



# Energie der Zukunft

Mehr grüne Energie:  
Mit zwei Gesetzespaketen  
soll ab Anfang 2023 der Ausbau  
von Ökostromanlagen  
beschleunigt werden.

Foto: chartphoto | stock.adobe.com

## Deutschlands großer LNG-Durst

Deutschland muss nicht nur vom russischen Gas, sondern vom fossilen Brennstoff überhaupt wegkommen. Dabei ist vor allem Flüssigerdgas derzeit Deutschlands Hoffnung, es im Winter verlässlich warm zu haben. *Von Dirk Mewis*

**E**in vor Wilhelmshaven schwimmendes Terminal für Flüssigerdgas, gerade als erstes von fünf fertiggestellt, soll in Deutschland einen Gasmangel verhindern. Noch „ein paar Jahre klimaschädliches Erdgas, dann grüner Wasserstoff“, rechtfertigt die Bundesregierung den Bau der teureren LNG-Terminals. Dabei träumt die Bundesregierung von einer Wasserstoff-Lieferkette von Australien nach Deutschland, die „in wenigen Jahren Realität werden“ kann.

Liquefied Natural Gas (LNG) soll Deutschland erst mal Energiesicherheit liefern und die Wirtschaft am Laufen halten. Als Folge des Ukrainekrieges und der Energiekrise zieht Deutschland eine neue Infrastruktur für mehr fossile Brennstoffe hoch. „Alle diese Projekte sind Wasserstoff-ready, also geeignet für die Zukunft.“ Damit denke man „die Lösung vom fossilen Zeitalter gleichzeitig mit“, erklärt der grüne Wirtschaftsminister Robert Habeck.

Aktuell erzeugt Flüssigerdgas aber mehr CO<sub>2</sub> als über Land transportiertes Gas, weil es in Tankern um die halbe Welt verschifft werden muss. Die Brückentechnologie soll dann zum grünen Wasserstoff führen. Seit Ursula von der Leyen ihren Green Deal ausgerufen hat, preist die Präsidentin der EU-Kommission die „ungeheuren Chancen“, die grüner Wasserstoff für „einige der schmutzigsten Industrien“ des Kontinents birgt. Bislang müssen Stahl-, Chemie- oder Glasfabriken riesige Mengen Kohle oder Erdgas verfeuern, um ihre Hochöfen oder Schmelzwanen auf Temperatur zu bringen. Künftig sollen die Anlagen mit Wasserstoff betrieben werden, der CO<sub>2</sub>-neutral aus Solar- oder Windparks gewonnen wird.

„Kaum bis keine Nachfrage, ein Markt existiert nicht“, heißt es allerdings in einer aktuellen Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung mit Blick auf LH2. Einen Ausdruck wie „Wasserstoff-ready“ könne man in Bezug auf die schwimmenden Plattformen eigentlich nicht gebrauchen. Die Forscher gingen der Frage nach, wie zukunftsfähig die neuen deutschen Gashäfen sind. Es seien reine LNG-Provisorien, vom Bund für begrenzte Zeit gechartert. Und auch die festen LNG-

Terminals, die in einigen Jahren folgen sollen, müssten wohl teuer für Wasserstoff umgerüstet werden.

### Champagner der Energiewende

Grüner Wasserstoff galt in Deutschland lange als „Champagner der Energiewende“: zu teuer, kaum verfügbar, zu wenig Einsatzmöglichkeiten. Seit dem Ukrainekrieg knüpfen sich aber große Hoffnungen an die Zukunftstechnologie, da Deutschlands Industrie so schnell wie möglich vom russischen Erdgas loskommen soll. Denn Hochöfen, Glasschmelzen und Zementfabriken lassen sich nicht in demselben Ausmaß mit Strom betreiben wie Autos. Brüssel macht deshalb Druck: Bis 2030 soll die EU über 20 Millionen Tonnen grünen Wasserstoff verfügen, eine Verdoppelung gegenüber der bisher angepeilten Menge. Die Hälfte davon muss importiert werden, weil es Europa an Ökostrom und Elektrolyseuren fehlt.

Wasserstoff soll von Australien über Kanada bis nach Algerien dort hergestellt werden, wo der Wind verlässlich weht und Sonne strahlend scheint. Der Ökostrom soll dann per Schiff transportiert werden – idealerweise verdichtet und verflüssigt (Liquid Hydrogen, LH2). Es ist dasselbe Prinzip, das verflüssigtes Erdgas (Liquefied Natural Gas, LNG) zum globalen Handelsgut gemacht hat. Grundsätzlich gilt aber: Um Wasserstoff zu erzeugen, wird zuerst sehr viel Energie gebraucht: In Elektrolyseuren wird Wasser durch Zufuhr von Elektrizität in seine atomaren Bausteine, Wasserstoff und Sauerstoff, aufgespalten. Und auch die Verschiffung von Wasserstoff ist energieaufwendig und kompliziert. Zwar lässt sich Wasserstoff in flüssiger Form auf etwa ein Achthundertstel des Volumens verdichten, das aber geschieht erst bei Temperaturen unter minus 252 Grad Celsius. Dabei geht schon beim Verflüssigen rund ein Drittel der Energie verloren. Ein teurer Wettbewerbsnachteil gegenüber LNG, das lediglich minus 162 Grad Celsius benötigt, um transportfähig zu werden.

Forscher denken daher über alternative Transportmöglichkeiten nach. Wasserstoff könnte noch in anderer Form verschifft werden, etwa mit Stickstoff verbunden zu Ammoniak. Der ist deutlich kompakter

und braucht nur auf minus 33 Grad Celsius gekühlt zu werden. Zudem lässt sich Ammoniak in der Chemie- und Düngemittelindustrie einsetzen, schon heute wird ein schwunghafter Seehandel mit 20 Millionen Tonnen pro Jahr betrieben. Ammoniak ist allerdings giftig und korrosiv, muss wohl am Hafen direkt verarbeitet werden, und ein Pipelinennetz fehlt ganz.

### Ausbau von Ökostromanlagen

Um Klimaziele erreichen zu können und gleichzeitig weniger abhängig von fossilen Energien zu werden, spielt mehr Ökostrom daher eine zentrale Rolle in der Strategie der Bundesregierung. Mit zwei Gesetzespaketen will Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck den Ausbau von Ökostromanlagen turbobeschleunigen und ab Anfang 2023 bürokratische Hürden für die Errichtung neuer Windparks schleifen. Noch immer dauere vieles zu lang, meint Katja Wünschel, die bei Deutschlands größtem Stromerzeuger RWE das Geschäft mit Photovoltaik und Windrädern an Land in Europa und Australien verantwortet. Normalerweise dauert es sechs bis sieben Jahre, bis in Deutschland ein Windpark an Land fertig ist. „Wir müssen das in zwei bis vier Jahren schaffen, also im Durchschnitt in drei Jahren. Wenn alte Windräder durch neue ersetzt werden, sollte es noch ein Jahr schneller gehen.“ Solarprojekte zu genehmigen gehe aber jetzt schon schneller und dauere zwei bis vier Jahre. „Es ist der gesamte Mix, den wir umstellen und aufbauen müssen. Wir brauchen das Flüssiggas LNG. Wir brauchen die Batterien, die Speicher, wir brauchen Wasserstoff, grünen Wasserstoff“, resümiert Wünschel.

Die Treibhausgasemissionen waren zwischen 2010 und 2019 höher als in jedem anderen Jahrzehnt in der Geschichte der Menschheit. Europa habe gerade den heißesten Sommer und den heißesten August seit Beginn der Wetteraufzeichnungen erlebt, rechnet die Weltgesundheitsorganisation WHO aus. Und schon jetzt sind in diesem Jahr 4500 Menschen in Deutschland an Hitze gestorben. In ganz Europa sind es 15000 Menschen, stellt WHO-Regionaldirektor Hans Kluge fest.

# „Es fehlt eine strategische Stoßrichtung“

Wie können wir langfristig aus der Abhängigkeit von Importen fossiler Brennstoffe herauskommen? Simon Fahrenholz, Partner und ESG-Spezialist bei EY, erläutert, warum die derzeitige Krise mittelfristig zu einem Beschleuniger der Energiewende werden wird.

**Ukrainekrieg, Klimakrise und steigende Energiepreise: Die Energiewende und der Ausbau erneuerbarer Energien gehören zu den drängendsten Herausforderungen unserer Zeit. Wie kann Deutschland unabhängig von Öl und Gas aus Russland werden?**  
Wenig überraschend: durch einen konsequenten Vollzug der Energiewende – einer Erhöhung der Energieeffizienz in Verbindung mit einem geringeren Verbrauch einerseits sowie dem konsequenten Umbau des Energiesystems andererseits. Das schließt die Elektrifizierung von Prozessen ebenso ein wie den konsequenten Ausbau einer internationalen Wasserstoffwirtschaft. Die Nutzung der Wind- und Sonnenenergiepotentiale in Deutschland ist dabei ebenso geboten wie das Ausschöpfen der Möglichkeiten bei der Sektorkopplung.

## Wo steht die deutsche Energiewende derzeit?

Kurzfristig wurde die deutsche Energiewende durch den Russland-Ukraine-Krieg zurückgeworfen. Angesichts der akuten Gefahr einer Gasknappheit war es sicher richtig, die Energieversorgung sicherzustellen und dabei die Energiepreise zu stabilisieren. Zu den Optionen gehörte auch, mehr Kohle zu verbrennen, wobei man im energiewirtschaftlichen Zieldreieck – Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit – die Umwelt geopfert hat. Sicher auch vor dem Hintergrund, dass eine Energiewende nur bei gesamtgesellschaftlicher Akzeptanz gelingen kann. Und die wird kaum zu erreichen sein, wenn die Wohnung im Winter kalt bleibt.

Zur Wahrheit gehört aber auch, dass die Erzeuger erneuerbarer Energien von der Krise profitieren. Erst einmal in Betrieb, kosten Windenergie- und PV-Anlagen im Vergleich zu anderen Tech-

nologien nahezu nichts. Der Strom wird aber zu den aktuell sehr hohen Börsenpreisen vergütet. Insofern zeigt die aktuelle Situation auch, dass ein konsequenter Ausbau der erneuerbaren Energien eine Form der Krisenvorsorge ist: Man kann Sonne und Wind eben nicht abschalten. Ich erwarte, dass die derzeitige Krise mittelfristig zu einem Beschleuniger der Energiewende wird. Die nachhaltige Erzeugung von Energie führt zu mehr Unabhängigkeit, mehr Resilienz und vor allem zu planbaren Kosten und Preisen.

## Was sind aktuell die wesentlichen Fehler?

Es ist schwer, in der aktuellen Lage von „Fehlern“ zu sprechen. Man muss sicherlich anerkennen, dass es für die aktuelle Situation keine Blaupause gibt. Aber es hat bisher schon an Geschwindigkeit gefehlt. Der Dezember sieht nun Energiehilfen vor, die Strom-, Wärme- und Gaspreisbremse kommt im März, und das Energiekostendämpfungsprogramm für Unternehmen ist angelaufen. Die Verständigung zwischen den Ministerien hätte aber deutlich schneller gehen können.

Das gesamte Ausmaß der Energiepreisauswirkungen auf die Volkswirtschaft werden wir erst später sehen. Aber schon jetzt sind viele Unternehmen kaum noch zu retten. Einige Nachbarländer zeigen, dass es auch schneller geht. Das gilt auch für die Wirksamkeit der Hilfen. Beispiel Energiekostendämpfungs-Programm für Unternehmen: Die Anträge sind bis zum Spätsommer gestellt worden. Ausgezahlt wurde jedoch längst nicht alles: Bis zum 31. Oktober waren 68 Mio. Euro bewilligt, fast vier Milliarden Euro an Haushaltsmitteln standen zu diesem Zeitpunkt noch zur Verfügung.

Bezieht man die Frage auf die Energiewende im Allgemeinen, gilt leider das Gleiche. Auch bei der Energiewende sehe ich gerade bei mittelständischen Unternehmen,



„Wir wollen keine Kernenergie und keine Energieerzeugung aus Kohle. Geothermie lehnen wir ebenso ab wie das Fracking. Windräder an Land sind aufgrund der optischen Eingriffe in die Landschaft nicht sehr beliebt und das Photovoltaikpotential ist in Deutschland aufgrund der geographischen Lage nicht optimal.“

Foto: EY

dass die Bereitschaft zu Investitionen in erneuerbare Energien oft hoch ist. Bis die Anlagen dann aber wirklich in Betrieb genommen werden, vergeht meist zu viel Zeit – wegen der komplexen Regulierung und der komplizierten Genehmigungsstruktur, aber auch wegen der mangelnden personellen Ausstattung der öffentlichen Hand sowie fehlender Fachkräfte und Anlagenbestandteile.

## Wie könnte die Wärmewende beim Wohnen aussehen?

Kurz gesagt: Fernwärme und Quartierslösungen ja, Wasserstoff nein. Grüner Wasserstoff wird auf absehbare Zeit ein rares und teures Gut sein. Dieses sollten wir einsetzen, um industrielle Prozesse zu dekarbonisieren, bei denen andere Ansätze nicht funktionieren, beispielsweise in der Chemie- und Stahlbranche. Nicht abschreiben möchte ich die Nah- und Fernwärme: Die Infrastruktur ist vorhanden, die Versorgung ist sicher und kostengünstig. Damit leistet sie einen wertvollen Klimabeitrag, wenn es um unvermeidbare Müllverbrennung oder industrielle Abwärme geht.

## Welche Rolle spielt die Mobilität beim Thema Energiewende?

Dem Mobilitätssektor kommt als einem der Hauptverursacher der deutschen Emissionen eine entscheidende Rolle zu. In den letzten 30 Jahren wurden dort nur etwa zehn Prozent an Emissionen eingespart, in der Energiewirtschaft knapp die Hälfte. Ein konsequenter Ausbau der Elektromobilität und einer intelligenten Ladeinfrastruktur bietet enorme Chancen, die Einsparungen zu erhöhen. Zur Wahrheit des Umbaus des Mobilitätssystems gehört aber auch der gigantische Sanierungsstau im Schienenbereich sowie die teilweise immer noch unzureichende Versorgung mit öffentlichem Nahverkehr. Gerade hier

eignen sich Wasserstoffprojekte, abhängig von den spezifischen, regionalen Gegebenheiten.

## Welche Anforderungen stellt der Umbau der Energiesysteme an die Infrastruktur?

Insbesondere der Zubau an erneuerbaren Energien und damit die Dezentralisierung des Energiesystems stellt die Netzsteuerung vor erhebliche Herausforderungen, denn die Systeme sind auf eine zentrale Grundlastversorgung ausgelegt. Es geht um die Nutzung der Potentiale intelligenter Stromnetze, aber auch um Autarkie- beziehungsweise Inselösungen. Im Hinblick auf die Transformation der Gasnetze hin zu einer Wasserstoffwirtschaft gehört zudem die möglichst lange und effiziente Nutzung vorhandener Infrastruktur dazu.

## Auf welche Energiequellen sollte Deutschland in Zukunft setzen?

Es fehlt eine gemeinsame strategische Stoßrichtung. Überspitzt gesagt: Wir wollen keine Kernenergie und keine Energieerzeugung aus Kohle. Geothermie lehnen wir ebenso ab wie das Fracking. Windräder an Land sind aufgrund der optischen Eingriffe in die Landschaft nicht sehr beliebt, das Photovoltaikpotential ist in Deutschland aufgrund der geographischen Lage nicht optimal. Die erste Priorität muss auf der Dekarbonisierung der Energieversorgung liegen. Vor dem Hintergrund der Kriegsfolgen muss die zweite Priorität eine weitgehende Energieautarkie sein. Dafür muss Onshore-Wind konsequent ausgebaut werden, wir müssen über Geothermie nachdenken und alle Potentiale für heimische, erneuerbare Energieerzeugung ausschöpfen.

Das Interview führte Dirk Mewis.

## Wir müssen Energie neu denken

Wie Kernfusion den Energiehunger stillen – und warum gerade die deutsche Energiepolitik davon profitieren kann. Von Markus Roth

Die jüngste UN-Klimakonferenz im ägyptischen Scharm el-Sheich hat es wieder gezeigt: Unsere Erde hat ein Energie- und Klimaproblem, das dringend gelöst werden muss. Die weltweit steigende Energienachfrage erfordert, auch langfristige Konzepte für die Energieerzeugung zu erforschen – und zwar technologieoffen.

Denn industrieller Fortschritt und ein besseres Leben basieren letztlich immer auf mehr Energie. Expertenschätzungen besagen: Wenn der Energiehunger der Welt bis 2050 abgedeckt werden soll, müssen pro Jahr circa 1200 Kraftwerke in Betrieb gehen. Gebaut werden aber nur rund 260 pro annum.

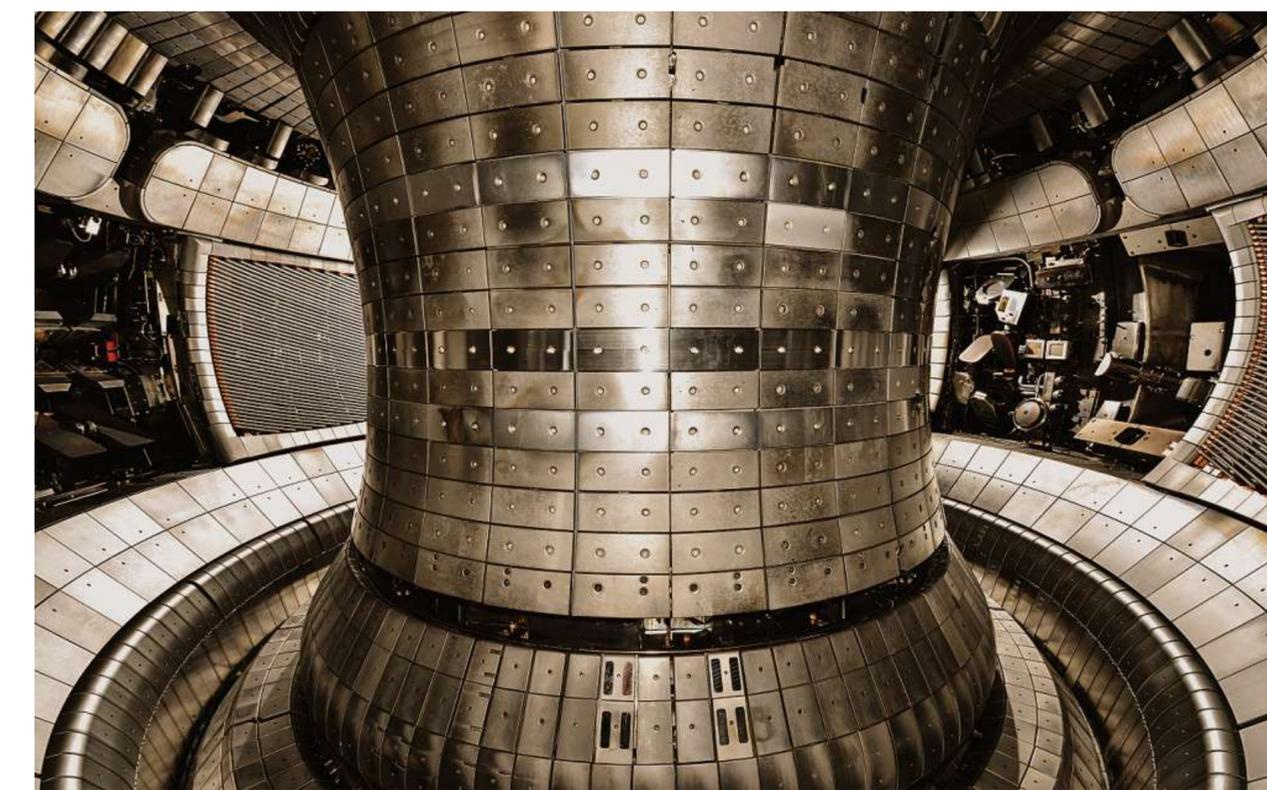
Doch das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas zur Energieerzeugung ist Klimakiller Nummer eins. Bis 2050 soll damit Schluss sein, um den Klimawandel einzudämmen. Wind und Sonne sollen die fossilen Brennstoffe ablösen. Aber das reicht bei Weitem nicht – es braucht neue, nachhaltige Formen der Energiegewinnung, um die gigantische Energielücke, die sich auftut, zu schließen.

Eine vielversprechende Technologie der Energiegewinnung ist die Kernfusion. Sie kann als kontinuierlich verfügbare, CO<sub>2</sub>-freie, sichere und günstige Energiequelle ergänzend zu den erneuerbaren Energien einen wichtigen Beitrag zur Energieerzeugung leisten. Sie ist zudem eine grundlastfähige Energiequelle ohne geopolitische Abhängigkeit und nicht zu verwechseln mit der Kernspaltung in herkömmlichen Kernkraftwerken.

Seit mehr als einem halben Jahrhundert versucht die Wissenschaft, die Entstehung von Sonnenenergie auf der Erde nachzubilden. Der praktischen Anwendung standen bislang die extremen Bedingungen entgegen: Rund 15 Millionen Grad Celsius bewirken in der Sonne exorbitante Kräfte, die Wasserstoffatome so stark aufeinanderprallen lassen, dass sie zu Helium verschmelzen. Lange wurde deshalb daran gezweifelt, dass eine kontrollierte Kernfusion auch auf der Erde funktionieren kann.

## Durchbruch gelungen

Für eine entsprechende Verdichtung und Erhitzung kommen theoretisch unterschiedliche Methoden in Betracht: Neben starken Magnetfeldern gilt heute gepulstes Laserlicht als der aussichtsreichste Zündungsmechanismus für eine kontrollierte Kernfusion. Und hier gab es im August 2021 den Durchbruch. Beim Verschmelzen von Atomkernen der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium zu Heliumkernen mittels intensiver



Die Kraft der Sonne auf der Erde entfesseln: ASDEX Upgrade im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching ist eine der beiden größten in Betrieb befindlichen deutschen Versuchsanlagen zur Entwicklung von Fusionsreaktoren. Ziel der Fusionsforschung ist es, aus der Verschmelzung von Atomkernen in einem Kraftwerk Energie zu gewinnen. Unter irdischen Bedingungen verschmelzen am leichtesten die beiden Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium. Dabei entsteht ein Helium-Kern, außerdem wird ein Neutron frei sowie große Mengen nutzbarer Energie: Ein Gramm Brennstoff könnte in einem Kraftwerk 90.000 Kilowattstunden Energie erzeugen – die Verbrennungswärme von 11 Tonnen Kohle. Foto: IPP | Volker Rohde

Laserstrahlen gelang es, am kalifornischen Lawrence Livermore National Lab erstmals eine stabile Kernfusion nach dem Vorbild der Sonne in einer stecknadelkopfgroßen Brennstoffkapsel zu zünden und das Plasma am Brennen zu halten.

Die Analysen ergaben, dass in der Brennstoffkapsel kurzzeitig ein brennender Plasmazustand erreicht wurde. Das bedeutet, dass die Fusionsreaktionen die dominierende Quelle für die Erhitzung des Plasmas waren und nicht die externe Laserenergie, die die Reaktion auslöste. Seither ist sich die Wissenschaft einig: Auch moderne Laser geben einen realistischen Weg zur kommerziellen Nutzung dieser fast unerschöpflichen Energiequelle vor. Und die Welt ist damit

dem grünen Traum einer sich selbst erhaltenden Fusionsenergieerzeugung entscheidend nähergekommen.

## Laserlicht statt Sonnenglut

Focused Energy nutzt nicht nur die Ergebnisse dieser Laserfusionsexperimente, sondern hat den Ansatz um die lasergetriebene Ionenbeschleunigung weiterentwickelt. Die Technologie basiert auf modernen Hochenergie-Lasersystemen.

Anders als bei der Magnetfusion, wie sie beispielsweise das Projekt ITER in Südfrankreich verfolgt, wird bei der Laserfusion der Brennstoff so stark verdichtet, dass die Reaktionen so rasch ablaufen, dass die eigene

Trägheit des Brennstoffs ihn lange genug zusammenhält, um Energie zu erzeugen. Ein weiterer Unterschied ist die Trennung der Lasersysteme von der Reaktionskammer, womit Wartung und Austausch auch im laufenden Betrieb möglich sind.

Die Kernfusion hat auch in der Öffentlichkeit vermehrt an Aufmerksamkeit gewonnen. Besonders seitens der Industrie wurde das Interesse an der Entwicklung der Fusion als weiterer Baustein für den Energiemix der Zukunft zum Ausdruck gebracht. Und wenn die Fusion als Technologie erfolgreich ist, soll auch Deutschland davon ebenfalls optimal profitieren. Es geht um nicht weniger, als Deutschlands und Europas Energieversorgung geopolitisch unabhängiger zu machen.

Doch dafür benötigen forschende Unternehmen wirtschaftlichen und politischen Rückhalt sowie Planungssicherheit.

Mit der neuen Bundesregierung wurde die Kernfusion auf einem Gipfel beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Ende Mai auf eine wesentlich breitere Basis als bisher gestellt. Derzeit entwickelt Focused Energy zusammen mit dem BMBF eine Roadmap für die Laserfusion in Deutschland.

Länder wie China gehen teils eigene Wege, und natürlich sind auch die USA seit Ausbruch des Krieges in der Ukraine sehr rege. Europa muss sehr wachsam sein. Sonst besteht die Gefahr, dass das Zeitfenster für die Nutzung der Fusion als alternative

Energiequelle zur Dekarbonisierung verpasst wird.

## Globaler Wettlauf um die Kernfusion

Focused Energy war im März 2022 als einziges Laserfusions-Unternehmen im Weißen Haus und im US-Capitol eingeladen. 2023 wird die Entscheidung über den Standort einer neuen großen Testanlage bei Focused Energy fallen. Diese wird entweder in Deutschland oder den USA gebaut. Es wäre schön, wenn es Deutschland wäre.

Um ein potentes Ökosystem für die Testanlage aufzubauen, führen wir gute Gespräche mit namhaften deutschen Unternehmen, die Laser, Spezialgläser und -optiken oder Beschichtungen herstellen. In allen diesen Bereichen ist Deutschland traditionell weltweit führend.

Zudem würde das Potential der Kernfusionstechnologie Deutschland gut zu Gesicht stehen. Es ist die Jahrhundertchance, Energiegeschichte zu schreiben. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Deutschland in diesem Hochtechnologiebereich hinterherhinkt und viele Industriearbeitsplätze verliert.

Nicht zuletzt sollte die aktuelle Energiekrise ein Weckruf sein. Deutschland muss sich aus dem Klammergriff ausländischer Energielieferanten befreien. Derzeit gehören wir noch zu den fünf größten Energieimporteuren der Welt. Mit dem Durchbruch bei der Kernfusion wurde die Tür in ein neues Energie-Zeitalter geöffnet. Und Deutschland kann ganz vorne mit dabei sein.

Prof. Dr. Markus Roth ist Professor für Laser- und Plasma-Physik am Institut für Kernphysik der TU Darmstadt, und Chief Science Officer und Mitgründer von Focused Energy.

## IMPRESSUM

Energie der Zukunft  
Verlagsspezial der  
Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:  
Fazit Communication GmbH  
Frankenallee 71–81, 60327 Frankfurt am Main  
Geschäftsführung: Hannes Ludwig,  
Jonas Grashey

Redaktion: Dirk Mewis,  
Christina Lynn Dier (verantwortlich)

Autoren: Harald Czyscholl, Markus Roth,  
Hans-Wilhelm Schiffer

Anzeigen: Ingo Müller (verantwortlich) und  
Jürgen Maukner, REPUBLIC Marketing & Media  
Solutions GmbH, Mittelstraße 2–4, 10117 Berlin,  
www.republic.de

Weitere Angaben siehe Impressum dieser  
Zeitung.

# „Digitale Daten sind das Rückgrat einer sauberen Zukunft“

Das Energiesystem der Zukunft ist regenerativ – und es ist digital, um Energieangebot und -nachfrage stets miteinander in Einklang zu bringen. Die aktuelle Energiekrise bietet dabei die Möglichkeit, ohnehin notwendige Veränderungen schneller herbeizuführen. *Von Harald Czycholl*

Hätten wir uns mal weniger von russischen Rohstoffen abhängig gemacht. Hätten wir mal mehr in erneuerbaren Energien stärker ausgebaut. Hätten wir mal mehr in Wärmedämmung und Wärmepumpen investiert. Nach dem Einmarsch der russischen Truppen in die Ukraine sind Deutschland zahlreiche energiepolitische Versäumnisse der letzten Jahre und Jahrzehnte auf die Füße gefallen. So galt Erdgas als zentrale Stütze der Energiewende, weil sich mithilfe von Gaskraftwerken wetterbedingte Schwankungen bei regenerativen Energieträgern wie Windkraft und Photovoltaik gut ausgleichen lassen – doch das Gas wurde zur Hälfte aus Russland importiert. Weil es gleichzeitig in einem Großteil der Haushalte zum Heizen genutzt und für viele Industrie- prozesse unverzichtbar ist, musste es nun schnell anderweitig beschafft werden. Deshalb sind die Preise durch die Decke gegangen und belasten Unternehmen wie Verbraucher gleichermaßen.

## Mindestens 55 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion

Damit hat das Thema Energie plötzlich eine existenzielle Dringlichkeit bekommen. Russlands Despot Wladimir Putin hat also mit seinem Angriffskrieg etwas ausgelöst, wozu kein ausgefeilter Klimabericht, keine mahnenden Experten-Interviews und keine wohlmeinenden Fridays-for-Future-Demonstrationen jemals imstande gewesen wären. „Die Krise bietet die Möglichkeit, notwendige Veränderungen schneller herbeizuführen“, sagt Andreas Schell, Vorstandsvorsitzender des Energieversorgers ENBW. „So wie derzeit war der Energiemarkt noch nie im Fokus der Öffentlichkeit.“ Dass im Zuge der Energiekrise auch Kohlekraftwerke wieder hochgefahren wurden und die Laufzeit der verbliebenen Kernkraftwerke verlängert wurde, sei kein Ausbremsen der Energiewende gewesen. „Es gab eine kurzfristige

Verschiebung der Prioritäten mit Blick auf den Winter“, so Schell. Gleichzeitig werde aber der Umbau der Energiebranche weiter beschleunigt.

Denn die Ziele, die sich die Bundesregierung mit Blick auf die Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen wie CO<sub>2</sub> gesetzt hat, stehen nach wie vor: Bis 2030 sollen die Emissionen um mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 zurückgehen, und bis 2050 soll Treibhausgasneutralität erreicht sein. Zudem sieht der European Green Deal vor, dass die gesamte Europäische Union bis 2050 klimaneutral wird. Und diese energie- und klimapolitischen Ziele erfordern einen grundlegenden Umbau des Energiesystems. „Wir müssen jetzt agieren, damit wir diese Ziele erreichen“, betont der ENBW-Chef. „Das gilt nicht nur für die Stromerzeugung, sondern gleichermaßen für den Netzausbau.“ So werde viel Windenergie offshore im Norden Deutschlands produziert, aber im Süden verbraucht – dafür müssten die entsprechenden Netzkapazitäten geschaffen werden.

Es geht aber nicht nur darum, physische Kapazitäten zu erhöhen – sondern auch, das Energiesystem möglichst intelligent zu steuern. Dafür spielen digitale Daten eine immer wichtigere Rolle, erklärt Veit Hagenmeyer, Professor für Energieinformatik und Direktor des Instituts für Angewandte Informatik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die vorhandenen Datenmengen würden als Grundlage für Modelle und Simulationen der zukünftigen Netze dienen – und Prognosen für Energiebedarf, Energieerzeugung und Preis in Echtzeit ermöglichen. „Digitale Daten sind das Rückgrat einer sauberen Zukunft. Ohne sie lassen sich die unterschiedlichsten Komponenten des Systems weder regeln noch steuern“, betont Hagenmeyer, der auch Sprecher des Helmholtz-Programms „Energiesystemdesign“ ist, bei dem die Forscherinnen und Forscher das Energiesystem der Zukunft entwickeln wollen. Es gelte, die dezentral gewonnenen Informationen „so zu orchestrieren, dass



„Die Krise bietet die Möglichkeit, notwendige Veränderungen schneller herbeizuführen“, erklärt Andreas Schell, Vorstandsvorsitzender des Energieversorgers ENBW. Foto: malp | stock.adobe.com

Energieerzeugung und Energieverbrauch zu jeder Zeit ausgeglichen sind“, so Hagenmeyer. Die Rechnung ist dabei im Prinzip ganz einfach: Gibt es eine Diskrepanz zwischen der vorhandenen Energiemenge und dem nachgefragten Verbrauch, gehen die Lichter aus.

Das Zusammenspiel der komplexen Komponenten beschäftigt auch Andrea Benigni, Professor für Methoden zur Simulation von Energiesystemen an der RWTH Aachen und Direktor des Instituts für Energie- und Klimaforschung am Forschungszentrum Jülich. „Die einzelnen Glieder der Energieversorgungskette sind sehr eng miteinander verzahnt.“ Dabei speichere das klassische

Energiesystem keine elektrische Energie im Netz. „Angebot und Nachfrage müssen also stets ausgeglichen werden“, so der Experte. Schalten also nach Feierabend viele Haushalte ihre Lampen und Fernseher an, müssen die Kraftwerke möglichst sofort mehr Leistung zur Verfügung stellen.

Diese Bereitstellung von Leistungsreserven ist jahrzehntelang erprobt und funktioniert sehr gut, wenn diese vornehmlich aus Kernkraft-, Kohle- oder Gaskraftwerken stammen. Bei regenerativen Energien ist dies jedoch nicht mehr ohne Weiteres möglich – denn schließlich können Sonne und Wind nicht einfach aufgedreht werden,

wenn der Mensch es gerade will. „Um die vielen kleinen Solaranlagen auf Gebäuden, die Solarparks, die Windräder auf dem Land und die Windparks im Meer mit dem Energiebedarf von Haushalten und Industrie zusammenzubringen, brauchen wir neue Speicherkonzepte und intelligente Stromnetze“, sagt Benigni. „Und wirklich intelligent sind sie dann, wenn sie sich in Echtzeit steuern lassen.“

Der Schlüssel zu solchen Netzen liegt in der Digitalisierung. Angebot und Nachfrage müssen aus jenen Daten vorhergesagt werden, die durch jede Komponente des Energiesystems generiert werden. Dabei nur an Elektrizität und Stromtrassen zu denken

greift jedoch viel zu kurz. „Wir dürfen elektrischen Strom, Wärme, Mobilität und Grundstoffe für die Industrie nicht länger getrennt voneinander betrachten“, erklärt Andrea Benigni. „Die Sektorkopplung, also die Vernetzung von Strom-, Wärme- und Gasnetz als auch Mobilitätssektor, ist eines der tragenden Elemente der Energiewende.“ Die Verbindung der verschiedenen Netze gilt als Lösungsweg für eine Dekarbonisierung. „Das gesamte komplexe Energiesystem muss intelligent werden, um ineinander greifen zu können“, betont Benigni.

## Intelligente Stromzähler für den Verbraucherpreis in Echtzeit

Doch beim Energiesystem der Zukunft allein auf die technische Seite von Erzeugung und Verbrauch zu schauen, wäre aus Sicht von KIT-Professor Hagenmeyer zu kurz gedacht. „Auch die ökonomische Seite hat großen Einfluss – und ist ohne Digitalisierung nicht umsetzbar.“ Das beginnt bei den großen Strombörsen, an denen die elektrische Energie gehandelt wird. Denn wenn der Strompreis aus schwankendem, dezentralem Angebot und Nachfrage über alle Sektoren hinweg in Echtzeit gebildet werden soll, führt kein Weg an Algorithmen vorbei. „Und es geht weiter bis zu neuen digitalen Geschäftsmodellen, die jeden Einzelnen am Energiesystem beteiligen können“, so Hagenmeyer. Hier denkt er an variable Stromtarife, bei denen man sich nicht über ein Jahr oder länger bindet. Stattdessen erhalten intelligente Stromzähler im Haus den Preis in Echtzeit. Die heimische Steuerzentrale orchestriert dann alle Elektrogeräte. Ist der Strom gerade günstig, schaltet sich die Ladeeinheit für das Elektroauto zu. Sagt das Analysesystem für die nächste Stunde ebenfalls günstige Preise vorher, springen Waschmaschine und Geschirrspüler an. Und das alles passiert, ohne dass wir viel davon mitbekommen. Doch das sei noch Zukunftsmusik, so Hagenmeyer. „Ein Schritt nach dem anderen.“

# Energieträger der Zukunft

Fünf Anforderungen an den Kapazitätsausbau und die Brennstoffversorgung für eine zukunftsfeste, sichere und klimagerechte Stromversorgung in Deutschland.

Von Hans-Wilhelm Schiffer, Honorarprofessor für Energiewirtschaftslehre an der RWTH Aachen

## Beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien

Der Beitrag erneuerbarer Energien zur Deckung des Stromverbrauchs in Deutschland hat sich seit dem Jahr 2000 auf 46 Prozent im Jahr 2022 verdreifacht. Gemäß dem im April 2022 von der Bundesregierung beschlossenen „Osterpaket“ wird das Ausbauziel für erneuerbare Energien für 2030 von 65 Prozent auf mindestens 80 Prozent des inländischen Stromverbrauchs angehoben. Das Ambitionsniveau dieses Ziels ist zusätzlich dadurch vergrößert, dass der Stromverbrauch aufgrund zunehmender Elektrifizierung von Industrieprozessen, Wärme und Verkehr (Sektorenkopplung) – anders als in den vergangenen Jahren – künftig deutlich zunimmt. Daraus folgt, dass im Jahr 2030 insgesamt rund 600 Milliarden Kilowattstunden Strom in Deutschland aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden sollen – im Vergleich zu rund 260 Milliarden Kilowattstunden im Jahr 2022. Um das neue Ausbauziel zu erreichen, müssen die Ausbauraten bei Windenergie an Land schrittweise auf etwa 10 Gigawatt (GW) pro Jahr und bei Solarenergie auf 22 GW pro Jahr gesteigert werden. Dann wären im Jahr 2030 Windenergieanlagen an Land von insgesamt rund 115 GW und Solaranlagen mit insgesamt etwa 215 GW in Deutschland installiert. Die Leistung von Offshore Wind soll auf 30 GW im Jahr 2030 erhöht werden. Einschließlich Biomasse und Wasserkraft wäre demnach mit einem Zuwachs der Erneuerbare-Energien-Kapazität von 143 GW Mitte 2022 auf etwa 380 GW Ende 2030 zu rechnen. Das bedeutet, dass sich der jahresdurchschnittliche Zubau im Zeitraum 2023 bis 2030 im Vergleich zum Zeitraum 2010 bis 2022 bei Wind an Land verdreifachen und bei Solaranlagen verfünffachen muss. Dazu werden bei Photovoltaik die Ausschreibungsvolumina angepasst, und bei Dachanlagen außerhalb der Ausschreibungen wird insbesondere die Vergütung deutlich angehoben. Bei Windenergie an Land werden die Flächenausweisungen erweitert und die Genehmigungsverfahren beschleunigt. Auch für Windenergie auf See werden die Ausschreibungsmengen vergrößert. Für zentral voruntersuchte Flächen erfolgt der Zuschlag an den Bieter mit dem geringsten anzulegenden Wert für einen Differenzvertrag (Contract for Difference, CfD) mit zwanzigjähriger Laufzeit.

Zukunftstechnologie: Stahl-, Chemie- oder Glasfabriken, die riesige Mengen Kohle oder Erdgas verfeuern, sollen künftig mit Wasserstoff betrieben werden, der CO<sub>2</sub>-neutral aus Solar- oder Windparks gewonnen wird.

## Ausbau der Infrastruktur

Deutschland strebt bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität an. Die Stromversorgung soll sogar bereits bis 2035 vollständig dekarbonisiert werden. Der Schlüssel dazu ist der beschleunigte Ausbau erneuerbarer Energien. Die genannten Ziele sollen in den Verfahren der Netzplanung stärker verankert werden. In das bestehende Stromnetz sind erhebliche Investitionen erforderlich, und zwar auf allen Spannungsebenen. Die Schwerpunkte der Stromerzeugung verschieben sich zunehmend aufgrund des dort konzentrierten Windausbaus an Land und auf See auf den Norden Deutschlands. Aus dem Norden muss der Strom über Höchstspannungsleitungen in den Westen und Süden transportiert werden. Dies ist durch den steigenden Strombedarf und die Stilllegung konventioneller Stromerzeugungskapazitäten vor allem in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern begründet. Laut Bundesnetzagentur werden 12.234 Kilometer zusätzlicher Leitungen benötigt. Davon waren bis Ende Juni 2022 gerade einmal 2.134 Kilometer fertiggestellt. Durch Anpassungen im Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) soll eine zügigere Durchführung der Planungs- und Genehmigungsverfahren gefördert und damit die Umsetzung des Leitungsbaus beschleunigt werden. Das Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz muss erweitert werden, da Solar- und kleinere Windanlagen vor allem auf diesen Spannungsebenen in das Stromnetz einspeisen, während gleichzeitig im Niederspannungsnetz viele Wärmepumpen und Ladestationen für E-Autos angeschlossen werden. Für die Integration von verflüssigtem Erdgas in das Gasversorgungssystem sind Anschlussleitungen erforderlich, die eine Verbindung zu dem bestehenden Gasleitungsnetz herstellen. Die Gas-Infrastruktur muss mittel- und längerfristig zudem an die Aufnahme von Wasserstoff angepasst beziehungsweise auf den Transport von reinem Wasserstoff umgestellt werden. Und es sind Speicher für Wasserstoff – das dürften im Wesentlichen Kavernen sein – zu schaffen. Da auch künftig noch fossile Energien – wenn auch in stark verringertem Umfang – in Industrie und Stromerzeugung eingesetzt werden dürften, erfordert eine vollständige Dekarbonisierung zudem den Einsatz der Technologie der Abscheidung und Nutzung beziehungsweise Speicherung von Kohlendioxid. Auch dafür sind rechtzeitig die Weichen für den Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur zu stellen.

## Bereitstellung von Wasserstoff

Der Verbrauch an Wasserstoff in Deutschland beträgt gegenwärtig etwa 55 Milliarden Kilowattstunden – vor allem genutzt für stoffliche Herstellungsverfahren in der Chemie. Einer zunehmenden Verwendung von Wasserstoff auch in anderen Bereichen wird eine Schlüsselrolle im Rahmen der angezielten Energiewende beigemessen. Im Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP aus November 2021 wird in Deutschland der Aufbau einer Elektrolysekapazität von 10 Gigawatt bis 2030 angestrebt. Dies entspricht einer Verdopplung gegenüber der Zielvorgabe, die in der Nationalen Wasserstoffstrategie aus Juni 2020 formuliert war. Darin ist die Bundesregierung bis 2030 von einem Anstieg des Wasserstoffbedarfs auf 90 bis 110 Milliarden Kilowattstunden ausgegangen. Dieser Bedarf soll künftig vor allem durch „grünen“ Wasserstoff gedeckt werden. Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Wegen der hohen Volllaststunden ist Windenergie auf See eine attraktive Technologie zur Erzeugung des Stroms, der für die Produktion von grünem Wasserstoff genutzt werden kann. Mit der angestrebten Kapazität von 10 Gigawatt könnten unter diesen Bedingungen im Jahr 2030 bis zu 28 Milliarden Kilowattstunden Wasserstoff erzeugt werden. Das bedeutet: Es ist zusätzlich notwendig, in erheblichem Umfang Wasserstoff zu importieren. Hierzu werden vermehrte Partnerschaften mit potentiellen Lieferländern angestrebt. Dabei soll sich der Aufbau neuer internationaler Wertschöpfungsketten auf Partnerländer konzentrieren, die ein hohes Potential erneuerbarer Energien haben. Dies sind insbesondere andere europäische Staaten mit großen EE-Potentialen wie Spanien, Portugal, Skandinavien oder Großbritannien, die über Pipeline angebunden werden können, aber auch Staaten wie Kanada, Chile, Australien und auch Länder des Mittleren Ostens und Afrikas, aus denen der Wasserstoff bzw. seine Derivate dann per Schiff kämen. Auch hier gilt es, eine möglichst breite Diversifizierung der Lieferanten vorzusehen. Da die Produktion von „grünem“ Wasserstoff aber nicht von dem Vorhandensein natürlicher Ressourcen abhängig ist, kann mit einer größeren Vielfalt bei den Exporteuren gerechnet werden, als dies bei Erdgas der Fall ist.

## Mit Wasserstoff betriebene Erdgaskraftwerke

Verschiedene wissenschaftliche Institutionen, wie das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln und Agora Energiewende, haben einen Neubaubedarf von um die 20 GW Gaskapazitäten bis 2030 im deutschen Markt berechnet. Dies wird zur Sicherstellung der Stromversorgung für unverzichtbar gehalten. Neben den kurzfristigen Schwankungen müssen in zunehmendem Maße nämlich auch saisonale oder sogar überjährige Schwankungen des verfügbaren Stroms aus Wind und Sonne ausgeglichen werden. Dazu wird steuerbare Leistung in ausreichender Menge benötigt. Als Ersatz für die vom Netz gehenden Kohle- und Kernkraftwerke bieten sich Erdgaskraftwerke an, die künftig mit klimaneutralem Wasserstoff direkt oder über grünen Ammoniak betrieben werden können. Da diese Stoffe gut speicherbar sind, stellen sie technisch und ökonomisch aussichtsreiche Lösungen dar. Neue Gaskraftwerke sind damit keine „stranded investments“ oder ein „lock-in“ für Treibhausgasemissionen, sofern sie Wasserstoff-ready sind. Das bestehende Strommarkt-Design setzt allerdings nicht die notwendigen Anreize für den bestehenden Neubaubedarf. Das unternehmerische Risiko ist zu hoch, um in gesicherte Leistung allein in der Hoffnung auf stochastisch auftretende Preisspitzen zu investieren. Die Lösung besteht in der Einführung eines Kapazitätsmarktes, mit dem das Vorhalten von gesicherter Leistung vergütet wird. Der Bedarf an gesicherter Leistung könnte durch die Bundesnetzagentur ausgeschrieben werden, wobei in entsprechend durchgeführte Auktionen auch Angebote mittels Nachfrage-Management und von Speichern einbezogen werden könnten. Ein technologieoffen gestalteter Kapazitätsmarkt wäre geeignet, den Investitionsrisiken bei Neuanlagen Rechnung zu tragen und gleichzeitig bestehende und notwendige Anlagen im System zu halten. Für den Einsatz von Wasserstoff in der Stromerzeugung wird außerdem als erforderlich angesehen, für den Zeitraum ab etwa dem Jahr 2030 bis zur vollständigen Umsetzung der Dekarbonisierung der Stromerzeugung den Kostenunterschied zwischen Wasserstoff- und Erdgasbetrieb auszugleichen. Als ein mögliches Instrument bietet sich für die Übergangsphase, also für den Zeitraum, bei dem Erdgas und Wasserstoff gleichzeitig im System sind, ein Differenzvertrag (CfD) an, der die etwaigen Kostenunterschiede zwischen Erdgas zuzüglich CO<sub>2</sub> und Wasserstoff ausgleicht.

## Hochlauf des Wasserstoffmarktes

Für den Hochlauf des Wasserstoffmarktes, insbesondere für die Entwicklung eines „Leitmarktes“, wie es sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt hat, ist eine verlässliche Nachfrage erforderlich. Neben dem Einsatz zur Stromerzeugung und als Speichermedium eignet sich Wasserstoff vor allem als Basis für alternative Kraftstoffe in Verkehrssektoren, in denen keine hinreichenden alternativen Dekarbonisierungsoptionen, etwa durch Elektrizität, bestehen. Dies gilt für den Straßen-Güterverkehr sowie die Schifffahrt und die Luftfahrt. Hier existiert mit der Treibhausgasminderungsquote aus der Erneuerbare-Energien-Richtlinie bereits ein geeignetes Instrument; dessen nationale Umsetzung durch die 37. BImSchV steht allerdings noch aus. Ferner kommt die vermehrte Nutzung von Wasserstoff für die stoffliche Verwertung und den Einsatz als Reduktionsmittel in der Industrie, etwa in der Stahlindustrie, in Betracht. Zur Unterstützung der Marktaktivierung sind Fördermaßnahmen auf der Nachfrageseite wie beispielsweise CO<sub>2</sub>-Differenzverträge (Carbon Contracts for Difference – CcFd) erforderlich. Auch Quotenregelungen könnten ein geeignetes ergänzendes Instrument sein. Der Vorteil hierbei ist die zielgenaue Bestimmung der Substitution durch „grünen“ oder „low carbon“ Wasserstoff. Staatliche Finanzmittel brauchen nicht eingesetzt zu werden, sofern die Mehrkosten überwälzbar sind. Allerdings sollten Quotenregelungen nur mit einer schrittweise gestalteten Anforderungskurve eingeführt werden. Und die Quotenbefreiung müsste handelbar sein, damit Wasserstoff dort bevorzugt eingesetzt wird, wo dies am günstigsten ist. Ferner ist die Politik gefordert, die Weichen für den Aufbau der dazu erforderlichen Infrastruktur zu stellen und einen geeigneten regulatorischen Rahmen zu schaffen. Dabei muss auch die Anschlussfähigkeit der Infrastruktur im EU-Kontext gewährleistet werden, eine Maßnahme, die als Bestandteil der Nationalen Wasserstoffstrategie bereits aufgenommen wurde. Über einen staatlichen Absicherungsmechanismus könnten in der Anfangsphase Anreize für Investoren geschaffen werden, trotz der zunächst begrenzten Zahl an Abnehmern in die Infrastruktur zu investieren.