovation and and Macdonald-Laurier Institute, <https://epico.org/de/veroeffentlichungen/mli-epico-papier-canada-und-die-energie-wende> (27. Februar 2023).
- SVR – Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2021), Transformation gestalten – Bildung, Digitalisierung, Nachhaltigkeit, *Jahresgutachten 2021/22*, <https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/jahresgutachten-2021.html#einzelkapitel> (27. Februar 2023).
- SVR – Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2022), Energiekrise solidarisch bewältigen, neue Realität gestalten, *Jahresgutachten 2022/23*, https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202223/JG202223_Gesamtausgabe.pdf (27. Februar 2023).
- Thomsen, J., N. Fuchs, R. Meyer, N. Wanapinit, J. Ulffers, B. Bavia Bampi, D. Lohmeier, E. Prade, G. Gorbach, N. Sanina, P. Engelmann, S. Herkel, C. Kost, M. Braun und M. Lenz (2022), Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up-Studie_final-1.pdf (27. Februar 2023).
- Valera-Medina, A. und R. Balnares-Alcantara (2020), Techno-Economic Challenges of Green Ammonia as an Energy Vector. Academic Press.
- Wietschel, M., L. Zheng, M. Arens, C. Hebling, O. Ranzmeyer, A. Schaadt, C. Hank, A. Sternberg, S. Herkel, C. Kost, M. Ragwitz, U. Herrmann und B. Pfluger (2021), Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien, https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/Metastudie_Wasserstoff-Abschlussbericht.pdf (27. Februar 2023)

Title: *Hydrogen – Need for Action and Opportunities in the Wake of the Energy Crisis*

Abstract: *Climate neutrality in Europe towards the middle of the century requires the replacement of fossil fuels by the direct or indirect use of renewable electricity in the heating and mobility sectors as well as in industry. Direct electrification and the indirect route via hydrogen are complementary. Electrification must be driven forward ambitiously in all sectors. In an integrated energy system, indirect sector coupling via hydrogen and hydrogen-based energy carriers will optimally complement electrification.*