

Die Energieunion als Säule für die Umsetzung des European Green Deals



UFZ
Jun.-Prof. Paul Lehmann
paul.lehmann@ufz.de

Prof. Dr. Erik Gawel
erik.gawel@ufz.de

Dr. Sebastian Strunz
sebastian.strunz@ufz.de

DLR
Dr. Michael Kreuz
michael.kreuz@dlr.de

IZES
Benjamin Zeck
zeck@izes.de

European Green Deal und europäische Energiewende

Für die Umsetzung des European Green Deal setzt die Europäische Union maßgeblich auch auf eine europäische Energiewende. So verfolgt die Europäische Kommission unter Leitung von Ursula von der Leyen mit dem European Green Deal explizit die Ziele, die Energieversorgung sauberer, erschwinglicher und sicherer zu machen, energie- und ressourcenschonendes Bauen und Renovieren zu fördern und einen schnellen Umstieg auf nachhaltige und intelligente Mobilität zu ermöglichen.

Auch für den Energiebereich sollen Forschung mobilisiert und Innovation gefördert werden. Das Gelingen der Energiewende ist daher entscheidend dafür, dass auch der Europäische Green Deal gelingt. Vor diesem Hintergrund hat die Frage weiter an Bedeutung gewonnen, wie die Energiepolitik der Europäischen Union weiterentwickelt und stärker integriert werden könnte. Die entsprechenden Überlegungen und Diskussionen werden unter dem Schlagwort „Energieunion“ zusammengefasst.

Europäische Energiewende als „Flickenteppich“

Bislang ist die Festlegung von Zielen das wichtigste Mittel der europäischen Klima- und Energiepolitik (► [Tabelle 1](#)).

Instrumente zur Erreichung dieser Ziele hat die EU bislang nur bedingt zur Hand.

Die stärksten Kompetenzen hat sie im Bereich der Klimapolitik. Zentrales Instrument hierfür ist der EU-Emissionshandel, der 2005 für die Sektoren der Stromerzeugung und der energieintensiven Industrie eingeführt wurde.

Zudem hat die EU durch Energieeffizienz-Richtlinien Einfluss auf den Energieverbrauch z. B. von Haushaltsgeräten genommen.

Insbesondere die Entscheidung über den Energieträgermix verbleibt aber laut Artikel 194 des Vertrags von Lissabon bei den Mitgliedsstaaten. Zwar versuchte die EU-Kommission auch hier Einfluss zu nehmen – etwa durch die beihilferechtliche Prüfung und Genehmigung nationaler Fördersysteme für erneuerbare Energien –, vermochte dies aber nur indirekt [1]. Nicht überraschend ist es daher, dass sich die Ambition und die Instrumente der Mitgliedsstaaten stark unterscheiden:

- So setzen die Mitgliedsstaaten für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf unterschiedlichste Ansätze – von Einspeisevergütungen mit oder ohne Ausschreibungen bis hin zu Quotensystemen [3].
- Auch die mitgliedstaatlichen Pläne für einen Kohleausstieg unterscheiden sich stark [4]. Während Deutschland bis zum Jahr 2038 aus der Kohle aussteigen soll, wollen Länder wie Frankreich, Italien oder Großbritannien dieses Ziel bereits Mitte der 2020er Jahre erreichen. Viele osteuropäische Länder hingegen hegen (noch) keine derartigen Ambitionen.
- Ähnlich divers sind auch die politischen Vorgaben im Bereich der Verkehrswende [5]. Länder wie Norwegen, Frankreich oder Großbritannien verfolgen mittlerweile das explizite Ziel, die Nutzung von Fahrzeugen mit fossil betriebenen Verbrennungsmotoren in den nächsten 20 Jahren zu beenden. Andere Länder, darunter Deutschland, verzichten bislang auf eine derartige Regelung. Entsprechend unterscheiden sich auch die Verkehrsstrategien der EU-Mitgliedsstaaten hinsichtlich der zukünftig bedeutsamen Energieträger (► [Tabelle 2](#)).

Tabelle 1:
Klima- und energiepolitische Ziele der Europäischen Union:
(Quelle: [2])

	Reduktion Treibhausgas-Emissionen	Anteil erneuerbarer Energien	Erhöhung Energieeffizienz	Stromverbund-Ziel	Reduktion CO ₂ -Ausstoß Verkehrssektor
2020	-20 %	20 %	20 %	10 %	–
2030	mind. -40 %	mind. 32 %	mind. 32,5 %	15 %	Pkw: -37,5% Lkw: -30%

Elektrisch	Biokraftstoffe	Wasserstoff	Brennstoffzelle	CNG (Compressed Natural Gas)	LNG (Liquefied Natural Gas)	LPG (Liquid Petroleum Gas)	Hybride	Alternative Kraftstoffe
A, B, BG, CZ, D, E, EST, F, FIN, GR, I, IRL, HR, L, LT, LV, M, NL, P, PL, RO, SK, SLO, N	A, B, BG, CY, CZ, D, E, EST, F, FIN, GR, I, IRL, L, LT, LV, M, NL, P, PL, RO, SK, SLO, N	A, B, CZ, D, F, FIN, I, HR, LT, LV, M, PL, RO, SK, SLO, N	CZ, D, RO, SLO	A, B, CZ, E, F, FIN, I, IRL, HR, LT, LV, M, PL, SK, SLO	A, B, CZ, E, FIN, I, IRL, HR, LT, LV, M, PL, SK, SLO	CY, CZ, F, SLO	B, CY, CZ, D, FIN, I, RO, SK, N	A, D, E, EST, F, FIN, LV, PL, RO, SK, SLO, N
24	24	16	4	15	14	4	9	12

Vor diesem Hintergrund werden immer wieder Forderungen laut, die energiepolitischen Instrumente der EU-Mitgliedsstaaten stärker zu koordinieren und zu vereinheitlichen. So heißt es etwa im EU-Weißbuch zum Verkehr: „Kohärenz auf EU-Ebene ist unabdingbar. Wenn sich beispielsweise ein Mitgliedstaat ausschließlich für Elektroautos und ein anderer ausschließlich für Biokraftstoffe entschiede, würde dies das Konzept des freien Reisens in ganz Europa zunichtemachen“ [6, S.6].

Energieunion als Lösungsansatz

Um die energiepolitischen Aktivitäten der Mitgliedsstaaten stärker zu koordinieren, wurde die Energieunion ins Leben gerufen. Im Jahr 2014 wurde sie zunächst als strategisches Ziel durch den europäischen Rat festgelegt. Im Jahr 2018 erfolgte dann auch die rechtliche Verankerung durch die Verordnung über das Governance-System der Energieunion und für den Klimaschutz („Governance-Verordnung“, VO 2018/1999).

Insbesondere fünf Dimensionen der Energieunion sollen dabei auf koordinierte und kohärentere Art und Weise umgesetzt werden:

1. Sicherheit der Energieversorgung
2. Vollständige Integration des europäischen Energiemarktes
3. Verbesserung der Energieeffizienz als Beitrag zur Senkung der Energienachfrage
4. Verringerung der CO₂-Emissionen der Wirtschaft
5. Förderung von Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit

In der Governance-Verordnung wurden die Ziele noch einmal explizit bestätigt.

Zentrales Instrument der Governance-Verordnung ist die Verpflichtung für die EU Mitgliedsstaaten, so-

nannte integrierte nationale Energie- und Klimapläne (NEKP) auszuarbeiten. Darin müssen die Mitgliedsstaaten insbesondere darlegen, welche Beiträge sie im Einzelnen zur Erreichung der europäischen klimapolitischen Ziele leisten. Die NEKP decken einen Zeitraum von 10 Jahren ab (aktuell 2021 bis 2030) und müssen regelmäßig aktualisiert werden. Darüber hinaus verpflichtet die Governance-Verordnung die EU-Länder, langfristige Strategien zur Verringerung der Emissionen mit einer Perspektive von 50 Jahren zu entwickeln.

*Tabelle 2:
Inkohärente Verkehrsstrategien der EU-Mitgliedsstaaten und Norwegen: jeweils berücksichtigte Energieträger
(Quelle: IZES, Stand 09/2019)*

Für und Wider einer stärker koordinierten europäischen Energiewende

Doch gehen diese Maßnahmen weit genug, um die energiepolitischen Aktivitäten der EU-Mitgliedsstaaten in angemessener Weise zu koordinieren? Für die Beantwortung dieser Frage ist zunächst zu bedenken, dass eine stärkere Koordination der Energiewende auf europäischer Ebene Stärken, aber auch Schwächen hat [7].

Eine stärkere zentralisierte Steuerung der europäische Energiewende hätte beispielsweise den Vorteil, dass Skalen- und Verbundvorteile auf europäischer Ebene besser genutzt werden könnten. Die räumliche Allokation des Ausbaus erneuerbarer Energien könnte beispielsweise auf europäischer Ebene so optimiert werden, dass der Ausbau stärker als bisher an den windhöufigsten oder sonnenreichsten Standorten konzentriert wird.

Allerdings hat eine derart zentralisierte Steuerung auch Schwächen, insbesondere wenn nicht klar ist, welche Ausgestaltung der Instrumente zu bevorzugen ist. Ein Nebeneinander von unterschiedlichen Regulierungsansätzen in den Mitgliedsstaaten schafft dann Raum für regulatorischen Wettbewerb und gegenseitiges politisches Lernen. In der Vergangen-

heit konnten so z. B. die Stärken und Schwächen unterschiedlicher Förderansätze für erneuerbare Energien (Einspeisevergütungen vs. Quotensysteme) gut verglichen werden. Diese Mechanismen haben dann auch „bottom-up“ zu einer schrittweisen Konvergenz der mitgliedstaatlichen Energiepolitik geführt [8]. In ähnlicher Weise wird es auch in Zukunft wichtig sein, Raum für politisches Experimentieren zu schaffen, etwa wenn es darum geht, das grundsätzliche Strommarktdesign für eine Welt mit 100 % erneuerbaren Energien weiterzuentwickeln. Ein gewisses Maß an dezentraler Energiewendepolitik kann zudem geboten sein, weil die Präferenzen für und wider unterschiedliche Energietechnologien zwischen den Mitgliedsstaaten stark unterschiedlich ausgeprägt sind. Eine vollständig zentralisierte und harmonisierte Regulierung der Energiewende auf europäischer Ebene wäre daher weder politisch durchsetzbar, noch gesamtgesellschaftlich zielführend [9, 10].

Fazit

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Umsetzung der europäischen Energieunion immer noch in den Kinderschuhen steckt. Die Diversität der energiepolitischen Instrumente der Mitgliedsstaaten ist weiterhin hoch. Freilich wäre eine vollständige Zentralisierung und Harmonisierung der europäischen Energiepolitik wohl weder politisch machbar noch zielführend. Die vorhandenen, eher weichen Koordinationsmechanismen der EU können und sollten jedoch gestärkt werden. Der European Green Deal schafft hier ein Gelegenheitsfenster. Wünschenswert wäre es, dass die umfangreichen Zahlungen, die damit an die Mitgliedsstaaten verteilt werden, stärker als bisher an die Umsetzung der Energieunion gekoppelt werden.

Optionen für eine Stärkung der Energieunion

Trotzdem lassen die gegenwärtigen Regeln der Governance-Verordnung den Mitgliedsstaaten wohl zu viel Gestaltungsspielraum. Zu diesem Fazit kommt das Akademienprojekt „Energiesystem der Zukunft“ (ESYS) [11]. Zwar seien die Instrumente der Verordnung – mitgliedstaatliche NEKP und Langfriststrategien – grundsätzlich geeignet, die Koordination der mitgliedstaatlichen Energiepolitik zu stärken. Allerdings gäbe es bei Abweichungen von den Empfehlungen der Kommission kaum Möglichkeiten, die Mitgliedsstaaten wirksam zu sanktionieren.

Um den gegenwärtigen Regulierungsrahmen für die Energieunion zu stärken, schlägt ESYS daher insbesondere vier Maßnahmen vor:

1. effektive Implementierung der Governance-Verordnung, z. B. durch einheitliche europäische Leitlinien für die NEKP
2. Schaffung finanzieller Anreize, z. B. indem die Mittel aus dem europäischen Struktur- und Investitionsfond mit den NEKP verknüpft werden
3. Sanktionierung bei Nichtbefolgung der Governance-Verordnung, z. B. indem mit der Kürzung von Mitteln aus den Struktur- und Investitionsfonds gedroht wird (analog zum „Europäischen Semester“, mit dem die Wirtschaftspolitik der Mitgliedsstaaten koordiniert wird)
4. Flankierung der Governance-Verordnung durch Allianzen, z. B. indem sich ambitionierte Mitgliedsstaaten auf einheitliche, nationale CO₂-Mindestpreise verständigen.

Literatur

- [1] Callies C. and Hey C. (2013). Multilevel Energy Policy in the EU: Paving the Way for Renewables? *Journal for European Environmental and Planning Law* 10(2): 87–131, <https://doi.org/10.1163/18760104-01002002>
- [2] Europäische Kommission (2019). Vierter Bericht zur Lage der Energieunion. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/DE/COM-2019-175-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF>
- [3] Banja M., Jégard M., Monforti-Ferrario F., Dallemand J.-F., Taylor N., Motola V., Sikkema R. (2017). Renewables in the EU: an overview of support schemes and measures. JRC Science for Policy Report, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/83d9ab2f-647d-11e8-ab9c-01aa75ed71a1/language-en>
- [4] Europe Beyond Coal (2020). Overview: National coal phase-out announcements in Europe, <https://www.klimareporter.de/images/dokumente/2020/07/Overview-of-national-coal-phase-out-announcements-Europe-Beyond-Coal-14-July-2020.pdf>
- [5] Wappelhorst, S. (2020). The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe. International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Combustion-engine-phase-out-briefing-may11.2020.pdf>
- [6] Europäische Kommission (2011). Weißbuch zum Verkehr. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_de.pdf
- [7] Strunz, S., Gawel, E., Lehmann, P. (2015). Towards a general "Europeanization" of EU Member States' energy policies? *Economics of Energy & Environmental Policy* 4(2), 143-159, <http://dx.doi.org/10.5547/2160-5890.4.2.sstr>
- [8] Strunz, S., Gawel, E., Lehmann, P., Söderholm, P. (2018). Policy convergence as a multi-faceted concept: The case of renewable energy policies in the EU. *Journal of Public Policy* 38(3), 361–387, <https://doi.org/10.1017/S0143814X17000034>.
- [9] Gawel, E., Strunz, S., Lehmann, P., Purkus, A. (Eds.) (2019). *The European Dimension of Germany's Energy Transition – Opportunities and Conflicts*. Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03374-3>
- [10] Gawel, E., Strunz, S. (2019). Energy Policies in the EU – A Fiscal Federalism Perspective. In: Knodt, M., Kemmerzell, J. (eds.) *Handbook of Energy Governance in Europe*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73526-9_51-1
- [11] Acatech/Leopoldina/Akademienunion (2018). Governance für die Europäische Energieunion – Stellungnahme des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“, <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-energieunion>

Grüner Wasserstoff als Schlüsseltechnologie für die europäische Energiewende



ZSW
Maïke Schmidt
maïke.schmidt@zsw-bw.de

DBFZ
Dr. Franziska Müller-Langer
franziska.mueller-langer@dbfz.de

Dr. Jörg Kretschmar
joerg.kretschmar@dbfz.de

DLR
Prof. Dr. Carsten Agert
carsten.agert@dlr.de

Fraunhofer IEE
Jochen Bard
jochen.bard@iee.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Christopher Hebling
christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

FZ Jülich
Dr. Heidi Heinrichs
h.heinrichs@fz-juelich.de

Dr. Martin Robinius
m.robinius@fz-juelich.de

ISFH
Dr. Raphael Niebelt
niebelt@isfh.de

KIT
Prof. Dr. Roland Dittmeyer
roland.dittmeyer@kit.edu

Dr. Frank Graf
frank.graf@kit.edu

Einleitung

Wasserstoff als Energieträger der Zukunft ist kein neues Thema in der angewandten Energieforschung: Bereits 1986 erlebte Wasserstoff im Kontext des HYSolar-Projekts, einer deutsch-saudi-arabischen Kooperation zur Technologieentwicklung für solaren Wasserstoff, eine erste Hochphase, die u. a. durch die Auswirkungen der Ölkrise und die offensichtliche Vulnerabilität des Wirtschaftssystems durch Schwankungen und Versorgungsengpässe im Energiemarkt, insbesondere in der Versorgung mit Mineralöl getragen wurde.

Etwa 10 Jahre später im Jahr 1997 kündigte der Automobilkonzern Daimler öffentlichkeitswirksam das erste Brennstoffzellenfahrzeug in Serie für das Jahr 2002 an, ohne jedoch in die entsprechende Umsetzungsphase einzutreten.

Wiederum etwa 10 Jahre später startete die Bundesregierung im Jahr 2007 mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie eine hochbudgetierte Forschungs- und Entwicklungsinitiative, um die mit einer Wasserstoffindustrie für Deutschland verbundenen Chancen erschließbar zu machen. Im Juni 2020 verabschiedete die Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie, kurz darauf folgte die europäische Wasserstoffstrategie.

Was ist heute anders als vor 30 Jahren? Warum wird diese neue Hochphase für grünen Wasserstoff von Dauer sein und was macht Wasserstoff im Jahr 2020 zur Schlüsseltechnologie für die europäische Energiewende?

Mit dem Klimaschutzabkommen von Paris im Jahr 2015 hat die Weltgemeinschaft beschlossen, die globale Erwärmung auf unter 2°C bzw. möglichst unter 1,5°C seit Beginn der Industrialisierung zu begrenzen. Aufgrund mangelnder Fortschritte hinsichtlich der Reduktion der weltweiten Treibhausgasemissionen, der spürbar zunehmenden Bedrohung durch den Klimawandel und den wachsenden öffentlichen Druck, stärkere Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen hat die EU-Kommission im Herbst 2019 als neues Leitbild für Europa das Erreichen der Klimaneutralität bis spätestens 2050 formuliert, verbunden mit der

ehrgeizigen Zielsetzung, weltweit der erste klimaneutrale Kontinent zu werden. Das europäische Klimaschutzgesetz und der europäische „Green Deal“ sind die ersten Schritte zur Umsetzung.

Bisher gingen die europäischen ebenso wie die nationalen Szenarien zwar von einer Verringerung der Treibhausgasemissionen um –80% bis –95% gegenüber 1990 aus, die Maßnahmen ebenso wie die formulierten Zwischenziele zielten jedoch jeweils nur auf eine Minderung von –80%. Der Green Deal hebt nun klar die Handlungsfelder hervor und verdeutlicht, dass die neue Anforderung der Klimaneutralität jetzt auch die Sektoren in den Fokus rücken, die bei einer –80%-Strategie außer den üblichen Effizienzanstrengungen keine größeren strukturellen Änderungen erfahren hätten. Dies ist neben der energieintensiven Grundstoffindustrie (Stahlindustrie, Chemieindustrie, Mineralölwirtschaft, Zementindustrie) auch ein großer Teil des Verkehrssektors, da nunmehr auch der Luftverkehr, die internationale Seeschifffahrt und die nicht elektrifizierbaren Teile des Güterverkehrs adressiert werden müssen. Nur mit grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten wie synthetischen Kraftstoffen werden die Klimaziele im Verkehrssektor und das Ziel der klimaneutralen Produktion in der Industrie erreichbar sein. Zudem kann grüner Wasserstoff als Speicher eine Beschleunigung der Transformation im Stromsektor unterstützen.

Die rasante Entwicklung und Verbreitung der erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien, insbesondere der Photovoltaik und der Windenergie an Land, haben es zudem ermöglicht, dass heute Strom aus erneuerbaren Energien gerade im internationalen Kontext häufig die kostengünstigste Option der Stromerzeugung darstellt (u. a. BloombergNEF, 2020). Dies bildet die Basis für eine zukünftig zur heutigen fossil basierten Wasserstoffproduktion mit Erzeugungskosten zwischen 2,00 EUR/kg H₂ und 3,00 EUR/kg H₂ wettbewerbsfähige Erzeugung von grünem Wasserstoff (► **Abbildung 1**), was neben den Klimaschutzanforderungen ein zweites gewichtiges Argument für ein dauerhaftes Interesse an Wasserstofftechnologien ist.

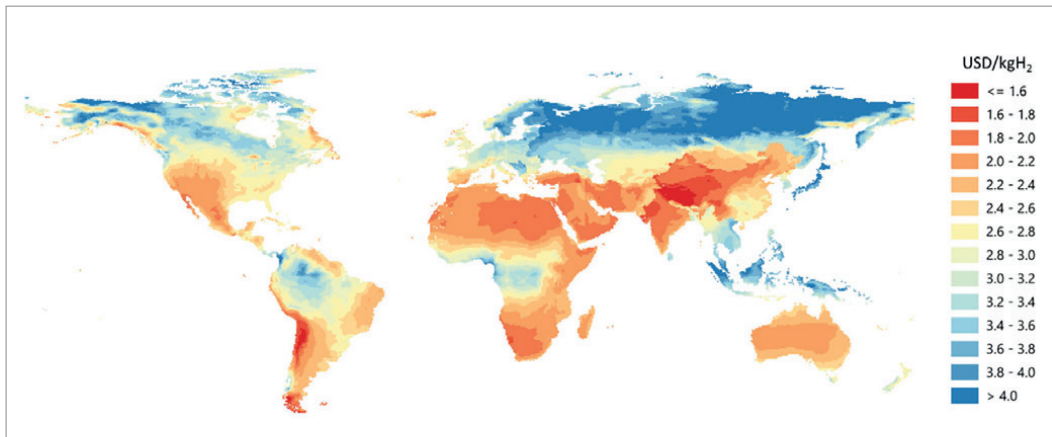


Abbildung 1:

**Zukünftige Wasserstoff-
erzeugungskosten**
aus Elektrolyse auf
Basis von erneuerbarem
Strom aus Photovoltaik
und Windenergie an
Land

(Quelle: IEA 2019)

Als dritter Aspekt kommt hinzu, dass zunehmend auch institutionelle Anleger auf der Suche nach zukunftssicheren Investitionsmöglichkeiten den Bereich der erneuerbaren Energietechnologien, zu denen auch grüner Wasserstoff zählt, entdecken, so dass ausreichend Kapital auch für den Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft vorhanden sein dürfte, sofern die politischen Rahmensetzungen dies entsprechend unterstützen (IIGCC, 2019).

Dass für die Bereitstellung und den Einsatz von Wasserstoff in Deutschland und der EU bereits zeitnah eine entsprechende Entwicklungsdynamik erreicht werden muss, gibt die EU-Kommission mit ihrer angestrebten „Ambitionierung“ des europäischen Klimaschutzziels für 2030 vor, da nunmehr eine Minderung der Treibhausgasemissionen um –55 % gegenüber 1990 statt der bisher angestrebten –40 % erreicht werden soll.

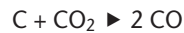
Wasserstoff – Türöffner für die klimaneutrale industrielle Produktion

Das hohe Interesse der Industrie an Wasserstoff, erklärt sich aus der Tatsache, dass viele Industrieprozesse gerade in der Grundstoffindustrie ohne den Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff nicht klimaneutral gestaltet werden können.

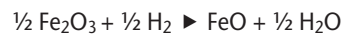
Beispiel Stahlproduktion

Im herkömmlichen Hochofenprozess mit Koks als Kohlenstoffquelle und Kohlenmonoxid als Reduktionsmittel entsteht zwangsläufig CO₂, während bei der Direktreduktion mit Wasserstoff eine kohlenstofffreie Reaktion abläuft:

Hochofenprozess:



Direktreduktionsverfahren mit Wasserstoff:

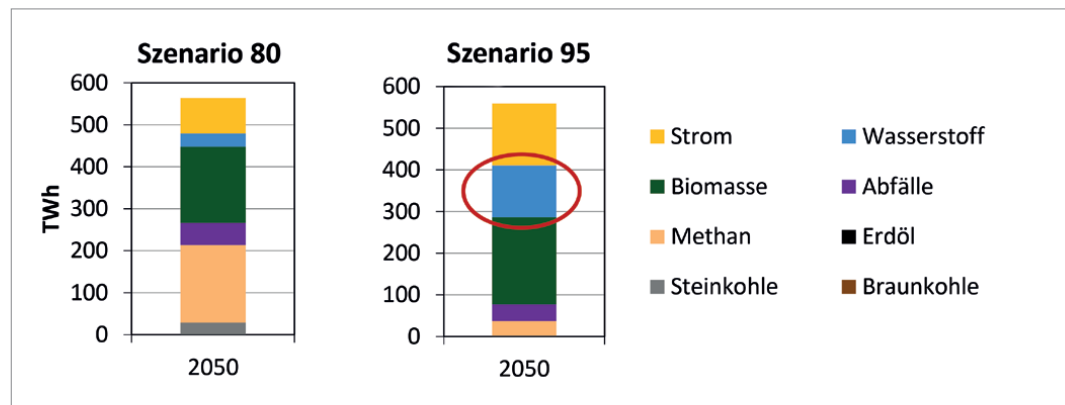


Bei der Direktreduktion fallen keine prozessbedingten CO₂-Emissionen an. Der entstehende Eisenschwamm, kann anschließend in einem Elektrolichtbogenofen (bei Bedarf gemeinsam mit Schrott) zu Rohstahl geschmolzen werden. Bei einer Bereitstellung des Wasserstoffs basierend auf 100 % erneuerbaren Energien ist diese Route nahezu CO₂-neutral (Minderungspotenzial 97 %) (Agora Energiewende und Wuppertal Institut, 2019).

Eine derartige Prozessumgestaltung ist mit entsprechend hohen Investitionsanforderungen verbunden, die nur getätigt werden, wenn der politische und regulatorische Rahmen entsprechend gestaltet wird – beispielsweise über Carbon-Contracts-for-Difference oder Carbon Border Adjustments, die die Mehrkosten für klimaneutralen Stahl im internationalen Wettbewerb ausgleichen bzw. gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Marktteilnehmer schaffen. Wenn dies zeitnah erfolgt, könnte sich ein „Window-of-opportunity“ öffnen, um die Stahlerzeugung zeitnah in Richtung Klimaneutralität zu entwickeln, da in den nächsten Jahren umfangreiche Neu- bzw. Ersatzinvestitionen anstehen.

Gelingt diese Transformation, werden in kurzer Zeit sehr große Mengen klimaneutralen Wasserstoffs benötigt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass eine Investitionsentscheidung seitens der Industrie nur dann getroffen werden wird, wenn die Versorgung mit klimaneutralem Wasserstoff entsprechend gesichert erscheint.

Abbildung 2:
**Wasserstoffeinsatz
 in der Prozesswärme-
 bereitstellung
 in der Industrie im
 Jahr 2050
 in Deutschland
 im Vergleich eines
 80%-THG-Minderungs-
 szenarios mit einem
 95%-THG-Minderungs-
 szenario**
 (Quelle: Robinius
 et al., 2020)



Beispiel Mineralölwirtschaft

Ein weiterer Industriesektor, der ohne grünen Wasserstoff keine Möglichkeit hat, klimaneutral zu werden, ist die Mineralölwirtschaft. Bei den Raffinerien wird dies besonders deutlich: Raffinerien stoßen weltweit jährlich ca. 1 Mrd. t CO₂ aus (Stand 2015). Davon entfallen etwa 128 Mio. t CO₂ pro Jahr (Stand 2014) auf Raffineriestandorte innerhalb Europas. Hier ist Deutschland mit 24 Mio. t CO₂ pro Jahr (Stand 2018) der größte Emittent. Um die Zahlen in Relation zu setzen sei darauf hingewiesen, dass die deutschen Raffinerien damit für 19% der Gesamtemissionen des ETS-pflichtigen Industriesektors in Deutschland verantwortlich sind.

Für eine klimaneutrale Raffinerie müssen die Strom- und Prozesswärmebereitstellung und die in der Raffinerie ablaufenden Prozesse zukünftig klimaneutral gestaltet werden. Dies ist aber nur möglich, wenn auch der verarbeitete Rohstoff – das Rohöl – bereits klimaneutral – d. h. frei von fossilem Kohlenstoff – ist, da nicht nur im Veredelungsprozess prozessbedingte CO₂-Emissionen anfallen, sondern gerade die anfallenden Neben- und Abfallprodukte wie Purge Gas zur Energieversorgung (Strom- und Prozesswärmebereitstellung) genutzt werden. Ohne einen Umstieg von fossilem Rohöl auf einen synthetischen Vorprodukt-Mix auf regenerativer Basis („Green Crude“), haben Raffinerien somit in einer klimaneutralen Welt im Jahr 2050 keinen Platz mehr. Das „Green Crude“ kann dabei auf Basis von grünem Wasserstoff mit CO₂ entweder über ein Fischer-Tropsch-Verfahren oder über die Methanol-Route synthetisiert werden. Dies kann an Standorten mit sehr guten Erzeugungsbedingungen für grünen Wasserstoff erfolgen. „Green Crude“ kann wie heute Rohöl importiert und über die vorhandene Rohöl-Transportinfrastruktur zur Raffinerie gelangen.

Dies ist jedoch nicht der einzige Wasserstoffbedarf, den eine Raffinerie aufweist: Raffinerien konsumieren heute weltweit für die Prozessschritte Hydrocracking und Hydrotreating etwa 25% der globalen Wasser-

stoffproduktion, die bei etwa 70 Mio. t/a liegt. In Deutschland gehen sogar etwa 40% der 1,6 Mio. t Wasserstoff pro Jahr in die Mineralölverarbeitung. Der Wasserstoff wird dabei überwiegend am Ort des Bedarfs via Dampfreformierung aus fossilem Erdgas gewonnen. Das entstehende CO₂ (ca. 10 kg CO₂ pro kg Wasserstoff) wird freigesetzt und trägt seinen Teil zu den heutigen Gesamtemissionen der Raffinerie bei. Diese könnten über den Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff bereits kurzfristig vermieden werden.

Beispiel Prozesswärmebereitstellung

Zu diesen unmittelbaren und speziellen Anwendungen von Wasserstoff in der Industrie kommt ein weiterer Bereich hinzu – die Prozesswärmebereitstellung. Gerade der Bedarf an Hochtemperaturprozesswärme (> 500°C) lässt sich mit erneuerbaren Wärmeträgern (Solarthermie, Geothermie, Biomasse) nur in begrenztem Umfang bedienen. Hier kann klimaneutraler Wasserstoff eine wichtige Lücke schließen, wie ► *Abbildung 2* zeigt.

Wasserstoff-Roadmaps – potenzielle Absatzmärkte/Lieferländer von morgen

Betrachtet man exemplarisch die Markthochlaufszenarien der „Hydrogen Roadmap Europe“ und der „Roadmap to a US Hydrogen Economy“ wird deutlich, dass im Jahr 2030 die Unterschiede zwischen dem jeweiligen Basisszenario und dem ambitionierten Szenario noch nicht sehr groß sind. Dies zeigt, dass sich die Anwendungstechnologien wie die genannten Industrieprozesse aber auch neue Konzepte wie Brennstoffzellenantriebe im Verkehr erst etablieren müssen und die Marktdiffusion bis 2030 noch überschaubar sein wird. Entscheidend wird auf der Nachfrageseite sein, die notwendige Dynamik in der Marktdurchdringung zu erreichen, die langfristig den Weg in eine Wasserstoffwirtschaft sichert.

Parallel zur Nachfrageseite muss die Anwendungsseite entwickelt werden, denn auch die Produktionskapazitäten für klimaneutralen Wasserstoff insbesondere für die Wasserelektrolyse müssen erst entwickelt, errichtet und in Betrieb genommen werden, zumal diesbezüglich noch wichtige Hürden im Rahmen der Skalierung der Technologien in den Multi-Megawatt-Maßstab zu nehmen sind.

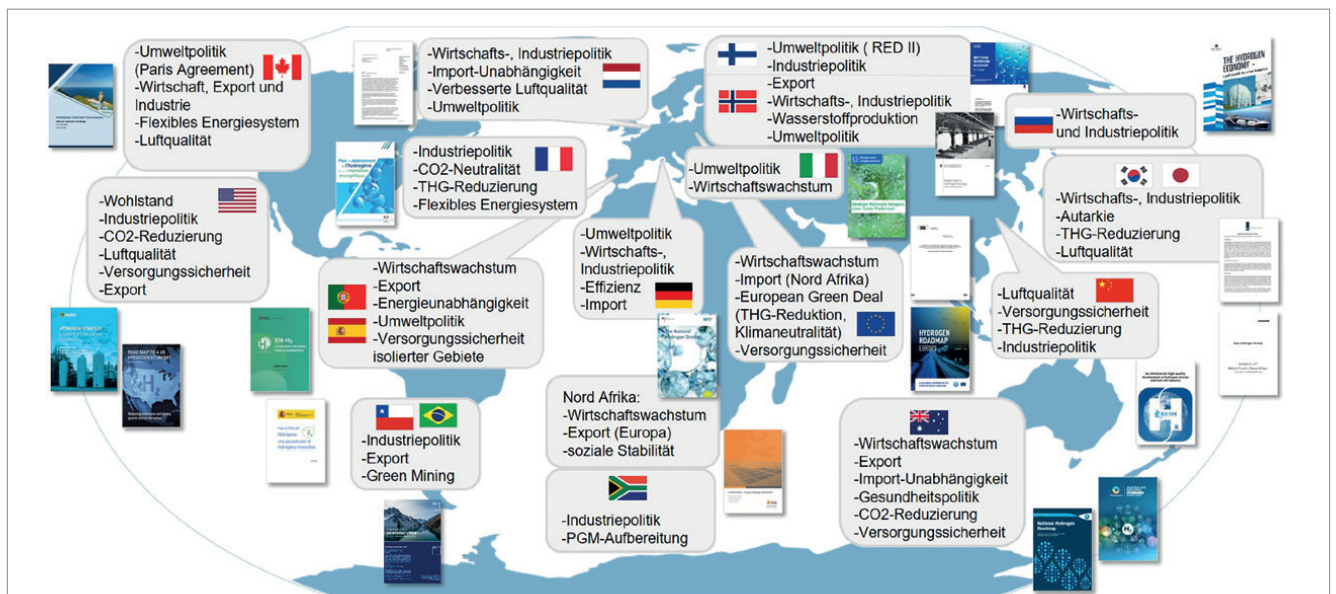
Für Deutschland stellt sich in diesem Kontext die Frage, wie langfristig eine deutlich steigende Nachfrage nach klimaneutralem Wasserstoff gedeckt werden kann und sollte. Mehrere Optionen werden diskutiert, auch wenn bereits klar ist, dass Deutschland in einer klimaneutralen Wasserstoffzukunft Energieimportland bleiben wird. Offen ist jedoch noch, was und wieviel importiert werden wird.

In einer dezentral ausgelegten Power-to-X-Versorgungsstruktur müssten die Anlagen lastflexibel sein, könnten die lokale Sektorenkopplung und damit die Netzintegration unterstützen. Eine Kopplung mit bestehenden Bioenergie- und Industrieprozessen wäre vielfältig möglich (z. B. Biogas, Bioethanol, BTL) und würde somit die Nutzung lokaler erneuerbarer Kohlenstoffquellen erlauben und im Sinne von SynBioPTx Synergien von biomasse- und strombasierten Technologien erschließen. Die Anlagengrößen wären eher klein bis mittelgroß (1 – 100 MW Elektrolyseleistung). Hierfür wäre ggf. der Import von erneuerbarem Strom aus dem europäischen Ausland erforderlich, wenn in Deutschland kein weiterer Zubau realisiert wird.

Dagegen würden in einer zentral ausgelegten Power-to-X-Struktur Anlagen ausschließlich für eine möglichst konstante Erzeugung von chemischen Energieträgern konzipiert. Die Produktion findet dann vorzugsweise an optimalen Standorten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien statt (auch im inner- oder außereuropäischen Ausland oder offshore). Die Anlagengrößen sind groß bis sehr groß (100 – 5.000 MW Elektrolyseleistung). Aus diesen Anlagen kann entweder Wasserstoff nach Deutschland importiert werden, sofern die entsprechenden Transportinfrastrukturen aufgebaut werden können, oder der Wasserstoff wird zu Syntheseprodukten wie „Green Crude“, Methanol oder Ammoniak weiterverarbeitet und über bestehende Transportrouten und Infrastrukturen nach Deutschland gebracht.

Auch wenn Deutschland nennenswerte Erzeugungspotenziale für Wasserstoff aufweist (DVGW-Forschungsvorhaben, 2019), nehmen die meisten Szenarien langfristig erhebliche Wasserstoffimportmengen an. Dies zeigt auch ein 100%-EE-Szenario für Niedersachsen, das im Jahr 2019 bereits einen Anteil von 88,6% erneuerbarer Energie am Stromsektor vorweisen konnte. Mit aus heutiger Sicht gesellschaftlich akzeptablen Ausbauzielen (30 GW Wind an Land, 15 GW Freiflächen-PV, vollständige Nutzung des Offshore-Potenzials) reichen die angestrebten Kapazitäten nicht aus, um den gesamten Energiebedarf in Niedersachsen selbst decken zu können, so dass ein Viertel der Primärenergie als grüner Energieträger (Fokus Wasserstoff) importiert werden muss. Im Vergleich zu heute sinkt damit die Importquote von rund 300 TWh auf ca. 100 TWh deutlich.

Abbildung 3:
Weltweite Wasserstoff-Roadmaps und -Strategien
(Quelle: Fraunhofer ISE)



Die entstehenden Importbedarfe werden die Energieimportsysteme und -strukturen deutlich verändern. Neue Energiepartnerschaften und Lieferbeziehungen müssen angebahnt und etabliert werden. Dies gilt gerade vor dem Hintergrund der rasanten internationalen Entwicklung, die Wasserstoff erfährt.

Wie ► *Abbildung 3* zeigt, ist weltweit eine Vielzahl an Ländern aktiv und hat bereits eine Wasserstoffstrategie entwickelt oder ist auf dem Weg dorthin. Wasserstoff wird also weltweit als Schlüsseltechnologie für die Klimaneutralität und den Wandel von Industriestrukturen wahrgenommen und man will die damit verbundenen Chancen nutzen. Deutschland hat eine sehr gute Ausgangsposition – insbesondere auch im Bereich Forschung und Entwicklung – und sollte daher aktiv die mit einer Wasserstoffzukunft verbundenen Chancen nutzen und die damit verbundenen Wertschöpfungspotenziale insbesondere auch im Maschinen- und Anlagenbau und im Technologieexport heben.

Referenzen

- Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin, November 2019.
- BloombergNEF (2020): Sweden, Spain the Cheapest European Markets for Wind and Solar Corporate PPAs, BNEF Survey Finds; London, 02. April 2020.
- DVGW-Forschungsvorhaben (2019): Ermittlung des Gesamtpotentials erneuerbarer Gase zur Einspeisung ins deutsche Erdgasnetz.
- IEA (2019): The Future of Hydrogen; Technology report – June 2019.
- IIGCC (2019): The Institutional Investors Group on Climate Change; Open letter to EU leaders, 6th December 2019.
- Robinius et al. (2020) Wege für die Energiewende, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Energie & Umwelt Bd. 499.