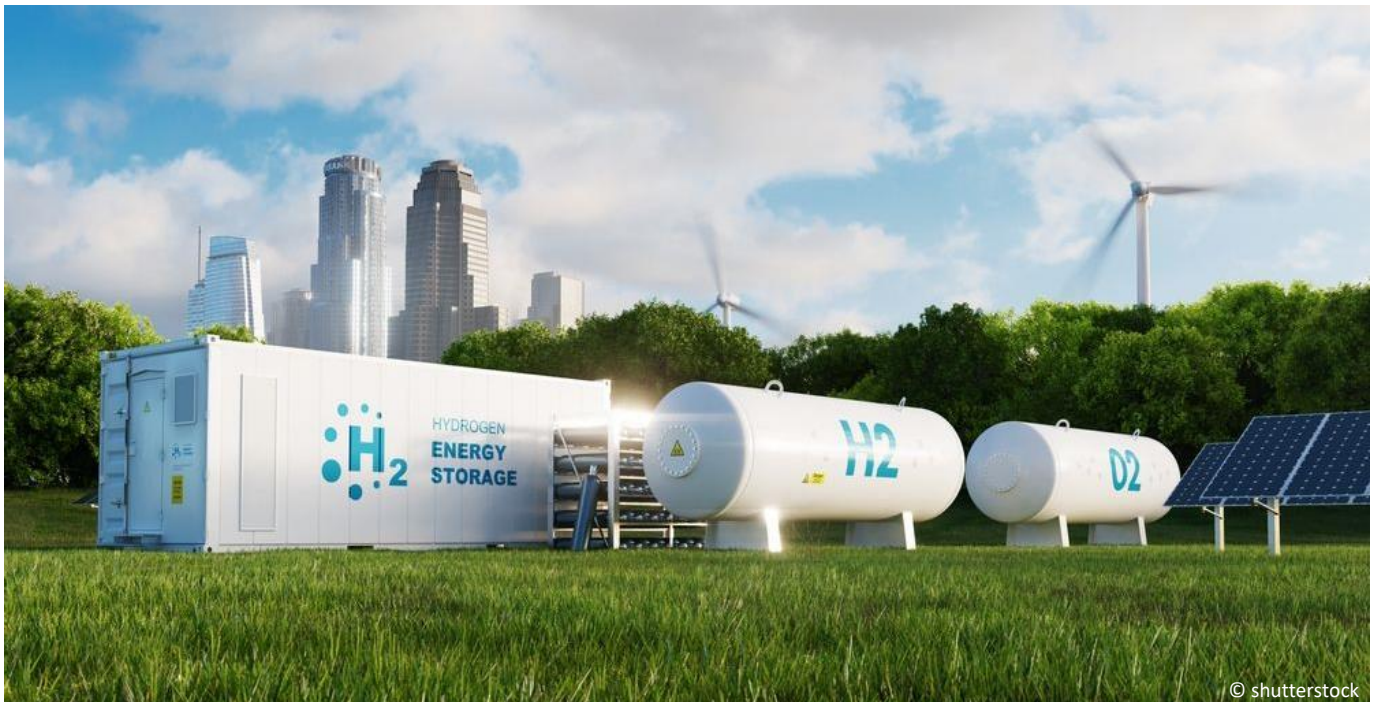


Wie grüner Wasserstoff Europa unabhängiger macht

Im Streben der EU nach nicht-fossilen Energiequellen bildet Wasserstoff ein wichtiges Element.

André Wolf



© shutterstock

Aus regenerativem Strom erzeugter Wasserstoff wird ein vielfältig einsetzbarer Baustein auf dem Weg zur Energieunabhängigkeit sein. Voraussetzung: eine kluge Förderpolitik. Sie muss regulatorische Hemmnisse beseitigen und technische Stärken und Schwächen berücksichtigen.

Kernthesen:

- ▶ **Ein europaweiter Wasserstoffmarkt** kann die Grundlagen für eine neue, effizienzfördernde industrielle Arbeitsteilung in Europa schaffen.
- ▶ **Die ausreichende Verfügbarkeit von EE-Strom** stellt den entscheidenden Engpass auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft dar.
- ▶ **Politische Anstrengungen für den Markthochlauf** sollten sich primär auf die Förderung heimischer Stromerzeugungskapazitäten und den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur fokussieren. Die Art der Verwertung des Wasserstoffs entscheidet sich dann am Markt.
- ▶ **Vertraglich fixierte CO₂-Preise** und andere Formen der Risikoübernahme können dazu beitragen, Planungsunsicherheit auf der Nutzerseite zu lindern.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund	3
2	Nutzungspotenziale von grünem Wasserstoff	4
2.1	Gegenwärtige Anwendungsfelder von Wasserstoff	4
2.2	Zukünftige Anwendungsfelder	5
2.2.1	Grüner Wasserstoff als Energiespeicher	5
2.2.2	Nutzung in der Industrie.....	5
2.2.3	Nutzung in der Gebäudebeheizung.....	6
2.2.4	Nutzung im Mobilitätssektor.....	7
3	Wasserstoffproduktion in Europa	8
3.1	Räumliche Verteilung	8
3.2	Hemmnisse beim Ausbau von Elektrolysekapazitäten	9
3.2.1	Technische Hemmnisse	9
3.2.2	Regulatorische Hemmnisse	10
3.3	Kostenentwicklung	11
4	Förderung von Wasserstoffmärkten in der EU	12
4.1	Die EU-Wasserstoffstrategie	12
4.2	Die Rolle von Wasserstoff in den „Fit-for-55“-Gesetzesvorschlägen.....	13
4.3	Das EU-Legislativpaket zu Wasserstoff und dekarbonisiertem Gas.....	14
5	Mögliche Maßnahmen für einen beschleunigten Markthochlauf	15
5.1	Maßnahmen zur Stärkung der Erzeugung.....	15
5.2	Maßnahmen zur Stärkung von Nutzung und Transport.....	16
6	Fazit	17

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Gegenwärtige globale Produktions- und Nutzungspfade von Wasserstoff.....	4
Abb. 2:	Gegenwärtige Verteilung der Wasserstoffproduktion in Europa	9
Abb. 3:	Aufbau der EU-Wasserstoffstrategie	13

1 Hintergrund

Russlands Angriff auf die Ukraine hat in der Europäischen Union nicht nur eine Debatte um verschärfte Sanktionen gegen Russland entfacht, sondern auch Bestrebungen zur Verringerung der allgemeinen Abhängigkeit von Brennstoffimporten bzw. zur Diversifizierung von Bezugsländern Auftrieb gegeben. Als vorläufige Antwort hat die Europäische Kommission am 08.03.2022 ihren Plan *REPowerEU*¹ vorgestellt, mit dessen Hilfe u.a. die Unabhängigkeit Europas vom Import fossiler Brennstoffe noch schneller als bislang geplant ermöglicht werden soll.² Neben einer Diversifizierung der Bezugsquellen von Erdgas und einer Steigerung der Energieeffizienz ist der beschleunigte Ausbau erneuerbarer Energien ein Eckpfeiler der Strategie. Damit ist nicht nur der Einsatz von Wind- und Solarenergie in der Stromerzeugung gemeint, sondern explizit auch die verstärkte Produktion und Nutzung erneuerbarer Gase. Dabei ruhen die Hoffnungen insbesondere auf „grünem“ Wasserstoff. Hierbei handelt es sich um Wasserstoff, der über die elektrolytische Zersetzung von Wassermolekülen gewonnen wird, wobei als Energiequelle ausschließlich Strom aus regenerativen Quellen zum Einsatz kommt. Der so erzeugte Wasserstoff ist nicht nur nahezu klimaneutral, sondern prinzipiell auch vielfältig einsetzbar. Neben einer Rolle als Langfristspeicher von Energie und damit als Hilfe bei der Systemintegration volatiler Stromerzeugung aus Wind und Sonne steht er für vielfältige Endanwendungen in den Sektoren Wärme, Verkehr und Mobilität zur Verfügung. Dabei wirkt er in vielen Fällen unmittelbar als Substitut von Erdgas oder Mineralölzeugnissen, was ihn in der gegenwärtigen Situation besonders attraktiv macht. Im Gegensatz zur Nutzung von Biomasse als alternativer Energiequelle ergeben sich auch geringere Probleme im Zusammenhang mit Flächennutzung. In Anlehnung an die Marketingidee US-amerikanischer Energieexporteure könnte so von grünem Wasserstoff als einem „green freedom gas“ gesprochen werden.

Über den Versorgungsgedanken hinaus ist grüner Wasserstoff als aufstrebende Technologie auch aus industriepolitischer Perspektive von potenziell hoher strategischer Relevanz. Über einen Frontrunner Status im Aufbau internationaler Wertschöpfungsketten könnte Europa nicht nur industrielle Wertschöpfung in von Transformation betroffenen Segmenten sichern. Die EU könnte, wie zuletzt in der EU-Normungsstrategie skizziert, den Markthochlauf auch als Mittel nutzen, um globale Standards (z.B. Anforderungen an Sicherheit, Reinheit, Nachhaltigkeit in Erzeugung und Transport) zu definieren und so ein level playing field für EU-Unternehmen auf globalen Zukunftsmärkten zu erzeugen. Wasserstoff bietet sich aufgrund seiner prinzipiell vielfältigen Anwendbarkeit in besonderem Maße für eine solche übergreifende industriepolitische Zielsetzung an.

Die Potenziale von grünem Wasserstoff sind seit geraumer Zeit bekannt und auf europäischer Ebene in der Europäischen Wasserstoffstrategie adressiert. Das politische Klima für den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft in Europa ist zurzeit aber so günstig wie noch nie. Neben dem Ukraine-Krieg liegt dies auch an den im „Fit-for-55“-Paket vorgeschlagenen Verschärfungen der EU-Klimapolitik. Dennoch verbleiben noch technische und regulatorische Hürden für den Markthochlauf von grünem Wasserstoff. So belasten hohe Fixkosten in der Elektrolyse und die chemischen Eigenschaften von Wasserstoff (Flüchtigkeit, Reaktionsfreudigkeit) die preisliche Wettbewerbsfähigkeit. In den meisten möglichen Anwendungsfeldern sieht sich Wasserstoff mit der Direktnutzung von regenerativem Strom einer starken klimaneutralen Konkurrenz gegenüber. Ein zu langsamer Ausbau von Windstromkapazitäten

¹ Europäische Kommission (2022). [REPowerEU: gemeinsames europäisches Vorgehen für erschwinglichere, sichere und nachhaltige Energie](#). Mitteilung COM(2022) 108 final.

² Siehe hierzu: Reichert, G., Schwind, S., Menner, M. (2022). [REPowerEU: Struggling for EU Energy Sovereignty](#). cepAdhoc Nr. 4/2022.

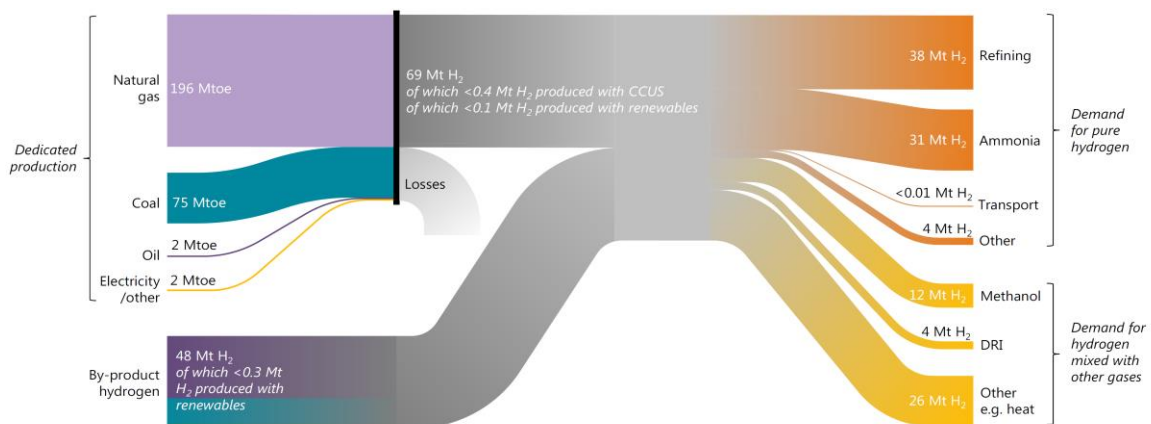
und fehlende Transportinfrastruktur stellen zudem externe kapazitätsseitige Engpässe dar. Die Folge sind Planungsunsicherheit und zögerliches Investitionsverhalten. Ohne weitere politische Impulse wird ein europäischer Markt für Wasserstoff nicht entstehen können. Vor diesem Hintergrund muss die Rolle von grünem Wasserstoff in der zukünftigen Dekarbonisierung Europas sorgfältig geprüft werden. Insbesondere stellt sich die Frage, mit welchen regulatorischen Instrumenten ein Markthochlauf beschleunigt werden kann und auf welche Anwendungsgebiete sich der Förderrahmen konzentrieren sollte. Dieser Artikel liefert hierzu Denkanstöße. Er gibt einen Überblick über die Nutzungspotenziale von grünem Wasserstoff, zeigt gegenwärtige Hemmnisse auf und diskutiert Ansätze für ergänzende Maßnahmen.

2 Nutzungspotenziale von grünem Wasserstoff

2.1 Gegenwärtige Anwendungsfelder von Wasserstoff

Das Einsatzgebiet von Wasserstoff beschränkt sich gegenwärtig noch weitgehend auf den industriellen Bereich. Dabei dominiert eindeutig die Nutzung als Rohstoff. Zwei Industrien stehen hier im Zentrum: die chemische Industrie und die Mineralölindustrie. In der chemischen Industrie wird reiner Wasserstoff zusammen mit Stickstoff für die Herstellung von Ammoniak und weiterer, daraus abgeleiteter Düngemittel eingesetzt. In Verbindung mit CO₂ wird mit Hilfe von Wasserstoff der wichtige chemische Grundstoff Methanol erzeugt. Die Erzeugung sonstiger synthetischer Kraftstoffe erfolgt über ähnliche Prozessrouten. In der Mineralölindustrie wird Wasserstoff sowohl als Rohstoff als auch als Energieträger in der Aufbereitung von Rohöl eingesetzt. In verschiedenen Hydrierverfahren dient der Wasserstoff dabei zur Entfernung von Unreinheiten, insbesondere von Schwefel.³ Der Einsatz als Energieträger im Transportsektor und Wärmebereich spielt demgegenüber bislang global eine untergeordnete Rolle. Die Erzeugung des industriell genutzten Wasserstoffs ist gegenwärtig noch alles andere als nachhaltig. Er wird größtenteils als sogenannter „grauer“ Wasserstoff mittels Dampfreformierung von Erdgas gewonnen, wobei CO₂-Emissionen entstehen (siehe Abbildung 1). Ein ebenfalls häufiger und gleichfalls emissionsintensiver Produktionsweg ist die Vergasung von Braun- oder Steinkohle („brauner“ bzw. „schwarzer“ Wasserstoff). Die strombasierte Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse befindet sich demgegenüber aktuell noch in der Startphase.

Abb. 1: Gegenwärtige globale Produktions- und Nutzungspfade von Wasserstoff



Quelle: IEA (2019).

³ IEA (2019). [The future of hydrogen](#). International Energy Agency.

2.2 Zukünftige Anwendungsfelder

2.2.1 Grüner Wasserstoff als Energiespeicher

Der Einsatz von Strom aus Wind- und Solarkraft in der Wasserstoffproduktion ermöglicht die Umwandlung einer in ihrem Angebot zeitlich-schwankenden Energieform in einen stabilen und gut speicherbaren Energieträger. Der erzeugte Wasserstoff kann auf verschiedene Weisen langfristig gelagert werden: Er kann verdichtet und in Drucktanks oder Kavernenspeichern gespeichert werden, er kann auf einen flüssigen Aggregatzustand heruntergekühlt und in Flüssiggasspeichern gelagert oder in bestimmten Feststoffen adsorbiert werden. Dabei ist jederzeit die Rückumwandlung in elektrische Energie möglich, beispielsweise über den Einsatz als Brennstoff in Gaskraftwerken oder Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung.⁴

Angesichts der potenziell großen Speicherkapazitäten kann grünem Wasserstoff im europäischen Energiesystem der Zukunft damit eine wichtige Rolle als Systemdienstleister zukommen. Mit wachsendem Anteil volatiler Energieträger nimmt die Häufigkeit temporärer Stromerzeugungsüberschüsse weiter zu. Für den Teil der Überschüsse, der nicht unmittelbar einer sinnvollen Verwertung in anderen Sektoren zugeführt werden kann, muss eine Speichermöglichkeit als Zwischenlösung geschaffen werden. Die Umwandlung in Wasserstoff kann hier als Ergänzung zu anderen Speichertechnologien wie Batteriespeicher und Pumpspeicher wirken.

Wirtschaftliche Rentabilität entsteht über die Ausnutzung von Preisschwankungen: Strom kann in Zeiten des Überschusses zu geringen Preisen zur Speicherung umgewandelt und in Hochpreisphasen wieder rückverstromt werden. In diesem Zusammenhang ist auch die Tätigkeit als Anbieter auf dem Regenerativenergiemarkt mit entsprechender Vergütung der Netzdienstleistung möglich. Schätzungen zeigen, dass Wasserstoff vor allem in der langfristigen Speicherung von Strom (Überbrückung längerfristiger Angebotsengpässe und saisonaler Variabilität) Vorteile besitzt und dort mittelfristig alternativen Technologien wie Pumpspeichern kostentechnisch überlegen sein wird.⁵ Voraussetzungen sind die Verfügbarkeit hoher Mengen an überschüssiger erneuerbarer Energie und Verbesserungen im Wirkungsgrad der Umwandlungsschritte (siehe Abschnitt 3.2). Dies hat auch Auswirkungen auf den Beitrag zur Effizienz des Energiesystems insgesamt. So entstehen zwar mittelfristig höhere Kosten durch den Rückgriff auf Power-to-Gas als Speichertechnik, bei langfristig ambitionierten Klimazielen (Treibhausgasminderungen von 95% und mehr) fallen die Systemkosten aber mit Wasserstoff niedriger aus als ohne.⁶ Wasserstoffspeicher sind damit in erster Linie als Option für die fortgeschrittene Phase des Systemumbaus Richtung Klimaneutralität zu betrachten.

2.2.2 Nutzung in der Industrie

Auch zukünftig wird Wasserstoff als Rohstoff für die Produktion von Stickstoffdüngern, und damit die Aufrechterhaltung der agrarwirtschaftlichen Produktivität, unverzichtbar bleiben. Der Einsatz von aus regenerativem Strom gewonnenen Wasserstoff verbessert hier nicht nur die Klimabilanz der Düngemittelherstellung. Die zurzeit im Raum stehende Gefahr eines längerfristigen Exportverbots von

⁴ IPP (2019). Potenzialstudie Wasserstoffwirtschaft. IPP ESN Power Engineering.

⁵ Schmidt, O., Melchior, S., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). Projecting the future levelized cost of electricity storage technologies. *Joule*, 3(1), 81-100.

⁶ Michalski, J., Altmann, M., Bünger, U., & Weindorf, W. (2019). Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie NRW: Düsseldorf, Germany.

russischen Mineraldüngern stellt für Europa auch eine Chance dar, über eine Ausweitung der heimischen Produktion in diesem Bereich Unabhängigkeit zu erlangen. Eine konkrete Herausforderung für die Ammoniakproduktion besteht darin, neben dem Wasserstoff auch den üblicherweise ebenfalls über den Prozess der Dampfreformierung gewonnenen Stickstoff durch alternative Verfahren zu generieren. Hierzu werden gegenwärtig Technologien erforscht, die Stickstoff in Reinform aus der Zerlegung des Stoffgemischs der Luft generieren, u.a. ebenfalls unter Einsatz von Elektrolyseverfahren.⁷

Darüber hinaus eröffnet die technologische Entwicklung auch neue Anwendungsfelder für den Einsatz von Wasserstoff in der Industrie. So kann aus Wasserstoff in Kombination mit abgedichtetem CO₂ Methanol hergestellt werden. Neben seiner Rolle als Grundstoff für die Herstellung einer Vielzahl an chemischen Produkten (u.a. Formaldehyd, Essigsäure) ist Methan aus der Perspektive der Energieunabhängigkeit vor allem in seiner möglichen Rolle als synthetischer Kraftstoff für den Mobilitätssektor sehr interessant (siehe Abschnitt 2.2.4).⁸ Eine Umstellung der bislang weitgehend auf Erdgas basierenden Methanolproduktion auf grünen Wasserstoff schafft neben einer unmittelbaren Dekarbonisierung dieses Industriezweigs somit auch zusätzlichen Anwendungsspielraum für gespeicherte erneuerbare Energie.

Neben dem Einsatz als Rohstoff kann Wasserstoff auch indirekt als Hilfsstoff für chemische Prozesse zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse beitragen. Besonders im Fokus steht hier der Betrag zu neuen Produktionsverfahren für die Stahlindustrie als bisherigen Großemittenten von CO₂. Die herkömmliche, CO₂-intensive Form der Stahlgewinnung, Schmelzen von Eisenerz unter Einsatz von Koks in Hochöfen, kann durch sogenannte Direktreduktionsverfahren ersetzt werden. Dabei wird das Eisenerz nicht geschmolzen, sondern zu festem Eisenschwamm reduziert, wobei als Reduktionsmittel sowohl Erdgas als auch Wasserstoff in Frage kommen. Die Verwendung von grünem Wasserstoff kann somit die CO₂-Bilanz des Prozesses deutlich verbessern. Für die anschließende Weiterverarbeitung des Eisenschwamms zu Rohstahl muss als weiterer Prozessschritt allerdings ein Schmelzprozess in Elektrolichtbogenöfen durchlaufen werden, wobei große Mengen an Strom als Energieträger benötigt werden.⁹ Neben dem Beitrag zu Dekarbonisierung ist für die Bewertung eines Umstiegs auf H₂-basierte Prozesse daher immer auch die Wirkung auf die Energiebilanz des Gesamtsystems zu berücksichtigen.

2.2.3 Nutzung in der Gebäudebeheizung

Wasserstoff kann in seiner Eigenschaft als Brennstoff grundsätzlich auch zur Beheizung von Produktionsanlagen, Wohnungen und sonstigen Gebäuden eingesetzt werden. Er kann in Gas-Brennwertheizungen zur lokalen Wärmeversorgung verbrannt oder in Blockheizkraftwerken für die Wärmeversorgung über Fernwärmenetze verwendet werden. Innerhalb gewisser technischer Limitationen kann für den notwendigen Transport des grünen Wasserstoffs zu den Wärmeverbrauchern auf die bestehende Gasnetz-Infrastruktur zurückgegriffen werden. Die Verwendung von grünem Wasserstoff im Wärmesektor steht allerdings einer harten Konkurrenz an weiteren klimaneutralen Heiztechnologien gegenüber. Dazu zählt vor allem die Direktverwendung von Strom aus erneuerbaren Energien (Power-to-Heat) in Form von Wärmepumpen und Elektrodenheizkesseln. Hier sind prinzipiell Wirkungsgrade von nahezu 100% bzw. im Falle von Wärmepumpen sogar weit mehr als 100% möglich, wodurch die Power-to-Gas Technologie auf diesem Anwendungsgebiet auch bei zukünftigen Steigerungen des

⁷ [Fraunhofer Institut für Keramische Systeme und Technologien \(IKTS\) \(2020\).](#)

⁸ Gulden, J., Sklarow, A., & Luschtinetz, T. (2018). New means of hydrogen storage—the potentials of methanol as energy storage for excessive windpower in North Germany. In E3S Web of Conferences (Vol. 70, p. 01004). EDP Sciences.

⁹ Dena (2022). [Einsatzgebiete für Power Fuels.](#)

Wirkungsgrads effizienztechnisch im Schatten bleiben wird.¹⁰ Hinzu kommt die Nutzung biologischer Energieträger (Biomethan, Holzpellets) sowie im Fernwärmebereich der industriellen Abwärme als weitere klimaschonende Heizalternativen. In diesem Feld ist grüner Wasserstoff daher vor allem für eine Übergangsphase interessant, in der es darum geht, den CO₂-Fußabdruck des europäischen Wärmesektors auf Basis des gegenwärtigen Bestandes an Heiztechnologien möglichst zügig zu senken. Dies gilt vor allem für Länder mit gegenwärtig hohen Anteilen von Gas am Wärmemix. Moderne Gas-Brennwertheizungen können relativ hohe Beimischungsquoten von Wasserstoff (gemäß dem Hersteller Vaillant bis zu 30%¹¹) vertragen. Bei gleichzeitiger Förderung der Investition in regenerative Heiztechnologien mit höherem Wirkungsgrad könnte grüner Wasserstoff so den Boden für einen graduellen Ausstieg aus der fossilen Wärmeversorgung bereiten.

2.2.4 Nutzung im Mobilitätssektor

Für die Verwendung von grünem Wasserstoff als Antriebsmittel für Fahrzeuge stehen potenziell mehrere Technologien zur Verfügung. Am stärksten in der Diskussion ist die Brennstoffzellentechnologie. In der Wasserstoff-Brennstoffzelle wird Energie aus der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff in Strom umgewandelt. Brennstoffzellenfahrzeuge tanken daher Wasserstoff und nutzen den gewonnenen Strom als Antriebsenergie. Daneben existiert auch die Möglichkeit, über Wasserstoff-Verbrennungsmotoren den Wasserstoff unmittelbar als Kraftstoff zu nutzen. Der Wasserstoff wird hierfür zuvor komprimiert oder verflüssigt. Alternativ kann grüner Wasserstoff auch mittelbar als Ausgangspunkt für die Herstellung klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe zur Verkehrswende beitragen. Die Einsatzmöglichkeiten der Technologien und die Konkurrenzsituation zu batterieelektrischen Fahrzeugen unterscheiden sich dabei je nach Verkehrsträger.

Infolge des (im komprimierten Zustand) hohen Energiegehalts des Wasserstoffs kommen wasserstoffbasierte Antriebe grundsätzlich auf Reichweitevorteile gegenüber batteriebetriebenen Fahrzeugen. Auch ist der Tankvorgang deutlich weniger zeitaufwendig.¹² Diesen Vorteilen steht allerdings ein deutlich geringerer Wirkungsgrad als bei Batteriefahrzeugen gegenüber. Eine Studie von Horváth & Partners schätzt hier Durchschnittswerte von 25% bis 35%, gegenüber 70% bis 80% bei batterieelektrischen Fahrzeugen.¹³ Die größere Zahl an Umwandlungsschritten ist hierfür zum Teil verantwortlich. Zudem fallen auch die Umwandlungsverluste in der Brennstoffzelle selbst deutlich höher aus als in der Batterie. Die wasserstoffbasierte Produktion synthetischer Kraftstoffe weist infolge des zusätzlichen Herstellungsschritts einen noch geringeren Wirkungsgrad auf. Zudem verteuert sich hier die Produktion noch durch den erforderlichen Einsatz von seltenen Metallen als Reaktionsbeschleuniger. Entscheidender Vorteil bei diesem Energieträger ist jedoch die Tatsache, dass er in flüssiger Form vorliegt und auch sonst mit herkömmlichen mineralölbasierten Kraftstoffen vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die vorhandene Transport- und Speicherinfrastruktur für Flüssigkraftstoffe kann so unmittelbar genutzt werden. Synthetische Kraftstoffe können auch dem Benzin für Otto-Motoren beigemischt bzw. diese unter geringem Aufwand auf die Komplettnutzung von synthetischen Kraftstoffen umgerüstet

¹⁰ Gerhardt, N., Bard, J., Schmitz, R., Beil, M., Pfennig, M., & Kneiske, T. (2020). Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Fokus Gebäudewärme. Studie zum Einsatz von H₂ im zukünftigen Energiesystem unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudewärmeversorgung.

¹¹ BBB (2022). [Neue Heizgeräte versprechen Durchbruch beim Wasserstoff](#). BundesBauBlatt 1-2/2022.

¹² VDI/VDE (2019). Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge - Bedeutung für die Elektromobilität. VDI/VDE-Studie Mai 2019.

¹³ Horváth & Partners (2019). Automobilindustrie 2035 – Prognosen zur Zukunft.

werden. Bei Verwendung von Methanol als synthetischen Kraftstoff steht mit der Methanol-Brennstoffzelle eine weitere innovative Antriebstechnologie zur Verfügung.¹⁴

In Bezug auf den Straßenverkehr herrscht weitgehend Konsens, dass wasserstoffbasierte Antriebe sich auf den Gütertransport im Langstreckenbereich, primär den Schwerlastverkehr, konzentrieren sollten. In diesem Mobilitätssegment kann der Brennstoffzellenantrieb seinen primären Vorteil der höheren Energiedichte gegenüber batteriebetriebenen Fahrzeugen ausspielen: Höhere Reichweiten sorgen hier für Wirtschaftlichkeit. Wasserstoffbasierte synthetische Kraftstoffe können ergänzend in diesem Segment eine Option darstellen, um die Bestandsflotte an LKWs zeitnah zu dekarbonisieren. Im Schiffs- und Luftverkehr gelten andere Voraussetzungen. Batterieelektrische Antriebe sind hier auf größeren Distanzen weitgehend unpraktikabel. Damit wird grünem Wasserstoff eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung dieser Verkehrsträger zukommen. Im Schiffsverkehr stehen unterschiedliche Wasserstofftechnologien in unmittelbarer Konkurrenz. Neben der Brennstoffzelle und der Entwicklung synthetischer Schiffskraftstoffe wird hier auch die Direktnutzung über Wasserstoff-Verbrennungsmotoren erforscht. Im Luftverkehr schließlich wird grüner Wasserstoff als Grundbaustein für die Herstellung von synthetischem Kerosin zukünftig eine entscheidende Rolle spielen.¹⁵ Mangels praktikabler Alternativen werden die langfristigen Ziele der Treibhausgasreduzierung in der Luftfahrt zumindest auf längeren Strecken nur über die großflächige Substitution von fossilem durch synthetisches Kerosin, ergänzt durch den Einsatz von Biokraftstoffen, zu erreichen sein.

3 Wasserstoffproduktion in Europa

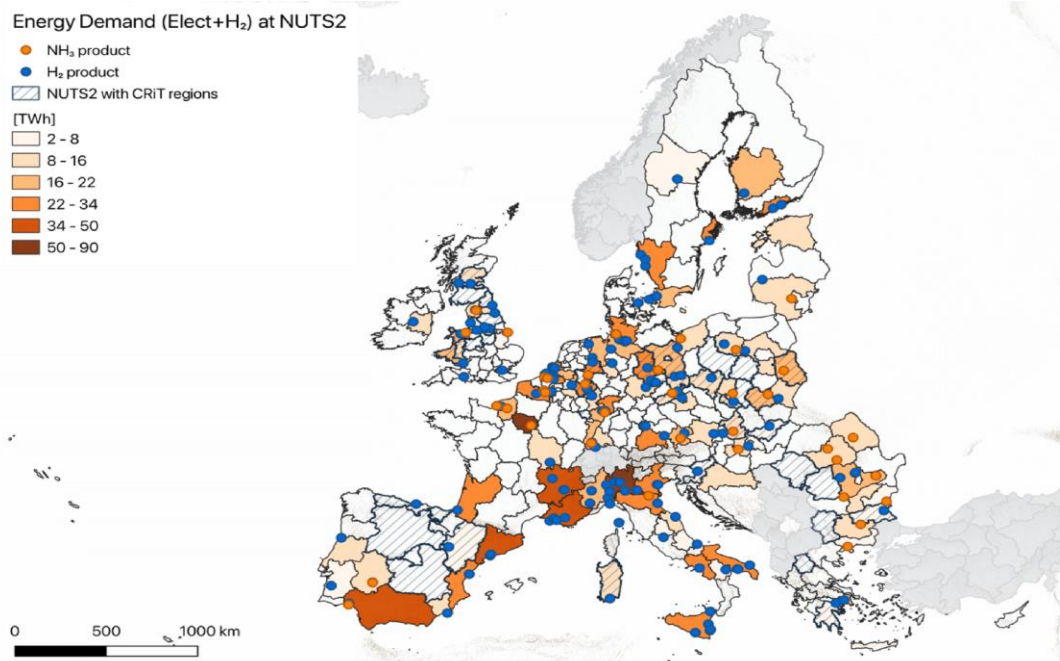
3.1 Räumliche Verteilung

Für das gegenwärtige Niveau der Wasserstoffproduktion in der EU existieren keine offiziellen Statistiken zum Ländervergleich. Zuletzt hat eine Untersuchung von Kakoulaki et al. (2021) auf Basis von Daten aus verschiedenen Industriedatenbanken die Verteilung von Produktionsstandorten über den gesamten europäischen Kontinent auf kleinräumlicher Ebene geschätzt. In Abbildung 2 sind die derzeitigen Produktionshubs von Wasserstoff (blaue Punkte) und wasserstoffbasiertem Ammoniak (orange Punkte) in Europa markiert. Die Einfärbung der Regionsflächen (NUTS-2 Regionen) gibt die geschätzten Strombedarfe der Regionen an, und zwar für ein Szenario, in dem das gegenwärtige Niveau an Wasserstoffproduktion komplett auf Elektrolyse umgestellt würde.¹⁶ Innerhalb des EU-Gebiets wird dabei eine recht starke räumliche Konzentration sichtbar. In Konsistenz zu den beschriebenen Anwendungsgebieten handelt es sich dabei in erster Linie um industrielle Agglomerationsräume. Neben Küstenregionen sind hier auch einige küstenferne Ballungszentren mit eher geringem Windkraftpotenzial präsent. Bei zukünftig unveränderter räumlicher Verteilung der Wasserstoffherzeugung dürfte dies einen wachsenden Kapazitätsbedarf für die Langstreckennetze im Stromtransport bedeuten.

¹⁴ INWL (2018). Potenzialanalyse Methanol als emissionsneutraler Energieträger für Schifffahrt und Energiewirtschaft. Strategiepapier. INWL Institut für nachhaltige Wirtschaft und Logistik.

¹⁵ IPP (2019). Potenzialstudie Wasserstoffwirtschaft. IPP ESN Power Engineering.

¹⁶ Kakoulaki, G., Kougiyas, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2021). Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 228, 113649.

Abb. 2: Gegenwärtige Verteilung der Wasserstoffproduktion in Europa

Quelle: Kakoulaki et al. (2021); Kreise: Lage der gegenwärtigen Produktionshubs; Farbe der Regionsflächen: Höhe der regionalen Stromnachfrage im Wasserstoffszenario; Schraffierte Regionsflächen: Bisherige Kohleregionen (EU Coal Regions in Transition).

3.2 Hemmnisse beim Ausbau von Elektrolysekapazitäten

3.2.1 Technische Hemmnisse

Ein wesentliches Wachstumshemmnis ist die Kostenstruktur der Produktion von grünem Wasserstoff. Die Schaffung von Produktionskapazitäten erfordert den Aufbau eines komplexen Systems an unterschiedlichen Komponenten. Neben den Elektrolyse-Stacks selbst zählen hierzu auch diverse Vorrichtungen zum Stoff- und Wärmeaustausch sowie zur Gastrocknung und -kühlung.¹⁷ Daraus resultieren ein hoher anfänglicher Investitionsbedarf für den Kapazitätsaufbau in Elektrolyseanlagen (Elektrolyseure) und damit hohe Kapitalkosten für die anschließende Phase des Betriebs. Ökonomisch spielen Größenvorteile in der Elektrolyse daher eine entscheidende Rolle: Zur Deckung fixer Kapitalkosten ist ein hoher Auslastungsgrad der Anlagen erforderlich. Zugleich besteht die Hoffnung, durch Optimierung von Anlagenaufbau und Betriebsweise zukünftig effizienzseitig Senkungen der Stückkosten realisieren zu können.¹⁸ Voraussetzung für solche Lerneffekte sind hinreichende Erfahrungswerte aus dem praktischen Betrieb, so dass auch in dieser Hinsicht eine Abhängigkeit von der Produktionsmenge besteht. Vor diesem Hintergrund stellt die Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Quellen einen wesentlichen Engpassfaktor für die Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseuren dar. Gegenwärtig kommt vielerorts in erster Linie überschüssiger Strom aus dem Betrieb von Windkraftanlagen in Elektrolyseuren zum Einsatz, der ansonsten abgeregelt würde (sogenannter „Wegwerfstrom“). Um im Zuge der Marktskalierung auf eine für die Wirtschaftlichkeit ausreichende Zahl an Betriebsstunden zu kommen, müssten solche

¹⁷ Smolinka, T., Wiebe, N., Sterchele, P., Palzer, A., Lehner, F., Jansen, M., ... & Zimmermann, F. (2018). Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr. Strom und Wärme.

¹⁸ IEA (2019). [The future of hydrogen – seizing today's opportunities](#). International Energy Agency.

Phasen des Überangebots am Strommarkt zukünftig deutlich häufiger und intensiver auftreten. Eine Kostenproblematik besteht auch bei den variablen Kosten des Betriebs. Der Einsatz von Strom in der Wasserstoffproduktion ist mit Energieumwandlungsverlusten verbunden. Daraus resultieren ein hoher Bedarf an Kilowattstunden Strom je erzeugtem Kilogramm Wasserstoff und damit hohe Strombezugskosten. Dies verstärkt nicht nur die Knappheitsproblematik, sondern schafft auch eine starke Abhängigkeit von der Höhe der Strompreise, einschließlich staatlicher Strompreiskomponenten.

In den Bereichen Lagerung und Transport stellen die chemischen Eigenschaften von Wasserstoff eine Herausforderung dar. Das geringe Gewicht und – damit zusammenhängend – die starke Flüchtigkeit von Wasserstoffmolekülen bergen das Risiko von hohen Energieverlusten. Die hohe Reaktionsfreudigkeit erfordert zudem Aufmerksamkeit für die Frage der Reinhaltung des Wasserstoffs. Dies gilt vor allem, wenn er wie im Falle des Transports im Erdgasnetz mit anderen Stoffen vermischt wird. Da etwa die Brennstoffzelle hohe Anforderungen an die Reinheit des eingesetzten Wasserstoffs stellt, können sich hieraus Konsequenzen für die Energieeffizienz der Wasserstoffanwendungen ergeben.¹⁹ Im Falle der Beimischung in vorhandene Infrastrukturnetze könnte zudem das Risiko bestehen, dass der Wasserstoff in Leitungswände eindiffundiert und sie auf diese Weise beschädigt. Die Materialverträglichkeit ist gegenwärtig Gegenstand intensiver Forschung.

Der Aufbau eigenständiger Wasserstoffnetze kann eine Möglichkeit zur Vermeidung solcher Risiken darstellen. Dies kann den Umbau bestehender Erdgasnetze in Richtung eines (vollständigen) Umstiegs auf Wasserstofftransport und den Bau eigener Wasserstoffleitungen beinhalten. Gemäß einer jüngsten Studie von Ready4H2, einem Zusammenschluss von Gas-Verteilnetzbetreibern in Europa, sollen bereits heute 96% des bestehenden Gasnetzwerks in Europa technisch grundsätzlich reif für eine Umrüstung auf Wasserstofftransport sein. Die Untersuchung der Verträglichkeit einzelner Komponenten ist jedoch noch nicht abgeschlossen.²⁰ Neben den Kosten der Umrüstung können aufgrund der geringeren Energiedichte von Wasserstoff auch die variablen Kosten des Energietransports steigen, sofern dem nicht durch eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit begegnet werden kann. Der Transport per Schiff kann abhängig von der Geografie eine Alternative darstellen. Hierfür muss jedoch zur Erhöhung der Dichte der Wasserstoff unter hohem Energieaufwand zunächst entweder komprimiert oder auf einen flüssigen Aggregatzustand runtergekühlt werden, weshalb aufgrund hoher fixer Kosten diese Transporttechnologie gegenwärtig nur für Distanzen von mehr als 10.000 km als wirtschaftlich bewertet wird.²¹

Nutzungsseitig fehlt es in vielen Fällen noch an den Schnittstellen zu zukünftigen Endanwendungen. Dies betrifft vor allem den Mangel an Wasserstofftankstellen im Mobilitätssektor. Hier besteht die klassische Henne-Ei-Problematik: Investitionsanreize in die Errichtung eines Tankstellennetzes setzen die Aussicht auf ausreichende Nutzerzahlen voraus. Die Nachfrage nach wasserstoffbasierter Mobilität wiederum ist aber entscheidend von der Verfügbarkeit einer lokaler Tankinfrastruktur abhängig.

3.2.2 Regulatorische Hemmnisse

Neben den technischen Herausforderungen entlang der Wertschöpfungskette stellt auch die regulatorische Landschaft in Europa gegenwärtig noch ein Hindernis auf dem Weg zur Wirtschaftlichkeit dar. Produktionsseitig gilt dies etwa für die Abgabenbelastung des Strombezugs durch Elektrolyseure.

¹⁹ ALPIQ (2021). [Wasserstoff – Herausforderungen an die Infrastruktur](#).

²⁰ Ready4H2 (2021). [PART 1: Local gas networks are getting ready to convert](#). Europe's Local Hydrogen Networks.

²¹ Nationaler Wasserstoffrat (2021). [Positionspapier zum Wasserstofftransport](#).

Sofern keine speziellen Regelungen für Elektrolyseure als Energieintermediäre gelten, müssten sie trotz ihres netzdienstlichen Beitrags sowohl Abgaben zur Förderung erneuerbarer Energien als auch Netzentgelte mitbezahlen. Die gegenwärtige Rechtslage im EU-Raum ist dazu uneinheitlich. Während manche Länder bereits eine (teilweise) Befreiung von staatlichen Strompreisbestandteilen innerhalb gewisser Kapazitätsgrenzen vorsehen, würden frei am Markt agierende Elektrolyseure in anderen Ländern die volle Abgabenlast tragen. Dies erhöht zusätzlich die Betriebskosten und verhindert die Realisierung von Größenvorteilen.

Auf Seiten der Anwender ist auch die grundsätzliche Unsicherheit über das regulatorische Umfeld ein wichtiger Faktor. Die Umstellung von Produktionsprozessen oder Fahrzeugflotten auf wasserstoffbasierte Technologien ist eine grundlegende Investitionsentscheidung mit langfristiger Tragweite für die Parameter des eigenen Geschäftsmodells. Angesichts der disruptiven Veränderungen in der Energiepolitik der letzten Jahre stellt sich für Unternehmer die Frage der Planungssicherheit. Dies betrifft vor allem die langfristige Entwicklung des CO₂-Preises als wichtigen Bestimmungsfaktor für die betriebliche Rentabilität einer solchen Investition. Auf Branchenebene gilt ähnliches für die Frage der Anrechenbarkeit von grünem Wasserstoff auf branchenbezogene Ziele der Emissionsreduktion.

3.3 Kostenentwicklung

Maßgeblich für den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg von grünem Wasserstoff ist nicht nur die Effizienz des Energieträgers im Vergleich zu klimaschonenden Alternativen. Die Produktionskosten müssen auch ein gegenüber anderen Formen der Wasserstoffgewinnung wettbewerbsfähiges Niveau erreichen. Abhängig von spezifischen Annahmen zu Elektrolysetechnologie, Auslastungsgraden und Produktionsstandorten kursieren unterschiedliche Zahlen zur Höhe der Kosten je kg hergestelltem Wasserstoff. Konsens besteht darin, dass grüner Wasserstoff gegenwärtig kostentechnisch noch nicht mit Wasserstoff aus fossilen Quellen konkurrieren kann. Zugleich wird für die nähere Zukunft ein deutlicher Aufholprozess vorhergesagt, als Kombination gleich mehrerer Faktoren: Produktivitätssprünge in der Elektrolyse, steigende CO₂-Preise, Verteuerung von Erdgas. Greenpeace (2020) gehen davon aus, dass grüner Wasserstoff preislich aus eigener Kraft spätestens 2050 konkurrenzfähig sein wird, im Falle eines als möglich erachteten deutlichen Preisrückgangs für Elektrolyseure bereits 2030.²² Auch BloombergNEF (2020) halten bei optimistischer Entwicklung der Kapitalkosten eine Preisparität bereits in 2030 für möglich.²³ Andere Quellen sind in dieser Hinsicht zurückhaltender, gehen von einer preislichen Wettbewerbsfähigkeit erst für die Zeit um 2050 aus.²⁴ Von entscheidender Bedeutung sind in allen Simulationen die erwarteten Entwicklungen der Auslastungsgrade der Elektrolyseanlagen. Damit wird deutlich, dass es sich in keinem Fall um ein no-policy-Szenario handelt. Nur wenn auf politischer Seite die gegenwärtigen Hemmnisse für den Aufbau eines Marktes für grünen Wasserstoff überwunden werden, kann über den Nachfrageanstieg die erwartete Kostendegression erfolgen. Damit stellt sich vor allem die Frage, welche Instrumente für den Aufbau eines europäischen Marktes sinnvoll sind.

²² Greenpeace (2020). Kurzstudie blauer Wasserstoff – Perspektiven und Grenzen eines neuen Technologiepfads. Greenpeace Energy.

²³ BloombergNEF (2020). Hydrogen Economy Outlook – Key Messages. Bloomberg Finance L.P.

²⁴ Z.B.: Agora Energiewende (2019). Klimaneutrale Industrie: Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement. Agora Energiewende.

4 Förderung von Wasserstoffmärkten in der EU

4.1 Die EU-Wasserstoffstrategie

Im Juli 2020 veröffentlichte die Europäische Union (EU) ihre "Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa".²⁵ Sie besteht aus einem Fahrplan für den Aufbau und die Ausweitung von Wertschöpfungsketten, die auf der Produktion von "grünem" Wasserstoff basieren. Nach der EU-Definition wird Wasserstoff als grün bezeichnet, wenn er durch Elektrolyse von Wasser hergestellt wird, sofern die als Input verwendete elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen stammt. Der Fahrplan skizziert einen Weg, der aus drei Phasen besteht. In der kurzfristigen Phase bis 2024 liegt der Schwerpunkt auf der Erzeugung von grünem Wasserstoff für bestehende Anwendungsbereiche. Diese beschränken sich größtenteils auf die chemische Industrie. Gleichzeitig sollen aber auch neue Anwendungsbereiche gefördert werden. Zu diesem Zweck werden Elektrolyseure mit einer Gesamtkapazität von 6 GW aufgebaut, die bis zu einer Million Tonnen grünen Wasserstoff pro Jahr produzieren. Mittelfristig (2025-2030) soll die Einführung von Elektrolyseuren beschleunigt werden, wobei Wasserstoff neue Anwendungsbereiche erobern soll, darunter die Rolle des Energieträgers in energieintensiven Industrien (z. B. Stahl) und diverse Verkehrsanwendungen. Die Gesamtkapazität der Elektrolyseure soll im Jahr 2030 40 GW erreichen, verbunden mit einer effektiven Jahresproduktion von bis zu 10 Millionen Tonnen Wasserstoff. Langfristig, d. h. ab 2030, soll der Einsatz von grünem Wasserstoff in allen Anwendungsbereichen verbreitet werden, in denen er technisch machbar ist und Kostenvorteile gegenüber alternativen grünen Technologien aufweist.

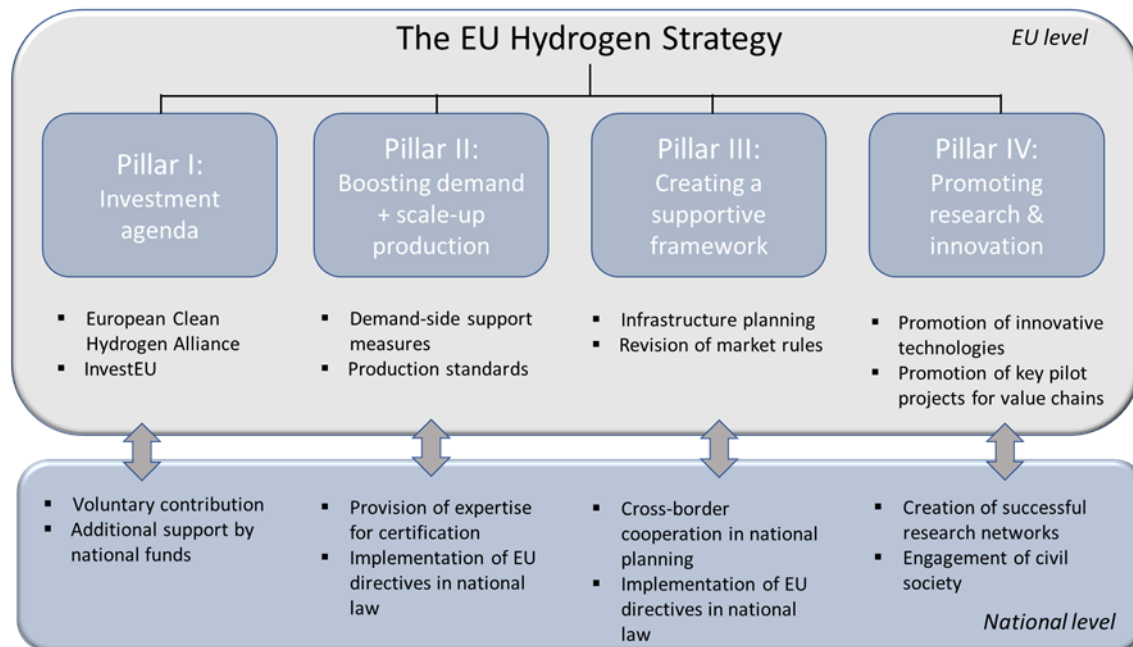
Um eine rechtzeitige Einführung zu fördern, wurden mehrere Maßnahmen auf EU-Ebene konzipiert, die in vier Säulen zusammengefasst sind. Die erste Säule besteht in der Förderung von Investitionen, wobei Mittel von *InvestEU* als finanzielle Unterstützung und die *Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff* als Plattform für Interessenvertreter zur Koordinierung einer Investitionsagenda dienen. Die zweite Säule besteht aus Maßnahmen, die das Wachstum des Wasserstoffangebots und der Nachfrage nach wasserstoffbasierten Anwendungen unterstützen, einschließlich steuerlicher Anreize, wie z. B. ein Programm staatlich garantierter CO₂-Preise (Carbon Contracts for Difference). Die dritte Säule umfasst Maßnahmen zur Schaffung eines unterstützenden Rahmens für das Marktwachstum, einschließlich der Planung der physischen Infrastruktur für wasserstoffbasierte Wertschöpfungsketten und der Überarbeitung der Marktregeln, um den Zugang für Wasserstoff auf den Endverbrauchermarkten zu erleichtern. Die vierte Säule zielt auf die Förderung von Innovationen durch die Finanzierung von Pilot- und Demonstrationsprojekten über die EU-Regionalfonds. Schließlich werden die nationalen Maßnahmen durch Pläne zur verstärkten Zusammenarbeit mit Partnern außerhalb der EU in Fragen wie Regulierung und Infrastruktur ergänzt.

Diese Maßnahmen werden zwar auf EU-Ebene konzipiert, ihre Umsetzung erfordert jedoch die aktive Beteiligung von Gesetzgebern und privaten Akteuren in allen Mitgliedstaaten. Abbildung 3 veranschaulicht die Beziehungen zwischen den Maßnahmen auf europäischer und nationaler Ebene. Dies betrifft alle vier Säulen der EU-Strategie. Das tatsächliche Ausmaß der Investitionsförderung für Wasserkraftprojekte wird von der Bereitschaft der Mitgliedstaaten abhängen, einen Teil ihres EU-Budgets in InvestEU einzubringen, sowie von der Umsetzung eigener Finanzierungsinstrumente auf nationaler Ebene. Die EU-weite Wirksamkeit regulatorischer Unterstützungsmaßnahmen für die Einführung der Wasserstoffproduktion setzt die rechtzeitige Umsetzung der entsprechenden EU-Richtlinien in

²⁵ Siehe hierzu: Reichert, G., Menner, M. (2020). EU-Wasserstoffstrategie. [cepAnalyse 14/2020](#).

nationales Recht voraus. Der Aufbau einer EU-weiten Wasserstoffinfrastruktur erfordert eine ausreichende Priorisierung in der nationalen Infrastrukturplanung. Der Erfolg von Pilotprojekten hängt von der Stärke der Netzwerke zwischen öffentlichen und privaten Akteuren in den Mitgliedsstaaten sowie von der Bereitschaft zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit ab.

Abb. 3: Aufbau der EU-Wasserstoffstrategie



Quelle: Wolf & Zander (2021)²⁶

4.2 Die Rolle von Wasserstoff in den „Fit-for-55“-Gesetzesvorschlägen

Das umfangreiche Paket an klimapolitischen Gesetzesvorschlägen der Europäischen Kommission vom Juli 2021 („Fit-for-55“) setzt an verschiedensten Stellen Impulse für den Ausbau der Produktion von grünem Wasserstoff. Dies beginnt mit grundsätzlich verschärften Zielvorgaben für die Klimapolitik, ausgedrückt etwa durch eine steilere Absenkung des Caps im Emissionszertifikatehandel (**Emissions-handelsrichtlinie**), härteren CO₂-Vorgaben für die Länder in den Nicht-ETS-Sektoren (**Lastenteilungsverordnung**) und verschärften Zielsetzungen für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch auf Sektorebene (**Erneuerbare-Energien-Richtlinie**). Der Entwurf der Novellierung letzterer Richtlinie definiert zugleich konkrete Vorgaben für die Anrechenbarkeit auf die EE-Ziele. Energie aus erneuerbaren Brennstoffen nicht biogenen Ursprungs soll nur dann auf die nationalen EE-Zielvorgaben anrechenbar sein, wenn die dabei erzielten Treibhausgaseinsparungen mindestens 70% betragen [Art. 29a, Absatz 1]. Zugleich macht der Entwurf deutlich, dass unter Einsatz von Grünstrom hergestellte Brennstoffe nur unter gewissen Bedingungen als erneuerbare Brennstoffe anerkannt werden. Die hierfür demnächst in einem delegierten Rechtsakt entwickelten Kriterien sollen vom Verkehrssektor auf sämtliche Anwendungsbereiche ausgeweitet werden. Hierzu zählen nach gegenwärtigem Kenntnisstand harte Anforderungen an die Zusätzlichkeit des von Elektrolyseuren genutzten EE-

²⁶ Wolf, A., Zander, N. (2021). Green Hydrogen in Europe: Do Strategies Meet Expectations?. *Intereconomics*, 56(6), 316-323.

Stroms (weitgehend Beschränkung auf Neuanlagen), sowie an die zeitliche und räumliche Nähe von Stromerzeugung und -einsatz in der Elektrolyse.²⁷

Spezifische Fördervorgaben für den Aufbau der anwenderseitigen Infrastruktur im Verkehrsbereich definiert **der Entwurf für eine Verordnung über den Aufbau einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe**. Demnach sollen die Mitgliedsstaaten für den Zeitraum bis 2030 sicherstellen, dass ein Netz von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen aufgebaut wird, bei dem die Tankstellen nicht weiter als 150 km auseinanderliegen und an jedem städtischen Knoten mindestens eine Tankstelle errichtet wird [Art. 6, Absatz 1]. Die Möglichkeit zur elektronischen Zahlung muss dabei gewährleistet sein [Art. 7]. Für den Luftfahrtbereich sieht der Entwurf der **ReFuelEU Aviation-Verordnung** die explizite Förderung des Einsatzes synthetischer Kraftstoffe vor. Kraftstoffanbieter wären demnach dazu verpflichtet, jedem an einem EU-Flughafen angebotenen Flugkraftstoff einen Mindestanteil an synthetischem Kraftstoff beizumischen [Art. 4]. Zugleich wären Flughäfen in der Pflicht, die für die Betankung mit synthetischen Kraftstoffen notwendige Infrastruktur bereitzustellen [Art. 6]. Die Höhe des Mindestanteils muss im weiteren Verfahren allerdings erst noch definiert werden.

4.3 Das EU-Legislativpaket zu Wasserstoff und dekarbonisiertem Gas

Im Dezember 2021 hat die Europäische Kommission ein spezifisches Paket für die Regulierung zukünftiger Märkte für erneuerbare Gase vorgeschlagen.²⁸ Die aus einer Richtlinie und einer Verordnung bestehenden Vorschläge sollen dazu beitragen, den Gassektor zu dekarbonisieren und eine Infrastruktur für alternative Gase aufzubauen, wozu neben biobasierten Brennstoffen explizit auch wasserstoffbasierte Lösungen gezählt werden. Die Kommission sieht das Paket als Ergänzung zu den „Fit-for-55“-Vorschlägen im Bereich Erneuerbare Energien und Emissionshandel.

Bei der vorgeschlagenen **Verordnung über die Binnenmärkte für erneuerbare Gase und Erdgas sowie für Wasserstoff** handelt es sich um eine Neufassung der Verordnung (EG) Nr. 715/2009 über die Bedingungen für den Zugang zu den Erdgasfernleitungsnetzen. Hauptzielsetzung ist, analog zum bestehenden Markt für Erdgas einen EU-Binnenmarkt für Wasserstoff zu schaffen, der fairen grenzüberschreitenden Handel ermöglicht und so den unterschiedlichen natürlichen Voraussetzungen der Mitgliedsstaaten für die Erzeugung von grünem Wasserstoff Rechnung trägt. Um die grenzüberschreitende Planung und Betrieb der Leitungsinfrastruktur voranzubringen, soll ein Europäisches Netzwerk der Wasserstoffnetzbetreiber (ENNOH) gegründet werden [Art. 40]. Dessen Aufgabenbereich soll u.a. die Erstellung von Zehnjahresplänen zur Netzentwicklung und von Monitoring-Berichten zur Qualität des Wasserstoffs sein, sowie die Voranbringung der Zusammenarbeit mit den Betreibern der Gasnetze [Art. 42]. Für die Förderung des Transports erneuerbarer und CO₂-armer Gase ist eine Reihe von Privilegien vorgesehen. So sollen bei den Netzentgelten Tarifnachlässe von 75% für Einspeisepunkte aus Erzeugungsanlagen sowie Ein- und Ausspeisepunkte von und zu Speicheranlagen gelten. Zudem werden grenzüberschreitende Tarife für den Handel mit diesen Gasen abgeschafft [Art. 16]. Außerdem sollen Fernleitungsbetreiber verpflichtet werden, verbindliche Kapazitäten für die Einspeisung erneuerbarer und CO₂-armer Gase zu garantieren [Art. 18]. Zudem müssen sie bereits ab 2025 an den Grenzübergängen der Netze zwischen den Mitgliedsstaaten die Aufnahme von Gasen mit bis zu 5% Wasserstoffanteil akzeptieren [Art. 20].

²⁷ Erneuerbare Energien Hamburg (2021). [Grüne Wasserstoffwirtschaft – Appell an die EU für einen erfolgreichen Marktstart!](#) Positionspapier – Stand 04.11.2021-

²⁸ Europäische Kommission (2021). [Legislativpaket zu Wasserstoff und dekarbonisiertem Gas](#).

Die ergänzende **Richtlinie über gemeinsame Vorschriften für die Binnenmärkte für erneuerbare Gase und Erdgas sowie Wasserstoff**, eine Neufassung der Richtlinie 2009/73/EG über gemeinsame Vorschriften für den Erdgasbinnenmarkt, setzt in Wettbewerbsfragen wichtige Akzente. Sie sieht für erneuerbare Gase eine Zertifizierungspflicht vor [Art. 8]. Die Mitgliedsstaaten haben für die zukünftig aufgebauten Wasserstoffnetze ein Regulierungssystem zu entwickeln, das einen diskriminierungsfreien Zugang für Dritte und transparent berechnete Tarife garantiert [Art. 31]. Für den Betrieb der Wasserstoffnetze ist neben der gängigen vertikalen Entflechtung auch eine horizontale Entflechtung vorgesehen: Netzbetreiber, die Teil eines Unternehmens sind, das ebenfalls Strom- oder Erdgasnetze betreibt, müssen mindestens der Rechtsform nach unabhängig sein [Art. 63]. Dies erfordert auch eine eigenständige Organisation sowie eine eigene Kapitalausstattung. Einer Quersubventionierung des Aufbaus der Wasserstoffnetze über den Gastransport sind hierüber enge Grenzen gesetzt. Dies könnte für die Zukunft teure administrative Parallelstrukturen mit sich bringen.

5 Mögliche Maßnahmen für einen beschleunigten Markthochlauf

Vor dem Hintergrund der derzeitigen Krisensituation stellt sich die Frage, durch welche ergänzenden Maßnahmen der Einstieg in eine grüne Wasserstoffwirtschaft beschleunigt werden könnte. Europäische Koordination ist hierfür zentral, zugleich besteht Handlungsbedarf aber auch auf nationaler und regionaler Ebene.

5.1 Maßnahmen zur Stärkung der Erzeugung

- **Administrative Erleichterungen beim Ausbau der Windenergie:** Eine stabile Belieferung mit ausreichenden Mengen an EE-Strom ist Voraussetzung für eine hinreichende Auslastung der aufgebauten Elektrolysekapazitäten, und damit eine verbesserte Wirtschaftlichkeit durch Kostendegression. Angesichts der Konkurrenzsituation mit der Direktnutzung von Strom setzt dies noch ehrgeizigere Zielpfade für den Ausbau von regenerativen Erzeugungskapazitäten, vor allem bei der Windkraft, voraus. Neben dem Ausbau der Kapazitäten an bestehenden Standorten sollten bislang auch erzeugungsseitig kaum entwickelte Regionen mit hohem Windkraftpotenzial im Fokus stehen, um die europäische Arbeitsteilung in der Stromerzeugung zu stärken und die Abhängigkeit von lokalen Erzeugungsschwankungen zu reduzieren. Ein praktisches Hemmnis für den Kapazitätszubau stellen vielerorts nach wie vor lange Planungs- und Genehmigungsverfahren dar. Hier gilt es, Potenziale zur Verschlankung auszuschöpfen, etwa indem Prüfprozesse durch Standards und Regelvermutungen gekürzt und Klageinstanzen verringert werden.
- **Flexiblere Anforderungen an den Strombezug:** Die gegenwärtigen Pläne der Europäischen Kommission für die Anrechenbarkeit von grünem Wasserstoff auf sektorale Zielvorgaben (siehe Abschnitt 4.2) könnten sich vor dem Hintergrund des schleppenden EE-Ausbaus als großer Hemmschuh für den Aufbau von Elektrolysekapazitäten in Europa erweisen. Eine Knüpfung an den Strombezug aus erst zusammen mit Elektrolyseuren geschaffenen EE-Kapazitäten würde allgemein zur Planungsunsicherheit, in vielen Fällen auch zur zeitlichen Verzögerung der Realisation führen. Die geforderte enge zeitliche Korrelation zwischen Stromerzeugung und -nutzung könnte auf Seiten der Elektrolyseure über notwendige Kapazitätsanpassungen kostenseitig die Produktion zusätzlich belasten. Hier sollte der Natur der Power-to-Gas Technologie Rechnung getragen werden, indem den errichteten Anlagen zumindest in der Phase des Markthochlaufs mehr Flexibilität gewährt wird.

- **Kluge Ansiedlungspolitik von Elektrolyseuren:** Die große Bedeutung von Skalenvorteilen in der Produktion von grünem Wasserstoff spricht dafür, Elektrolysekapazitäten eher an Standorten mit hohen regionalen EE-Stromkapazitäten zu bündeln, um eine ausreichende Zahl an Volllaststunden gewährleisten zu können. Die Überbrückung der räumlichen Distanz zu den industriellen Zentren in Europa, d.h. den zukünftigen Großverbrauchern von Wasserstoff, kann dann weitgehend über den Transport in umgerüsteten Gasleitungen und einem neuen Wasserstoffnetz entstehen. Dies könnte nicht nur die Grundlage für eine neue Form der industriellen Arbeitsteilung in Europa darstellen, sondern sich auch als kohäsionspolitisch klug erweisen, da so Erzeuger- und Verbraucherregionen gleichermaßen wirtschaftlich an den entstehenden Wertschöpfungsketten teilhaben können.
- **Entwicklung einer nachhaltigen EU-Import-Strategie:** Die Ausschöpfung EU-interner Erzeugungspotenziale sollte beim Aufbau von Wasserstoffmärkten Priorität besitzen. Angesichts natürlicher Kapazitätsgrenzen von Wind- und Solarstrom in Europa werden für eine breit aufgestellte Wasserstoffwirtschaft aber zukünftig ergänzend auch Importe aus außereuropäischen Regionen erforderlich sein. Für die EU bietet sich hier bei koordiniertem Vorgehen die Chance, Marktmacht auszuüben und Standards für eine zukünftige globale Wasserstoffwirtschaft zu definieren. Länder mit global günstigen Stromgestehungskosten sind dabei natürliche Partner. Für die Beurteilung der langfristigen Wirtschaftlichkeit zählen aber auch andere Kriterien wie die räumliche Nähe (Höhe der Transportkosten) sowie politische Stabilität und Nachhaltigkeitsfragen in der Erzeugungsregion.

5.2 Maßnahmen zur Stärkung von Nutzung und Transport

- **Senkung von Investitionsrisiken durch Carbon Contracts for Difference:** Der Umstieg auf die Nutzung von grünem Wasserstoff im Industriebereich setzt auch anwenderseitig umfangreiche und langfristige Investitionen voraus. Angesichts laufender regulatorischer Anpassungen und schwankender CO₂-Preise stellt Planungsunsicherheit hier ein wesentliches Hemmnis dar. Ein staatlicherseits auf Vertragsbasis garantierter fixer CO₂-Preis erlaubt es Investoren, zukünftige Kostenersparnisse aus der CO₂-Vermeidung als wesentlichen Bestandteil des Investitionsertrags besser zu kalkulieren. Der Staat kompensiert hierbei über einen vereinbarten Zeitraum den Differenzbetrag zwischen dem vertraglich fixierten Preis und dem jeweils herrschenden Marktpreis im Emissionszertifikatehandel. Angesichts zu erwartender langfristiger Preisanstiege im Zertifikatehandel kann die Kontraktdauer dabei zeitlich begrenzt und so staatliche Budgetrisiken minimiert werden.
- **Konsequenter Aufbau einer transnationalen Wasserstoffinfrastruktur:** Um die Wachstums- und Beschäftigungseffekte einer europäischen Wasserstoffwirtschaft zu maximieren, sollten die sich bietenden Potenziale für eine neue europäische Arbeitsteilung genutzt werden, sowohl was die Erzeugung als auch was die Nutzung des gewonnenen Wasserstoffs angeht. Die Möglichkeit des grenzüberschreitenden Transports über große Distanzen ist hierfür Voraussetzung. Dem zügigen Aufbau einer diskriminierungsfreien europaweiten Transportinfrastruktur sollte bei der Gestaltung eines zukünftigen Wasserstoffbinnenmarkts deshalb oberste Priorität zukommen. Um Planungs- und Genehmigungsprozesse abzukürzen und Baukosten zu sparen sollte dort wo es technisch möglich ist eine Umrüstung vorhandener Gasnetze zugelassen werden. Finanzierungshemmnisse im Zusammenhang mit Entflechtungsvorgaben sollten im Interesse von erschwinglichen Transportkosten in der Startphase möglichst geringgehalten werden, ohne dabei die Gefahr der Anbieterkonzentration außer Acht zu lassen.

6 Fazit

Es wurde deutlich, dass grünem Wasserstoff dank seiner Vielseitigkeit und seiner Komplementarität zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen eine wichtige Rolle im Umbau des europäischen Energiesystems zukommen kann. Technische Beschränkungen und die Konkurrenz zu energetisch effizienteren klimaneutralen Technologien setzen jedoch seiner Funktion als Allzweckwaffe Grenzen. Für die Zukunft wird es darauf ankommen, die Nutzung sinnvoll in Anwendungsbereiche zu kanalisieren, in denen die spezifischen Vorteile von grünem Wasserstoff zur Geltung kommen. Dazu gehören seine Einsatzgebiete als Rohstoff, als Reduktionsmittel sowie als Kraftstoff für Bereiche, für die Batterietechnologien nicht sinnvoll sind. Sektoral wird sich die Nutzung damit voraussichtlich auf den Industriebereich, auf die langfristige Energiespeicherung sowie auf bestimmte Segmente des Verkehrssektors (Luft- und Schiffsverkehr, Langstreckengütertransport) fokussieren.

Für einen nachhaltigen Markthochlauf sollte bei der zeitlichen Abfolge der Förderung einem klaren Fahrplan gefolgt werden. In der gegenwärtigen Startphase steht das zügige Upscaling von Elektrolysekapazitäten im Vordergrund. Hierfür bedarf es vor allem eines steileren Ausbaupfads von Windenergie in regionaler Nähe zu den Elektrolyseuren, flankiert durch einen Aufbau von Pipelinekapazitäten für den Langstreckentransport. Die Nutzung bzw. Umwandlung von Gasleitungen in Richtung der gegenwärtigen europäischen Verbrauchszentren kann hierfür einen guten Startpunkt darstellen. Als kommerzielle Einsatzgebiete kommen zu Anfang vor allem Anwendungen in Frage, in denen der Einsatz von Wasserstoff bereits technologieimmanent ist (z.B. Herstellung von Düngemitteln, Methanol) bzw. eine Umstellung (in Grenzen) ohne hohe Umrüstkosten erfolgen kann (z.B. als Beimischung in Gas-Brennwertheizungen). Erzielte Fixkostendegression und gewonnene Erfahrungswerte können dann mittelfristig für die Diversifizierung der Anwendungsfelder genutzt werden. Der Aufbau einer Importwirtschaft ist demgegenüber als langfristige Aufgabe zu sehen, die an Relevanz gewinnt, wenn EU-weite Erzeugungskapazitäten bei der Windkraft weitgehend ausgeschöpft sind. Die erforderlichen Weichenstellungen in Form einer nachhaltigen EU-Import-Strategie sind allerdings bereits heute einzuleiten.

Aus volkswirtschaftlicher Perspektive ergeben sich durch den Aufbau eines EU-weiten Wasserstoffmarktes neue Potenziale für innereuropäische Arbeitsteilung im Hinblick auf Erzeugung und Verbrauch. Dies könnte nicht nur die Integration des europäischen Energiesystems voranbringen, sondern auch zur Steigerung der Energieeffizienz und Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Industriesektors beitragen. Auf dem Weg dorthin hat die EU-Kommission bereits einige Vorschläge zur Beseitigung bestehender regulatorischer Hürden unterbreitet. Dahinter steht das Bewusstsein, dass die Kombination aus Fixkostendegression in der Erzeugung, Planungsunsicherheit bei Investitionen und die Henne-Ei-Problematik im Infrastrukturausbau staatliche Impulse erforderlich macht. Ein kontinuierliches Monitoring der Regulatorik sowie ergänzende Maßnahmen auf nationaler und lokaler Ebene werden notwendig sein, um grünem Wasserstoff im Wettbewerb der Energieträger ein level playing field zu verschaffen. Inwieweit Wasserstoff in einem solchen fairen Wettbewerb der Technologien wirklich zum „green freedom gas“ aufsteigen kann, ist dann Gegenstand unternehmerischer, nicht politischer Entscheidung.

**Autor:**

Dr. André Wolf, Fachbereichsleiter

wolf@cep.eu

Centrum für Europäische Politik FREIBURG | BERLIN

Kaiser-Joseph-Straße 266 | D-79098 Freiburg

Schiffbauerdamm 40 Raum 4315 | D-10117 Berlin

Tel. + 49 761 38693-0

Das **Centrum für Europäische Politik** FREIBURG | BERLIN, das **Centre de Politique Européenne** PARIS, und das **Centro Politiche Europee** ROMA bilden das **Centres for European Policy Network** FREIBURG | BERLIN | PARIS | ROMA.

Das gemeinnützige Centrum für Europäische Politik analysiert und bewertet die Politik der Europäischen Union unabhängig von Partikular- und parteipolitischen Interessen in grundsätzlich integrationsfreundlicher Ausrichtung und auf Basis der ordnungspolitischen Grundsätze einer freiheitlichen und marktwirtschaftlichen Ordnung.