

Korrigierte Version  
(Infografik auf Seite 75, Abbildung auf Seite 77)



**75 Bericht** von Franziska Holz, Alexander Roth, Robin Sogalla, Frank Meißner, Georg Zachmann, Ben McWilliams und Claudia Kemfert

## Zukunft des europäischen Energiesystems: Die Zeichen stehen auf Strom

- Studie untersucht drei Szenarien für das zukünftige europäische Energiesystem ohne Kohle und Erdgas
- Weitgehende Elektrifizierung ist kostengünstiger als umfangreiche Verwendung von synthetischem Gas oder Wasserstoff
- Schneller Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist in allen Szenarien notwendig

**83 Interview** mit Franziska Holz

**84 Kommentar** von Claudia Kemfert

Das starre Bekenntnis zu fossilem Erdgas ist kontraproduktiv und gefährlich

### Kohlenförderung, Brikett- und Kokserzeugung

**Kohlenförderung und Brikett- und Kokserzeugung  
im Gebiete der sowjetischen Besatzungszone  
in Mill. t**

Jahr	Steinkohlenförderung	Steinkohlenbrikett- erzeugung	Steinkohlen- kokserzeugung (Koke- reikoks)	Braunkohlen- förderung	Braunkohlen- brikett- erzeugung	Braunkohlen- schwel- kokserzeugung
1936 .....	3,6	0,2	0,3	98,2	24,0	1,9
1938 .....	3,5	0,2	0,3	119,2	30,0	2,5
1943 .....	2,9	0,2	0,2	164,3	43,8	5,5
1945 .....	1,9	·	·	85,2	·	·
1946 .....	2,5	·	0,2	109,8	28,9	3,5
1947 .....	2,8	·	0,2	101,7	26,8	3,2
1948 .....	2,8	·	0,2	110,8	30,0	3,5
1949 .....	3,0	·	·	124,0	34,5	3,0
1950 .....	2,8	·	·	137,2	37,6	3,0
1951 *) .....	3	·	·	150	40	·

\*) Vorläufige Zahlen.

© DIW Berlin 1931

Bei der Steinkohle ist die Vorkriegsförderung, die bei rd. 3,5 Mill.t lag (1938), nach 1945 nicht wieder erreicht worden. Das Planziel für 1950 waren 3,3 Mill.t Steinkohle; erreicht wurden jedoch nur 2,8 Mill.t. Im Jahre 1951 wurden wie im Jahre 1949 nd. 3 Mill.t gefördert. Die größte Jahresförderziffer überhaupt hatte das Gebiet der SBZ im Jahre 1913 mit rd. 5,5 Mill.t.

Wesentlich anders als bei der Steinkohle liegen die Verhältnisse im Braunkohlenbergbau der Zone. Der Vergleich der Jahresmengen läßt deutlich den Fördereinbruch erkennen, den dieser Bergbau durch die Demontagen in den ersten Nachkriegsjahren erlitt. Nach Beendigung dieser Demontagen hat sich die Braunkohlenförderung in der Zone jedoch relativ schnell wieder erholt. Sie liegt zur Zeit zwar noch unter der Maximalförderung des Kriegsjahres 1943, immerhin wurden im Jahre 1949 bereits wieder 124 Mill.t gefördert. 1950 erreichte die Braunkohlenförderung der SZB rd. 137 Mill.t, 1951 nach vorläufigen Angaben rd. 150 Mill.t.

Aus dem Wochenbericht Nr. 6 vom 8. Februar 1952

#### IMPRESSUM



DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin

[www.diw.de](http://www.diw.de)

Telefon: +49 30 897 89-0 Fax: -202

89. Jahrgang 9. Februar 2022

#### Herausgeberinnen und Herausgeber

Prof. Dr. Tomaso Duso; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.; Prof. Dr. Peter Haan;  
Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander S. Kritikos; Prof. Dr. Alexander  
Kriwoluzky; Prof. Dr. Stefan Liebig; Prof. Dr. Lukas Menkhoff; Prof. Karsten  
Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Carsten Schröder; Prof. Dr. Katharina Wrohlich

#### Chefredaktion

Sabine Fiedler

#### Lektorat

Dr. Franziska Schütze

#### Redaktion

Prof. Dr. Pio Baake; Marten Brehmer; Rebecca Buhner; Claudia Cohnen-Beck;  
Dr. Hella Engerer; Petra Jasper; Sebastian Kollmann; Sandra Tubik;  
Kristina van Deuverden

#### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg

leserservice@diw.de

Telefon: +49 1806 14 00 50 25 (20 Cent pro Anruf)

#### Gestaltung

Roman Wilhelm, Stefanie Reeg, DIW Berlin

#### Umschlagmotiv

© imageBROKER / Steffen Diemer

#### Satz

Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

#### Druck

USE gGmbH, Berlin

ISSN 0012-1304; ISSN 1860-8787 (online)

Nachdruck und sonstige Verbreitung – auch auszugsweise – nur mit  
Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an den  
Kundenservice des DIW Berlin zulässig (kundenservice@diw.de).

Abonnieren Sie auch unseren DIW- und/oder Wochenbericht-Newsletter  
unter [www.diw.de/newsletter](http://www.diw.de/newsletter)

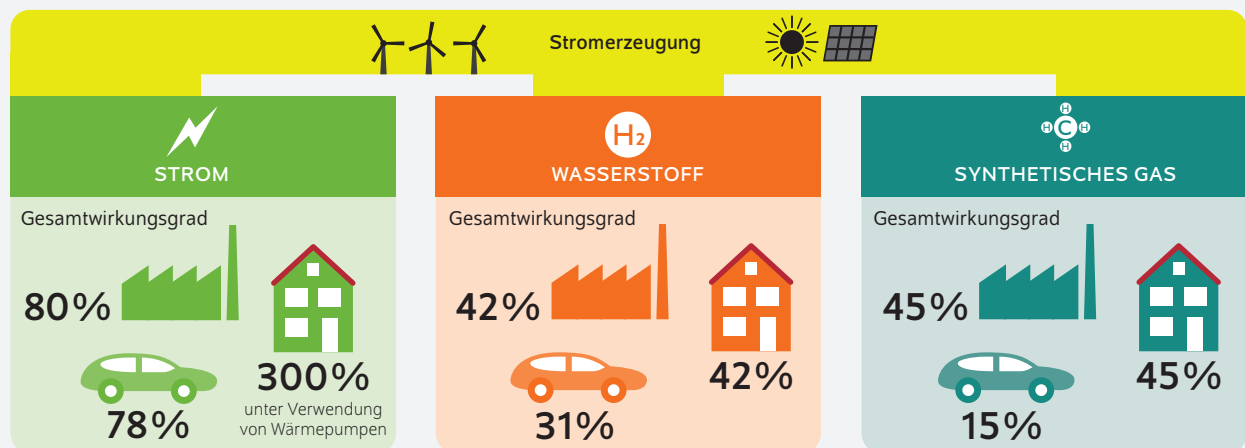
## AUF EINEN BLICK

# Zukunft des europäischen Energiesystems: Die Zeichen stehen auf Strom

Von Franziska Holz, Alexander Roth, Robin Sogalla, Frank Meißner, Georg Zachmann, Ben McWilliams und Claudia Kemfert

- Für die zukünftige Form des europäischen Energiesystems ohne Kohle und Erdgas werden drei Szenarien untersucht
- Für alle Szenarien ist ein schneller Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien notwendig
- Eine weitgehende Elektrifizierung aller Wirtschaftssektoren ist kostengünstiger als eine umfangreiche Verwendung von synthetischem Gas oder Wasserstoff
- In jedem Szenario fällt ein Großteil des Investitionsbedarfes bei den Endverbrauchern an
- Es müssen klare regulatorische Rahmenbedingungen gesetzt werden, um private Investitionen anzustoßen

Das Verhältnis von Nutzenergie zu eingesetzter Energie (Gesamtwirkungsgrad) ist bei direkter Elektrifizierung am höchsten



Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2022

## ZITAT

„Um Klimaneutralität zu erreichen, muss die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien massiv ausgebaut werden. Ob mehr Strom, mit Strom erzeugter Wasserstoff oder synthetisches Gas als Energieträger eingesetzt werden, ist noch offen. Die direkte Nutzung von Strom wäre für viele Anwendungen bei den Energieverbrauchern die günstigste Lösung.“ — Franziska Holz —

## MEDIATHEK



Audio-Interview mit Franziska Holz  
[www.diw.de/mediathek](http://www.diw.de/mediathek)

# Zukunft des europäischen Energiesystems: Die Zeichen stehen auf Strom

Von Franziska Holz, Alexander Roth, Robin Sogalla, Frank Meißner, Georg Zachmann, Ben McWilliams und Claudia Kemfert

## ABSTRACT

Die Umstellung des europäischen Energiesystems auf einen geringeren Ausstoß von Treibhausgasen wird einen grundsätzlichen Wandel der Art und Weise erfordern, wie Energie bereitgestellt, transportiert und genutzt wird. Als hauptsächliche Energieträger kommen Strom, Wasserstoff und synthetisches Gas in Frage. Die kostengünstigste Option ist die weitgehende Elektrifizierung aller Wirtschaftssektoren. Unabhängig von der genauen Ausgestaltung des zukünftigen europäischen Energiesystems gibt es einige Politikmaßnahmen, die notwendig sind, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen: Ein umfangreicher Ausbau der Erzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien, das möglichst schnelle Ende der Nutzung der fossilen Energieträger Kohle und Erdgas, sowie eine stärkere Nutzung von Elektrizität als Energieträger. Die zukünftige Rolle von neuen Energieträgern wie Wasserstoff und synthetischem Gas ist jedoch noch unklar.

Die Europäische Union (EU) hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 der erste klimaneutrale Kontinent zu werden. Dafür ist die Umstellung des europäischen Energiesystems in Richtung einer geringeren Nutzung fossiler Brennstoffe, insbesondere Erdgas und Kohle, von entscheidender Bedeutung (Dekarbonisierung).<sup>1</sup> Aktuell sind 75 Prozent der in der Europäischen Union verbrauchten Energie fossil. Der Energiesektor ist dabei für mehr als drei Viertel der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich.<sup>2</sup> Auch in Zukunft wird Energie für Transport, Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Güterherstellung und Dienstleistungen benötigt. Daher müssen die meisten derzeit auf fossilen Energieträgern basierenden Energiedienstleistungen durch klimaneutrale Technologien ersetzt werden.

## Verschiedene Szenarien für das zukünftige europäische Energiesystem denkbar

Momentan besteht große Unsicherheit über die genaue Entwicklung des europäischen Energiesystems in den nächsten Jahrzehnten. Insbesondere die Rolle von Wasserstoff (H<sub>2</sub>), synthetischem Gas (Methan, CH<sub>4</sub>) und ihren Derivaten (wie Ammoniak) im künftigen Energiemix ist derzeit noch schwer vorherzusagen (Abbildung 1, Kasten 1).

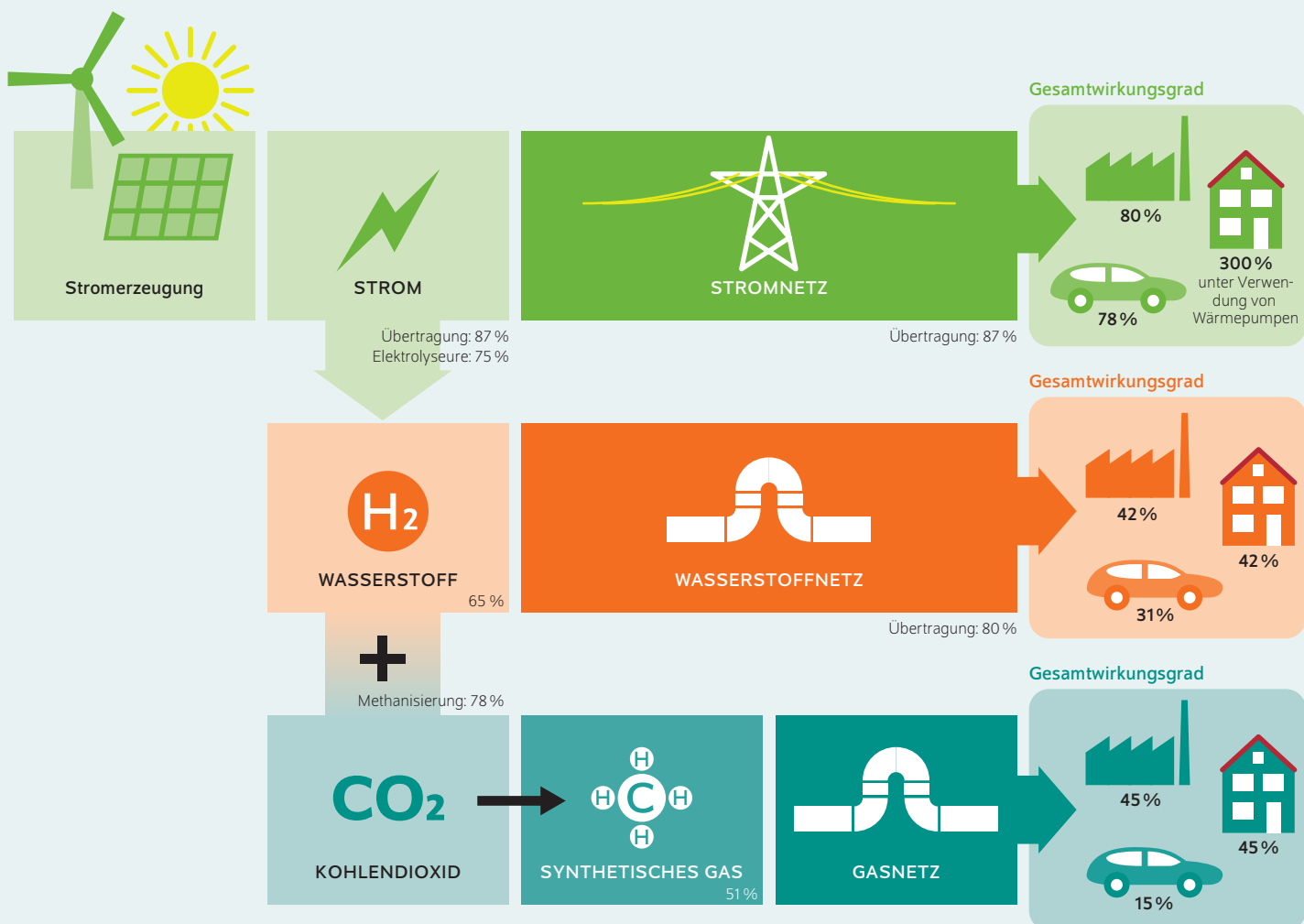
Um mögliche Ausprägungen des europäischen Energiesystems zu veranschaulichen, werden drei Szenarien untersucht. Jedes Szenario ist auf die schwerpunktmäßige Nutzung eines bestimmten Energieträgers ausgerichtet (Tabelle), jedoch wird die Energieversorgung in jedem Szenario von einem Mix von Energieträgern erbracht. Unterschieden werden a) ein vorrangig elektrisches System (Szenario *Elektrifizierung*), b) ein wasserstoffdominiertes System (Szenario *Wasserstoff*) und c) ein System, in dem synthetisches Gas eine zentrale Rolle beim Ersatz von Erdgas spielt (Szenario *Synthetisches Gas*). In allen Szenarien wird von einem Ausstieg aus den fossilen Energieträgern Kohle und Erdgas sowie von

<sup>1</sup> Dieser Wochenbericht basiert auf einer Studie, die die AutorInnen für den Ausschuss für Industrie, Forschung und Energie des Europäischen Parlaments erstellt haben: Georg Zachmann et al. (2021): Decarbonisation of Energy: Determining a robust mix of energy carriers for a carbon-neutral EU (online verfügbar).

<sup>2</sup> Europäische Umweltagentur: EEA greenhouse gases – data viewer (online verfügbar).

Abbildung 1

## Kohlenstoffarmes Energiesystem und Wirkungsgrade entlang der Wertschöpfungskette



Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2022

Der Gesamtwirkungsgrad (Verhältnis der Nutzenergie zu eingesetzter Energie) zur Bereitstellung von Strom, Wasserstoff und synthetischem Gas ist bei der direkten Elektrifizierung auch wegen des Einsatzes von Wärmepumpen am höchsten.

einer Fortführung der Nutzung von Atomenergie in Europa im heutigen Umfang ausgegangen. Der Nutzenergiebedarf, das heißt der Bedarf an zum Beispiel mechanischer Energie und Wärme, ist in allen Szenarien in den jeweiligen Zeitpunkten gleich groß.

### Strombedarf steigt in allen Szenarien stark

Der Bedarf an Nutzenergie wird in den verschiedenen Szenarien mit unterschiedlichen Technologien und aus unterschiedlichen Quellen gedeckt (Kasten 2). Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien muss sich in allen Szenarien bis 2050 stark erhöhen. Im Vergleich zu 2019 muss sie

vier bis sechs Mal höher liegen. (Abbildung 2).<sup>3</sup> Insbesondere die Szenarien *Wasserstoff* und *Synthetisches Gas* benötigen einen sehr starken Ausbau der Stromerzeugung, da auch diese Energieträger mit Hilfe von Strom produziert werden. Ein Teil dieser Stromerzeugung wird in Länder außerhalb der europäischen Union verlagert und in Form von Wasserstoff und synthetischem Gas importiert. Energieimporte basieren in Zukunft auf der Stromerzeugung im Ausland anstatt auf dort geförderten fossilen Energieträgern.

<sup>3</sup> Annahmegemäß wird der Zuwachs dabei überwiegend aus erneuerbaren Energien, vor allem aus Wind- und Sonnenenergie, stammen.

## Kasten 1

## Überblick über die neuen Energieträger Wasserstoff und synthetisches Gas

Die Energieträger Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und synthetisches Gas (CH<sub>4</sub>) können mit Hilfe von Strom oder Biomasse hergestellt werden. Falls sie aus Strom aus erneuerbaren Energiequellen (Wind, Solar) oder aus Biomasse hergestellt werden, werden sie als „grün“ bezeichnet.

Wasserstoff kann durch die Elektrolyse von Wasser unter Nutzung von Strom gewonnen werden (Abbildung 1). Synthetisches Gas kann dann über ein weiteres elektrochemisches Verfahren, die Methanisierung von Wasserstoff, hergestellt werden. Bei diesem Verfahren werden Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) verwendet.<sup>1</sup> Wenn die Ausgangsstoffe Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid treibhausgasneutral hergestellt werden, gilt auch das synthetische Gas als treibhausgasneutral. Dafür muss der Wasserstoff etwa durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom gewonnen werden und das Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre

gefiltert oder bei der Verbrennung von Biomasse abgeschieden werden. Alternativ kann synthetisches Gas aus biogenen Quellen hergestellt werden, indem die Methankonzentration in Biogas auf nahezu 100 Prozent erhöht wird. Jedoch ist das Potenzial hierfür eher begrenzt. Synthetisches Gas könnte fossiles Erdgas ersetzen, das ebenfalls fast reines Methan (CH<sub>4</sub>) ist.

Zwar ist synthetisches Gas durch den zusätzlichen Methanisierungsprozess stromintensiver und somit teurer in der Herstellung als Wasserstoff.<sup>2</sup> Andererseits hat es den entscheidenden Vorteil, dass die bestehende Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von fossilem Erdgas genutzt werden kann. Bei Wasserstoff ist dies nicht ohne weiteres der Fall und bestehende Gaspipelines müssen für den sicheren Transport von Wasserstoff umgerüstet werden.

<sup>1</sup> Manuel Götz et al. (2016): Renewable power-to-gas: A technological and economic review. Renewable Energy, 85, 1371–1390 (online verfügbar).

<sup>2</sup> Vgl. Stavroula Evangelopoulou, et al. (2019): Energy System Modelling of Carbon-Neutral Hydrogen as an Enabler of Sectoral Integration within a Decarbonization Pathway. Energies 12, 2551 (online verfügbar).

## Tabelle

## Szenarienannahmen

	Synthetisches Gas	Wasserstoff	Erneuerbarer Strom
<i>Szenario Elektrifizierung</i>	Das Gasübertragungs- und -verteilnetz ist weitgehend stillgelegt; Methan wird dort verbraucht, wo es erzeugt wird	Wasserstoff-Cluster mit sehr konzentriertem Leitungsnetz; Wasserstoffspeicher für die saisonale Speicherung von Strom	Erhebliche Modernisierung des europäischen Übertragungs- und Verteilungsnetzes
<i>Szenario Wasserstoff</i>	Das Gasübertragungs- und -verteilnetz wird weitgehend wiederverwendet; grünes Gas wird dort verbraucht, wo es erzeugt wird	Vernetzte europäische Übertragungsinfrastruktur, die über aufgerüstete Methanpipelines mit Importpunkten und Wasserstoffverteilnetzen verbunden ist; Aufbau einer Wasserstofftankstellen-Infrastruktur	Das Stromverteilnetz wird nur dort ausgebaut, wo kein Wasserstoff verfügbar ist; Übertragungsnetze werden in geringem Maß ausgebaut
<i>Szenario Synthetisches Gas</i>	Das Gasübertragungs- und -verteilnetz wird weitgehend von synthetischem Methan genutzt und in Stand gehalten	Wasserstoff-Cluster mit sehr konzentrierten Leitungsnetzen; Wasserstoffspeicher für die saisonale Stromspeicherung	Das Stromverteilnetz wird nur dort ausgebaut, wo kein Methan verfügbar ist; Übertragungsnetze werden in geringem Maß ausgebaut

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

© DIW Berlin 2022

Die zukünftig größere Rolle der Elektrizität wird in zwei Dimensionen sichtbar: Zum einen bei der zunehmenden direkten Verwendung von Elektrizität in der Endenergienutzung (direkte Elektrifizierung) und zum anderen bei der Einführung von Wasserstoff und synthetischem Gas, die mit Hilfe von Elektrizität hergestellt werden (indirekte Elektrifizierung).

Die direkte Elektrifizierung wird in allen Szenarien eine wichtige Rolle spielen, da sie eine kostengünstige Option zur Dekarbonisierung vieler Bereiche der Energienachfrage

darstellt.<sup>4</sup> Dies umfasst zum Beispiel den Individualverkehr (Elektrofahrzeuge oder -roller) und einen großen Teil der Wärmebereitstellung für Haushalte und industrielle Niedertemperaturwärme. Die Herstellung von Wasserstoff oder synthetischem Gas ist gegenüber einem vorwiegend elektrischen System mit höheren angebotsseitigen Investitions- und

<sup>4</sup> Anstelle von „Dekarbonisierung“ sollte der Begriff „Defossilisierung“ verwendet werden, um ein Energiesystem mit synthetischem Gas zu beschreiben, da Gas (Methan) ein kohlenstoffhaltiger Energieträger ist. Bei seiner Verbrennung wird Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) freigesetzt und CH<sub>4</sub> ist selbst ein Treibhausgas, das beim Transport austreten kann.

## Kasten 2

## Methodik der Szenarioanalyse

Für jedes Szenario werden die erforderlichen Investitionen im Energiesektor in den Zeiträumen 2020 bis 2030 und 2030 bis 2050 berechnet. Diese umfassen Investitionen in zusätzliche Stromerzeugungskapazitäten, in Elektrolyseure und Übertragungsnetze sowie Investitionen in Wasserstoffnetze. Kosten für Geräte bei den Energieverbrauchern werden dabei nicht einbezogen, da es bislang nicht möglich ist, die Kosten von Geräten, die demselben Zweck dienen, aber unterschiedliche Energieträger verwenden, eindeutig zuzuordnen. Die Annahmen über Investitionskosten in Energiesysteme sind dem ASSET-Projekt entnommen.<sup>1</sup>

Für die Berechnung der Investitionsvolumina in den verschiedenen Szenarien wird angenommen, dass die in den einzelnen

Sektoren nachgefragte Menge an Nutzenergie dieselbe ist wie im MIX-55-Szenarios des E3M-Modells der Europäischen Kommission.<sup>2</sup> Nutzenergie ist die Energiedienstleistung, die den Nutzern letztendlich zur Verfügung gestellt wird. Effizientere Formen der Energienutzung benötigen dabei weniger Kilowattstunden für die gleiche Dienstleistung als weniger effiziente Systeme. Für jedes Szenario werden Annahmen über die Anteile der Energieträger an den jeweiligen Nutzungsarten getroffen. Auf dieser Grundlage kann der Energiemix für jeden Sektor sowie der gesamte Energiemix berechnet werden. Dies ermöglicht auch die Berechnung der erforderlichen Übertragungs- und Erzeugungskapazitäten, für die wiederum die Investitionskosten berechnet werden.

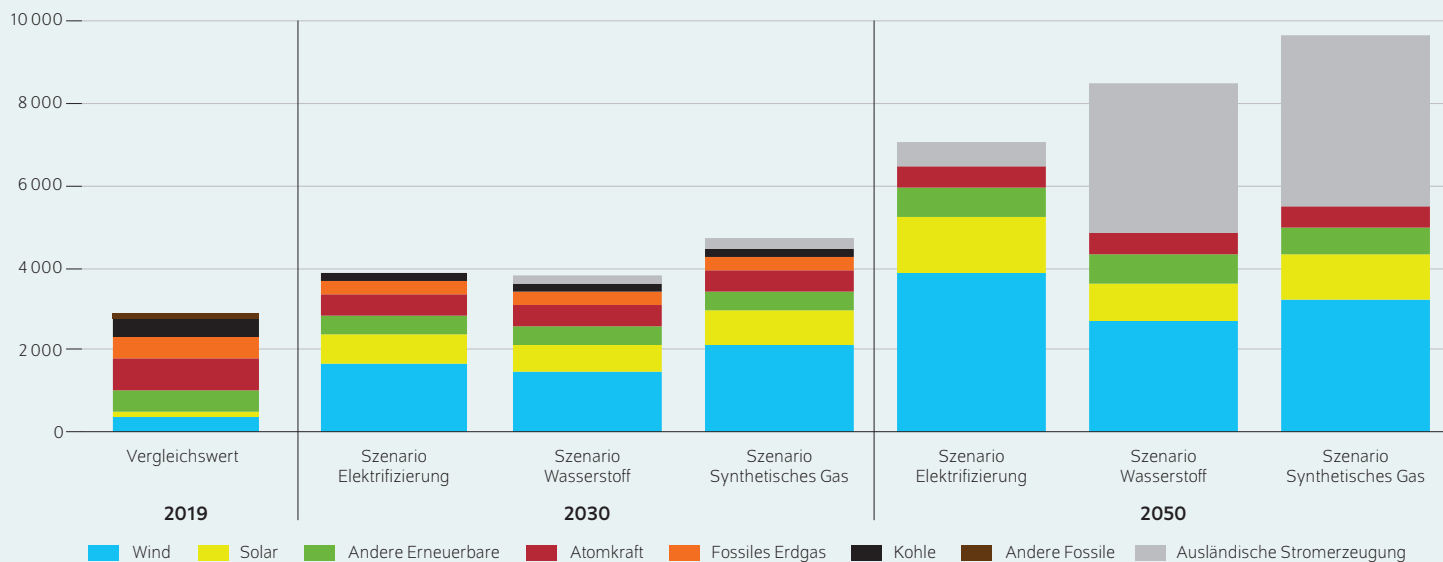
<sup>1</sup> Alessia De Vita, Izabela Kielichowska und Pavla Mandatowa (2018): Technology pathways in decarbonisation scenarios. Asset, 44–46 (online verfügbar).

<sup>2</sup> Verfügbar im interaktiven Tool des JRC, Szenario FF55 MIX (online verfügbar).

Abbildung 2

## Stromerzeugung in den Jahren 2019, 2030 und 2050

In Terawattstunden



Quelle: Eigene Berechnungen (siehe Kasten 2).

© DIW Berlin 2022

Auch in Szenarien mit grünen Gasen oder Wasserstoff wird eine hohe erneuerbare Stromerzeugung notwendig sein, die aber teilweise ins Ausland verlagert wird.

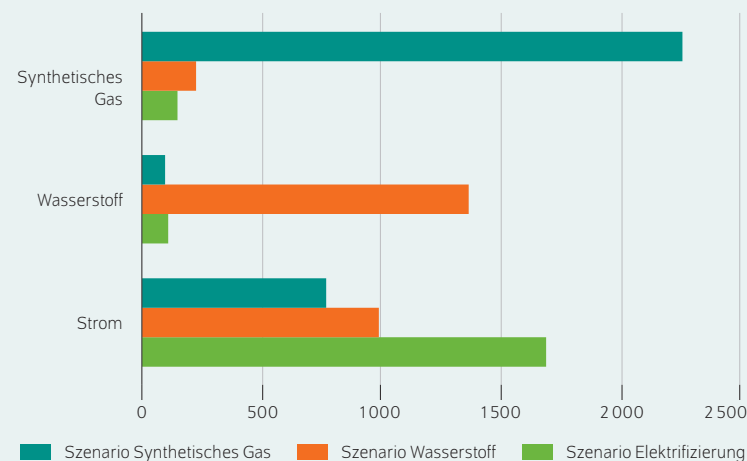
Energieimportkosten verbunden. Beide Energieträger würden nur dann eine relativ große Rolle in der Energieversorgung Europas spielen, wenn sie durch die zukünftige Energiepolitik direkt präferiert würden (Abbildung 3). Aufgrund ihrer aktuell mangelnden Wettbewerbsfähigkeit benötigen diese Technologien staatliche Förderungen, um im europäischen Energiesystem eingeführt und verbreitet zu werden. Selbst wenn

die Herstellungskosten weiter sinken, werden wahrscheinlich nur vergleichsweise geringe Mengen an Wasserstoff und synthetischem Gas genutzt. Beschränkt wird sich die Nutzung von Wasserstoff und synthetischem Gas hauptsächlich auf Sektoren, in denen eine Elektrifizierung unmöglich oder nur schwer zu erreichen ist, wie zum Beispiel im Luftverkehr oder in bestimmten Bereichen der chemischen Industrie.

Abbildung 3

### Veränderung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern zwischen 2021 und 2050

In Terawattstunden



Quelle: Eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

In allen Szenarien steigt der Stromverbrauch an, auch in den Szenarien mit hohen Anteilen von Wasserstoff oder synthetischem Gas.

### Kosten der Dekarbonisierung bei weitgehender Elektrifizierung am geringsten

Die in den verschiedenen Szenarien entstehenden Kosten können derzeit nur annähernd geschätzt werden. Bei Schlüsselparametern, wie Lernraten und zukünftigen Gerätekosten, bestehen hohe Unsicherheiten. Dennoch lassen sich aus dem Vergleich der drei Szenarien wichtige Erkenntnisse gewinnen.

Erstens haben die verschiedenen Szenarien einen unterschiedlichen angebotsseitigen Investitionsbedarf (Abbildung 4). Das Szenario *Elektrifizierung* erfordert einen umfangreichen Ausbau der Stromnetze, der wegen der flächendeckenden Anbindung aller in Frage kommenden Energieverbraucher größer ist als in den anderen Szenarien. Im Gegensatz dazu entstehen bei einem auf Wasserstoff ausgerichteten Energiesystem Kosten für die Umrüstung der Erdgasrohrleitungen auf den Wasserstofftransport.

Zweitens erfordern alle Szenarien erhebliche Investitionen in eine kohlenstoffarme Stromversorgung. Die Ausbaukosten für die Stromerzeugung betragen in allen Szenarien mehr als die Hälfte der Investitionskosten.

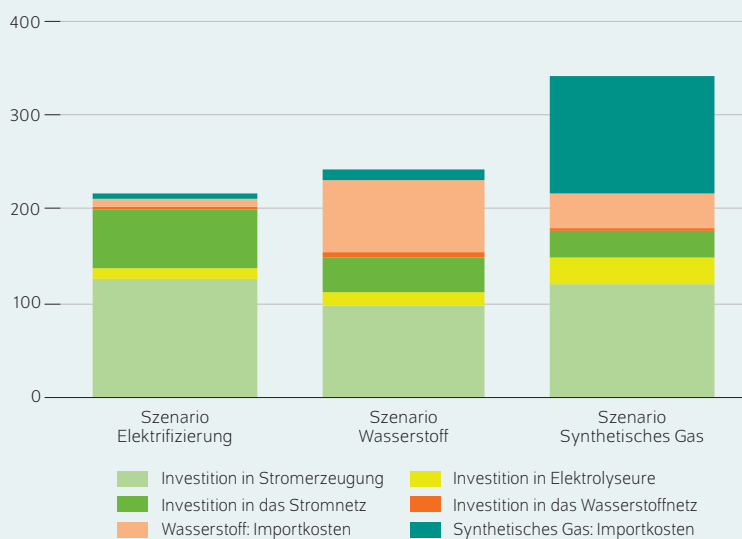
Drittens wäre der Bedarf an Investitionen in die inländische Stromerzeugung in den Szenarien *Wasserstoff* und *Synthetisches Gas* noch höher, wenn nicht ein Großteil der Stromerzeugung in das außereuropäische Ausland ausgelagert und in Form von Wasserstoff und synthetischem Gas importiert würde. Dies führt jedoch zu hohen Importkosten (Abbildung 4).

Die Elektrifizierung ist in allen drei Szenarien ein unverzichtbarer Bestandteil. Die direkte Nutzung von Strom hat einen höheren Wirkungsgrad als die Nutzung von Wasserstoff, synthetischem Gas oder von fossilen Energieträgern. Bei gleicher Nutzenergie ist der Primärenergieverbrauch geringer und das Szenario, das sich auf eine weitgehende Elektrifizierung konzentriert, ist mit den geringsten Kosten verbunden. Unter Kostengesichtspunkten ist die Nutzung von Wasserstoff wahrscheinlicher als die Nutzung von synthetischem Gas. Wasserstoff kann dabei eine Ergänzung zur weit verbreiteten Elektrifizierung sein, da er hilft, Schwankungen der erneuerbaren Energien auszugleichen und schwer zu elektrifizierende Nachfragebereiche, wie den Luftverkehr, klimafreundlich zu versorgen. Ein Energiesystem, das auf synthetisches Gas ausgerichtet ist, ist die teuerste Wahl. Die Vorteile der Wiederverwendung bestehender fossiler Erdgasinfrastrukturen gleichen die hohen Investitions- und Betriebskosten für Produktionsanlagen zur Herstellung von synthetischem Gas nicht vollständig aus. Zudem würden weiterhin Treibhausgase verursacht werden, da Kohlendioxid bei der Nutzung (Verbrennung) emittiert würde und Methan aus möglichen Infrastrukturleckagen austreten könnte.

Abbildung 4

### Durchschnittliche jährliche Investitions- und Energieimportkosten in den drei Szenarien 2021 bis 2050

In Milliarden Euro



Quelle: Eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2022

Das Szenario *Synthetisches Gas* ist am teuersten, da hohe Importkosten anfallen.

### Investitionen auch bei den Energieverbrauchern in großem Umfang notwendig

Während sich die Szenarioanalyse ausschließlich auf die Angebotsseite konzentriert, zeigen andere Modellierungsstudien,

dass der größte Teil des Investitionsbedarfs auf der Nachfrageseite besteht (Abbildung 5). Das REG-Szenario basiert auf der Annahme, dass durch EU-Regulierungen, wie strenge Treibhausgasbegrenzungen sowie hohe Energieeffizienz- und Erneuerbarenförderungen, das europäische Ziel der Treibhausgasneutralität erreicht wird.<sup>5</sup> Für das Ausgewogene Szenario wurden drei Szenarien verbunden, die sehr ähnlich zu den hier untersuchten Szenarien sind und mit dem EU-Energiemodell PRIMES berechnet wurden.<sup>6</sup>

Investitionen auf der Nachfrageseite beinhalten vielfältige Maßnahmen. Haushalte werden neue Fahrzeuge kaufen, Gebäude sanieren und saubere Heizsysteme installieren, Unternehmen müssen in saubere Produktionsverfahren investieren. Insgesamt können die Investitionen sowie die Ausgaben für langlebige Konsumgüter auf der Nachfrageseite die Investitionsausgaben auf der Angebotsseite um das Fünffache übersteigen.

Um den privaten Akteuren genügend Vertrauen für diese Investitionen zu geben, muss die Politik zwei sich ergänzende Wege einschlagen. Ohne starke Signale, dass fossile Energieträger in Zukunft nicht mehr zur Verfügung stehen, werden Investoren nicht bereit sein, in die Umstellung von Technologien zu investieren. Dabei wird es nicht reichen, nur den Ausstieg aus fossilen Energieträgern anzukündigen. Vielmehr müssen glaubwürdige Zusagen gegeben und angepasste regulatorische Rahmenbedingungen für neue Energiequellen und Technologien geschaffen werden. Ein wichtiges Instrument, um Finanzströme in bestimmte Investitionen zu lenken, ist die grüne Taxonomie.<sup>7</sup> Der aktuelle Vorschlag der EU-Kommission zielt zu sehr auf kurzfristige Investitionen (unter anderem in Erdgas) ab und zu wenig auf Investitionen, die zum Ziel der nachhaltigen Klimaneutralität beitragen. Soziale und politische Zwänge können schnell dazu führen, dass Regierungen Verbote fossiler Energieträger oder hohe Kohlenstoffpreise nicht durchsetzen oder durchhalten können, wenn keine Alternativen vorhanden sind.

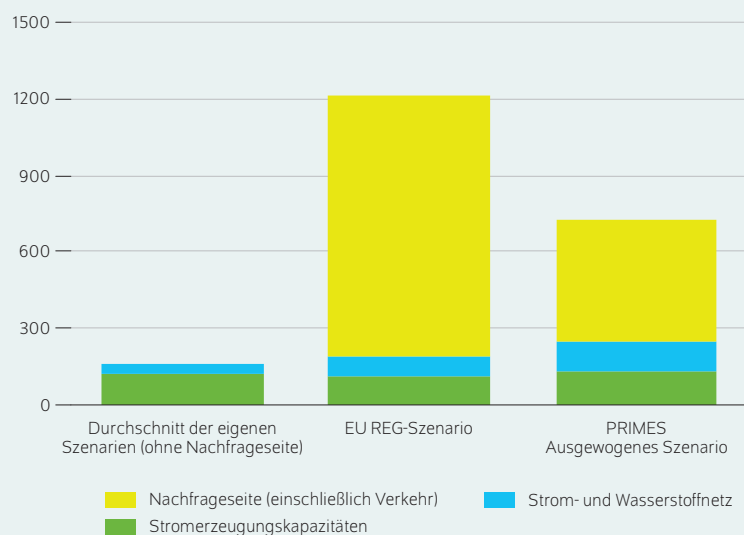
### Fazit: Infrastrukturausbau und Anpassung der energiepolitischen Rahmenbedingungen notwendig

Die europäische Energiepolitik muss in den kommenden Jahren durch eine Reihe von Weichenstellungen die Transformation des Energiesystems sicherstellen.

Erstens wird der Zugang zu Energie zunehmend von kohlenstoffarmen Stromquellen und den daraus gewonnenen Energieträgern bestimmt. Daher ist der Ausbau der

Abbildung 5

### Erforderliche durchschnittliche jährliche Investitionen in das europäische Energiesystem (2031 bis 2050) In Milliarden Euro



Quelle: Eigene Berechnungen; Europäische Kommission (2020) a.a.O. (EU REG-Szenario); Evangelopoulou et al. (2019) a.a.O. (PRIMES Ausgewogenes Szenario).

© DIW Berlin 2022

Der größte Investitionsbedarf wird bei den Energieendverbrauchern, wie Industrie und Haushalten, anfallen.

Infrastruktur für alle erneuerbaren Energieträger von entscheidender Bedeutung. Unabhängig davon, ob das zukünftige Energiesystem auf direkter oder indirekter Elektrifizierung (synthetisches Gas und Wasserstoff) basiert, ist ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien erforderlich. Die direkte Elektrifizierung ist für die meisten Anwendungen die kostengünstigste Option und bietet zudem den Vorteil, dass das Energiesystem weniger stark von Importen aus dem EU-Ausland abhängig ist.

Dies erfordert eine stärkere Zusammenarbeit der europäischen Mitgliedsstaaten in Bezug auf die Planung und Förderung von grenzübergreifenden Infrastrukturprojekten. Neben der Infrastruktur auf der Übertragungsebene wird auch die Unterstützung und Genehmigung von Investitionen in Verteilnetze und die notwendige Endinfrastruktur, zum Beispiel für das Laden von Elektrofahrzeugen, eine wichtige Rolle spielen.

Zweitens müssen die entsprechenden Rahmenbedingungen für das veränderte Energiesystem von der Politik gesetzt werden. Das derzeitige Marktdesign für Strom und Erdgas spiegelt das Bestreben wider, schrittweise einen integrierten europäischen Energiemarkt zu schaffen. Die Energiewende erfordert eine Verbesserung der Koordination zwischen europäischer und nationaler Ebene, um künftig einen möglichst effizienten europäischen

<sup>5</sup> Vgl. Europäische Kommission (2020): Stepping up Europe's 2030 climate ambition. COM(2020) 562 final (online verfügbar) und zugehöriges Impact Assessment (online verfügbar).

<sup>6</sup> Evangelopoulou et al. (2019), a. a. O.

<sup>7</sup> Weitergehende, laufend aktualisierte Informationen zur Taxonomie-Regulierung der EU können auf der Website der Europäischen Kommission abgerufen werden. Siehe auch Pressemitteilung der Europäischen Kommission vom 2. Februar 2022 zur EU-Taxonomie Green Deal (online verfügbar).

Energiemix zu erreichen. Das Hauptaugenmerk sollte auf der Gestaltung des Strommarktes und dessen Verknüpfung mit anderen Sektoren, wie dem Transport- und Wärmesektor, liegen, da Strom in jedem Fall der wichtigste zukünftige Energieträger sein wird. Aber auch die Regeln für andere Energieträger müssen klar formuliert

werden. Bei Erdgas ist eine Schlüsselfrage, wie der mittelfristige Ausstieg mit möglichst geringen Friktionen bewältigt werden kann. Wichtiger werdende Energieträger wie Wasserstoff, der bisher vor allem als chemisches Vorprodukt genutzt wird, müssen als Energieträger neu betrachtet werden.

**Franziska Holz** ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [fholz@diw.de](mailto:fholz@diw.de)

**Alexander Roth** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt und Doktorand im Graduate Center des DIW Berlin | [aroth@diw.de](mailto:aroth@diw.de)

**Robin Sogalla** ist Stipendiat in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt und im Graduate Center des DIW Berlin | [rsogalla@diw.de](mailto:rsogalla@diw.de)

**Frank Meißner** ist Consultant bei der DIW Econ GmbH | [fmeissner@diw-econ.de](mailto:fmeissner@diw-econ.de)

**Georg Zachmann** ist Senior Fellow beim Think Tank Bruegel in Brüssel | [georg.zachmann@bruegel.org](mailto:georg.zachmann@bruegel.org)

**Ben McWilliams** ist Research Analyst beim Think Tank Bruegel in Brüssel | [ben.mcwilliams@bruegel.org](mailto:ben.mcwilliams@bruegel.org)

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [sekretariat-evu@diw.de](mailto:sekretariat-evu@diw.de)

**JEL:** Q48, Q47, Q42

**Keywords:** energy, decarbonisation, EU, scenarios, fossil phase-out

## INTERVIEW



Franziska Holz, stellvertretende Leiterin der Abteilung  
Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin

## „Das europäische Energiesystem wird in Zukunft hauptsächlich auf Strom beruhen“

**1. Frau Holz, es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie das europäische Energiesystem in Zukunft ohne fossile Energieträger auskommen könnte. Sie haben drei Szenarien untersucht. Welche sind das?**

Wir haben drei eher extreme Szenarien untersucht, die den Fokus auf jeweils einen bestimmten Energieträger legen. Das ist zum einen ein Szenario *Elektrifizierung*, bei dem besonders viel Strom verwendet wird, zum anderen ein Szenario *Wasserstoff*, in dem sehr viel Wasserstoff genutzt wird, sogar so viel, dass er zusätzlich auch importiert werden muss und zum dritten ein Szenario *Synthetisches Gas*, in dem besonders viel synthetisches Gas verwendet wird. Auch da müssten wir zusätzlich importieren.

**2. Welcher dieser Energieträger ist am ehesten geeignet, fossile Energie in Zukunft zu ersetzen?**

Wahrscheinlich werden wir in Zukunft einen Mix dieser drei Energieträger haben, aber eine ganz besondere Rolle wird dabei elektrischer Strom spielen, da er für die Erzeugung von Wasserstoff und synthetischem Gas Strom notwendig ist. Um grünen Wasserstoff und grünes synthetisches Gas zu erzeugen, brauchen wir erneuerbaren Strom. Das heißt, nicht nur im Szenario *Elektrifizierung*, sondern auch in den Szenarien *Wasserstoff* und *Synthetisches Gas* brauchen wir einen starken Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung.

**3. Welches Szenario verspricht die geringsten Kosten?**

Wir vergleichen die Bereitstellungskosten für die einzelnen Energieträger und da sehen wir, dass das Szenario *Elektrifizierung* das günstigste Szenario ist, weil wir uns damit die zusätzliche Umwandlung von Strom in Wasserstoff und womöglich weiter noch in synthetisches Gas ersparen.

**4. Werden in Zukunft Wasserstoff und synthetisches Gas trotzdem eine Rolle spielen?**

Sowohl erneuerbarer Wasserstoff als auch synthetisches Gas können gewisse Vorteile im Energiesystem bieten. Die Frage ist, in welchem Umfang sie genutzt werden. Wasserstoff hätte den Vorteil, dass er ein gasförmiger Energieträger ist, das heißt, da wo wir heute Erdgas verwenden, könnte auch Wasserstoff eingesetzt

werden. Das teurere synthetische Gas wiederum hätte den Vorteil, dass die bestehenden Pipelinesetze für Erdgas eins zu eins verwendet werden könnten, denn beides ist Methan. Ob bei Wasserstoff diese Pipelinesetze wiederverwendet werden können, wissen wir noch nicht hundertprozentig. Je nach Anwendung muss abgewogen werden, welche Energieträger in Zukunft verwendet werden. Diese Abwägung betrifft den Industriesektor, aber auch den Verkehrssektor, insbesondere den Schwerlastbereich, die Schifffahrt und den Flugverkehr, wo die Option der Elektrifizierung schwer zu realisieren sein wird.

**5. Was muss die Politik tun, damit sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite bereit sind, entsprechende Investitionen zu tätigen?**

Aus der Politik müssen jetzt klare Signale kommen, in welche Richtung sich das Energiesystem entwickeln soll. Zum einen ist es ganz wichtig, dass die Politik sich auch europaweit zu dem Ziel der Klimaneutralität bekennt und es nicht mit Maßnahmen konterkariert, in denen zum Beispiel der Kohlesektor weiterhin gefördert wird. Wir sehen dieses Problem derzeit vor allen Dingen in Osteuropa. Investitionen, die heute in langlebige Energieanwendungen getätigt werden, müssen in erneuerbare und klimafreundliche Anwendungen fließen, die entweder strombasiert funktionieren oder mit erneuerbaren Energieträgern. Aber die Investoren brauchen Sicherheit, dass diese erneuerbaren Energieträger auch noch in zehn bis 20 Jahren tatsächlich angeboten werden. Dafür brauchen wir heute von der Politik klare Signale.

Das Gespräch führte Erich Wittenberg.



Das vollständige Interview zum Anhören finden Sie auf  
[www.diw.de/interview](http://www.diw.de/interview)



CLAUDIA KEMFERT

# Das starre Bekenntnis zu fossilem Erdgas ist kontraproduktiv und gefährlich

Claudia Kemfert ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin.  
Der Kommentar gibt die Meinung der Autorin wieder.

Nicht zum ersten Mal befindet sich Europa inmitten eines fossilen Gaskonflikts. Und nicht zum ersten Mal nutzt Russland seine Gaslieferungen als politische Waffe – wie jetzt im Ukraine-Konflikt. Als Deutschland vor mehr als 15 Jahren entschieden hat, eine direkte Pipeline nach Russland zu bauen, haben wir vom DIW Berlin darauf hingewiesen, dass dies ein großer Fehler ist, der sich rächen könnte. Und genau das ist nun eingetreten: Die Pipeline verschärft die geopolitische Krise.

Dass Erdgas zudem ausgerechnet jetzt durch die EU-Taxonomie als nachhaltig deklariert wird, zeugt von einem starren Bekenntnis zu fossilem Erdgas, das kontraproduktiv und, wie sich im aktuellen Konflikt mit der Ukraine zeigt, gefährlich ist. Dieses Vorgehen der EU, Gas und Atom als nachhaltige Investmentziele zu deklarieren, ist nicht mit den Klimaschutzzielen vereinbar und behindert zudem den Umstieg hin zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien.

Drei Dinge sollten nun gemacht werden, um aus dem Schlammfeld von geopolitischen Energiekonflikten und falschen Investmentanreizen herauszukommen: Erstens sollte die Energiewende hin zum Ausbau erneuerbarer Energien, zu Energiesparen, Elektromobilität und grünem Wasserstoff massiv forciert werden. Nur durch eine Vollversorgung aus erneuerbaren Energien können Klimaziele nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch effizient erreicht werden. Zudem stärkt eine heimische Energieversorgung die Versorgungssicherheit und macht Europa resilient gegen fossile Energiekrisen und Energiekriege. Erneuerbare Energien werden zudem immer billiger. Die Investitionen in Zukunftsmärkte schaffen Wertschöpfungen und Arbeitsplätze.

Zweitens sollte weder Atom noch fossiles Erdgas in die EU-Taxonomie aufgenommen werden. Die Finanzierung von fossilem Erdgas verursacht hohe Treibhausgasemissionen und ist nicht kompatibel mit den Pariser Klimabeschlüssen. Der Bau von Atomkraftwerken ist nicht nur enorm teuer, risikoreich und zeitaufwendig, sondern dauert viel zu lange. Dafür EU-Gelder auszugeben ist widersinnig. Und beides behindert den Umstieg

hin zur Vollversorgung mit erneuerbaren Energien. Deutschland sollte in der EU-Taxonomie gegen die Atomkraft stimmen, Frankreich gegen Erdgas, dann hätten wir eine wirklich nachhaltige EU-Taxonomie ohne Gas und Atom und könnten eine echte Energiewende einleiten.

Und drittens sollte Nordstream 2 nicht in Betrieb gehen. Schon der Bau der ersten Pipeline war ein Fehler. Nordstream 2 ist teuer, unnötig und behindert den Umstieg hin zu einer echten Energiewende. Anders als andere europäische Länder hat Deutschland die Abhängigkeit zu russischen Gaslieferungen erhöht statt auf eine Diversifikation der Gasbezüge zu setzen. Schon 2005, als Gerhard Schröder und Wladimir Putin den Bau der ersten Doppelröhre vereinbarten, hatten wir vom DIW Berlin empfohlen, besser einen Terminal für Flüssiggas zu bauen. So eine Entladestation für Tankschiffe hätte uns in die Lage versetzt, Erdgas aus vielen Lieferländern zu beziehen und die Abhängigkeit von Russland zu verringern. Bekanntlich hat die Bundesregierung entgegen wissenschaftlicher Ratschläge damals anders entschieden. Schlimmer noch: Sie wiederholte den Fehler 2013 mit Nordstream 2. Heute ergibt ein LNG-Terminal keinen Sinn mehr, besser wäre ein Wasserstoff-Terminal, um grünen Wasserstoff nach Deutschland zu importieren. Und wir benötigen endlich eine strategische Gasreserve, genau wie wir auch über eine Ölreserve verfügen. Die Gasspeicher, die an Gazprom verkauft wurden, sollten am besten zurückgekauft und verstaatlicht werden und als strategische Gasreserve dienen.

Mit diesen Maßnahmen ließen sich die Fehler noch korrigieren, die damals und heute gemacht werden. Und damit eine echte Energiewende einleiten, mit der sich die Klimaschutzziele erreichen lassen. Die Lobbyisten der Vergangenheit mögen anderes behaupten. Aber ökonomisch haben Gas und Atom keine Zukunft mehr und hängen nur noch am Tropf politisch (und militärisch) motivierter Subventionen. Wir benötigen Zukunftstechnologien, kein unnötig langes Festhalten an der Vergangenheit.

Dieser Kommentar ist einer kürzeren Fassung am 28. Januar in der Hannoverschen Allgemeinen und anderen Lokalzeitungen erschienen.