

Oei, Pao-Yu et al.

**Article**

## Neues Klima für Europa: Klimaschutzziele für 2030 sollten angehoben werden

DIW Wochenbericht

**Provided in Cooperation with:**

German Institute for Economic Research (DIW Berlin)

*Suggested Citation:* Oei, Pao-Yu et al. (2019) : Neues Klima für Europa: Klimaschutzziele für 2030 sollten angehoben werden, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 86, Iss. 41, pp. 753-760, [https://doi.org/10.18723/diw\\_wb:2019-41-1](https://doi.org/10.18723/diw_wb:2019-41-1)

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/204893>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

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

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

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

**Terms of use:**

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

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

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

## Neues Klima für Europa: Klimaschutzziele für 2030 sollten angehoben werden

Von Pao-Yu Oei, Karlo Hainsch, Konstantin Löffler, Christian von Hirschhausen, Franziska Holz und Claudia Kemfert

- Einhaltung der Pariser Klimaziele bedingt eine Emissionsminderung von 60 Prozent bis 2030 (im Vergleich zu 1990)
- Anhebung des bisherigen europäischen Reduktionsziels von 40 auf 60 Prozent ist machbar und ökonomisch sinnvoll
- Quantitative Modellrechnungen zeigen einen kostenoptimalen Dekarbonisierungspfad für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr auf
- Eingesparte Umweltkosten übersteigen die zusätzlichen technischen Systemkosten
- Massiver Zubau erneuerbarer Energien ermöglicht Verzicht auf Atomkraftwerke und Technologien der CO<sub>2</sub>-Abscheidung zur Stromerzeugung

### Mit Pariser Zwei-Grad-Ziel kompatible Veränderung des europäischen Stromerzeugungsmix

Anteile an der gesamten Stromproduktion



Quellen: Eigene Berechnungen mit GENeSYS-MOD v2.0.

© DIW Berlin 2019

### ZITAT

„Ambitionierter Klimaschutz in Europa ist machbar und ökonomisch sinnvoll, auch ohne Atomkraft und CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Damit diese Ziele erreicht werden können, müssen erneuerbare Energien zeitnah erheblich ausgebaut werden.“

— Claudia Kemfert, Studienautorin —

### MEDIATHEK



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

# Neues Klima für Europa: Klimaschutzziele für 2030 sollten angehoben werden

Von Pao-Yu Oei, Karlo Hainsch, Konstantin Löffler, Christian von Hirschhausen, Franziska Holz und Claudia Kemfert

## ABSTRACT

Im Kontext nationaler sowie globaler Klimaschutzinitiativen steht die neue EU-Kommission unter der Leitung von Ursula von der Leyen vor der Herausforderung, den bisherigen Ankündigungen auch konkrete Umsetzungen für eine ambitionierte Klimaschutzpolitik folgen zu lassen. Dies betrifft insbesondere eine Anhebung der Klimaschutzziele der EU für 2030 sowie im Rahmen des Pariser Klimaschutzabkommens eine Überarbeitung der Langzeitstrategie 2050. Modellrechnungen des DIW Berlin zeigen, dass eine Steigerung des Ambitionsniveaus für das Jahr 2030 von derzeit 40 Prozent Emissionsminderung im Vergleich zu 1990 auf 60 Prozent machbar und ökonomisch sinnvoll ist. Den erheblichen Einsparungen bei den Umweltkosten stehen geringe Steigerungen der Energiesystemkosten gegenüber. Bei der weiteren Umsetzung der Klimaschutzpolitik ist die Lastenverteilung zwischen den Mitgliedsländern weiterhin ein wichtiger Aspekt. Für die Umsetzung ambitionierter Klimaschutzziele werden weder Atomkraft noch CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien benötigen. Dies steht in Einklang mit Ergebnissen europäischer Modellszenarien aus dem Projekt SET-Nav unter Beteiligung des DIW Berlin.

Nach den Wahlen zum Europäischen Parlament im Mai 2019 genießt der Klimaschutz sowohl in den europäischen Gremien als auch bei der neuen Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen eine besondere Priorität.<sup>1</sup> Dies wird auch anhand des Vorschlags deutlich, Frans Timmermans, den ehemaligen Spitzenkandidaten der europäischen Sozialdemokraten, zum Executive Vice President für den „European Green Deal“ zu nominieren. Die europäische Klimaschutzpolitik steht dabei im Kontext sowohl nationaler, als auch globaler Anstrengungen. Der Fokus liegt hierbei auf der Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens sowie der Erstellung einer neuen europäischen langfristigen Strategie bis 2050. In diesem Zusammenhang mehren sich die Stimmen, die für eine Verschärfung der bisherigen Klimaschutzziele bis 2030 plädieren. Diese fordern, die Rolle Europas als Vorreiter des weltweiten Klimaschutzes zu stärken und die europäischen Industrien in ihren Bemühungen um nachhaltige Zukunftstechnologien zu unterstützen.<sup>2</sup>

Der folgende Bericht analysiert die Auswirkungen einer klimapolitischen Zielverschärfung hinsichtlich der Emissionsminderungen von 40 auf 60 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990. Die im Bericht vorgestellten Modellrechnungen zeigen, dass diese Verschärfung notwendig ist, um die Pariser Klimaschutzziele einzuhalten. Die Analyse erfolgt anhand einer Betrachtung des Energiesystemmodells GENEYS-MOD, dessen Ergebnisse im Anschluss mit dem europäischen Energieszenarien-Projekt SET-Nav verglichen werden. Dieser Wochenbericht beruht auf Ergebnissen, die von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Nachwuchsforschungsgruppe „CoalExit – Economics of Coal Phase-Out – Identifying Building Blocks for Future Regional Transition Frameworks“ erarbeitet wurden. Diese wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

<sup>1</sup> Vgl. Frederic Simon und Sam Morgan (2019): Neue Kommission verspricht „Green Deal“. Euractiv vom 11. September (online verfügbar, abgerufen am 27. September 2019). Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt.

<sup>2</sup> Vgl. Simone Tagliapietra et al. (2019): The European Union Energy Transition: Key priorities for the next five years. Bruegel Policy Brief July (1) (online verfügbar).

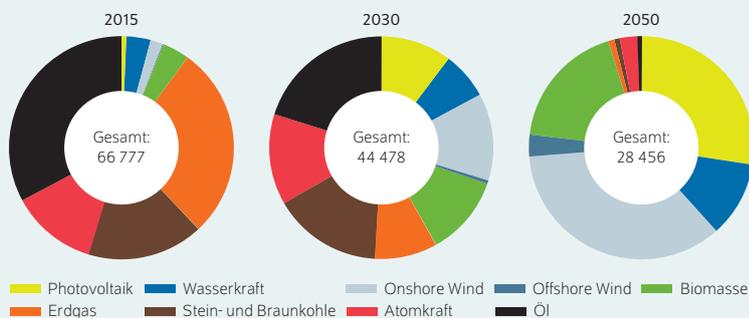
## EU vor Anhebung der Klimaschutzziele für 2030 und Erstellung einer neuen Strategie für 2050

Die aktuelle Diskussion in Europa wird durch die Verhandlungen zwischen der Europäischen Kommission und den EU-Mitgliedsstaaten bezüglich der nationalen Energie- und Klimaschutzstrategien („national energy and climate plans“, NECPs) bestimmt. In diesem, noch innerhalb der vergangenen Legislaturperiode von der Europäischen Kommission angestoßenen, Prozess mussten die Mitgliedsländer nationale Pläne für den Zeitraum bis 2030 vorlegen, welche die EU-Kommission prüft und gegebenenfalls Verbesserungsbedarf aufzeigt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Ziele für Treibhausgasemissionen außerhalb des europäischen Emissionshandels, der Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch sowie Energieeffizienz.<sup>3</sup> Es zeichnet sich ab, dass die bisher eingereichten nationalen Pläne nicht ausreichen werden, um eine signifikante Steigerung des europäischen Ambitionsniveaus hinsichtlich der Emissionsminderung bis 2030 zu erreichen. Derzeit laufende Überarbeitungen zielen daher auf eine Schärfung und Präzisierung der nationalen Beiträge ab.<sup>4</sup> In Deutschland läuft die Umsetzung des seit Ende Januar 2019 vorliegenden Berichts der Kohlekommission nur schleppend. Auch die Beschlüsse des Klimakabinetts<sup>5</sup> stellen nicht sicher, ob und wie Deutschland seine Emissionsziele für 2030 erreichen wird.<sup>6</sup>

Die Ausarbeitung der langfristigen Strategie 2050 der EU Energie- und Klimapolitik gliedert sich in den weltweiten Prozess der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) ein. Grundlage ist das Pariser Klimaschutzabkommen mit dem Ziel, den Anstieg der Erdoberflächentemperatur im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf unter zwei Grad Celsius, und nach Möglichkeit auf bis zu einem Grad Celsius zu beschränken, um noch größere globale Klimaschäden zu vermeiden. In diesem Kontext muss die EU ihre Langfriststrategie von 2011<sup>7</sup> überarbeiten und bis 2020 in den UNFCCC-Prozess einspeisen. Entsprechend dem Pariser Abkommen findet dann 2023 die erste Überprüfung der Langfriststrategie („Global Stocktake“) statt. Auch in diesem Prozess erstellen die EU-Mitgliedsstaaten derzeit auf 2050 ausgelegte Langfriststrategien (National Long Term Strategies to 2050, NLTSSs). Im Folgenden wird daher ein quantitatives Szenario präsentiert, in dem die Pariser Klimaschutzziele eingehalten werden. Dieses Szenario bedingt eine Anhebung der Klimaschutzziele für 2030 von 40 auf 60 Prozent Emissionsminderung im Vergleich zu 1990. Die Modellierung bezieht sowohl aktuellste Technologie- und

Abbildung 1

### Primärenergiebedarf in Europa im Klimaschutzszenario In Exajoule



Quellen: Eigene Berechnungen mit GENESYS-MOD v2.0.

© DIW Berlin 2019

Fossile Energieträger und Atomkraft werden schrittweise durch Erneuerbare ersetzt.

Kostenentwicklungen, als auch die Gefahr von Fehlinvestitionen („stranded assets“), mit ein.

### Energiesystemmodellierung: Emissionen um 60 statt 40 Prozent senken

Die Szenarien zur Erreichung der Klimaschutzziele werden auf Basis des Energiesystemmodells GENESYS-MOD analysiert. Das Modell ermittelt kostenminimale Entwicklungspfade für die Sektoren Elektrizität, Verkehr und Wärme, klammert also Teile der Industrie und den landwirtschaftlichen Sektor aus. Diese Optimierung wird europaweit auf der Ebene von 17 Ländern beziehungsweise Ländergruppen durchgeführt (Kasten). Wie sich der Energie- und Technologiemarkt des jeweiligen Szenarios zusammensetzt, hängt davon ab, wie die Parameter, insbesondere die Höhe des CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets, gewählt werden. Im dargestellten Klimaschutzszenario wird ein CO<sub>2</sub>-Budget, das mit dem Pariser Klimaschutzziel einer Erwärmung von unter zwei Grad Celsius kompatibel ist, im Vergleich zu einem „business-as-usual“ (BAU)-Szenario modelliert. Somit kann der jeweilige Energiemix sowie die damit verbundenen (zusätzlichen) Kosten ermittelt werden.

Eine Betrachtung des europäischen Energieträgermix im Klimaschutzszenario zeigt, dass der Primärenergiebedarf bis 2050 halbiert wird (Abbildung 1). Dies liegt insbesondere an der höheren Energieumwandlung und Effizienz der größtenteils stromgetriebenen Technologien und an den angenommenen Verhaltensanpassungen. Fossile Energieträger werden hierbei stückweise durch erneuerbare Energien ersetzt. Dies resultiert in einem Anteil von gut 33 Prozent erneuerbarer Energien am gesamten Primärenergiebedarf im Jahr 2030. Im Verkehrssektor setzen sich elektrische Antriebstechnologien nahezu komplett durch und generieren 2050 eine zusätzliche Stromnachfrage von 739 Terawattstunden. Im Verkehrssektor wird zunächst Biomasse

<sup>3</sup> Für die vollständigen Einschätzungen der vorläufigen NECPs vgl. Informationen auf der Webseite der Europäischen Kommission.

<sup>4</sup> Vgl. Ecologic Institute (2019): Planning for Net Zero – Assessing the Energy and Climate Plans. Berlin (online verfügbar) sowie Tagliapietra et al. (2019), a. a. O.

<sup>5</sup> Vgl. Bundesregierung (2019): Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030. Fassung nach Klimakabinetts (online verfügbar).

<sup>6</sup> Vgl. Claudia Kemfert (2019): Klimapakett: Der homöopathische CO<sub>2</sub>-Preis ist ein Witz. DIW Wochenbericht Nr. 39, 732 (online verfügbar).

<sup>7</sup> Vgl. Europäische Kommission (2011): A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. Brüssel (online verfügbar).

Kasten

## Das Global Energy System Model (GENeSYS-MOD)

Die Einhaltung der Klimaschutzziele wurde mit dem Energiesystemmodell Global Energy System Model (GENeSYS-MOD) untersucht. Das Modell basiert auf dem etablierten Open Source Energy Modelling System (OSeMOSYS), einer quelloffenen Software für langfristige Energiesystemanalysen.<sup>1</sup> OSeMOSYS wird von einer Vielzahl an Forschern weltweit dezentral weiterentwickelt und in zahlreichen wissenschaftlichen und politikberatenden Veröffentlichungen verwendet. Für die vorliegende Analyse wurde hierauf aufbauend das Modell GENeSYS-MOD entwickelt.<sup>2</sup> Die Zielfunktion des Modells umfasst die gesamten Kosten zur Bereitstellung der Energie für die Sektoren Elektrizität, Verkehr und Wärme in Europa. Das Modellergebnis ist eine kostenminimale Kombination von Technologien, um die Energienachfrage jederzeit vollständig zu decken. Dabei werden Klimaschutzziele, wie etwa ein CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget, als Rahmenbedingung für die Modellrechnungen explizit vorgegeben.<sup>3</sup> Das vorgegebene CO<sub>2</sub>-Budget für Europa basiert auf dem verbleibenden globalen Budget, um die in Paris vereinbarten Klimaschutzziele einer maximalen Erwärmung um weniger als 2 °C einzuhalten.<sup>4</sup>

Da die Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie mit den Wetterbedingungen schwankt, ist ein zeitlicher und räumlicher Ausgleich notwendig, um jederzeit die Energienachfrage decken zu können.

Hierfür sind im Modell mehrere Technologien zur Speicherung sowie zur Sektorenkopplung implementiert. Vor allem Lithium-Ionen-Batterien dienen zum Ausgleich zeitlicher Schwankungen von Energiebereitstellung und -nachfrage. Zudem ermöglicht die Kopplung des Elektrizitätssektors mit den Sektoren Wärme und Verkehr deren Dekarbonisierung durch die Nutzung Stroms aus erneuerbaren Quellen. Räumlich bildet das Modell Europa in 17 Knotenpunkten ab, wodurch einige kleinere Länder zusammengefasst werden. Zwischen den Regionen ist der Austausch von Brennstoffen und Elektrizität, jedoch nicht von Wärme, möglich. Um die Komplexität des Modells in einem berechenbaren Rahmen zu halten, wird zudem auf zeitlicher Ebene aggregiert. Im Zuge der Betrachtung werden alle Stunden eines Jahres in 16 Zeitscheiben zusammengefasst, die saisonale und tageszeitliche Schwankungen von Nachfrage und der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien repräsentieren. Die Jahre 2020 bis 2050 werden in integrierten Fünfjahresschritten betrachtet; wobei von vollständiger Kenntnis über die zukünftigen Entwicklungen von Nachfrage, Kosten und Verfügbarkeit erneuerbarer Energien ausgegangen wird. Die Berechnungen basieren hauptsächlich auf Kostenschätzungen aus dem Jahr 2018; durch unerwartet schnelle Kostensenkungen bei der Solarenergie könnten die Ergebnisse daher das Potential der Erneuerbaren unterschätzen.<sup>5</sup> Auf der anderen Seite werden bei den Berechnungen ein Teil der Integrationskosten von erneuerbaren Energien durch die geringere regionale und zeitliche Auflösung nicht ausreichend betrachtet, was zu einer Überschätzung der Potentiale von fluktuierenden Erneuerbaren führt.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Claudia Kemfert et al. (2017): Atomkraft für Klimaschutz unnötig – Kostengünstigere Alternativen sind verfügbar. DIW Wochenbericht Nr. 47, 1049–1058 (online verfügbar).

<sup>2</sup> Weitere Anwendungen des Modells untersuchen Szenarien für die Welt und einzelne Länder, beispielsweise Indien, Mexiko, China und Deutschland.

<sup>3</sup> Für eine genauere Einsicht in die Modellformulierung und die verwendeten Inputdaten vgl. Thorsten Burandt, Konstantin Löffler und Karlo Hainsch (2018): GENeSYS-MOD v2.0 – Enhancing the Global Energy System Model Model Improvements, Framework Changes, and European Data Set. DIW Data Documentation No. 94 (online verfügbar).

<sup>4</sup> Ausgehend von einem globalen Restbudget im Jahr 2015 von 890 Gigatonnen (Gt) CO<sub>2</sub> wird auf Basis der Bevölkerungszahl ein verbleibendes Kohlenstoffbudget von 51,60 Gt CO<sub>2</sub> für Europa errechnet. Basierend auf Joeri Rogelj et al. (2018): Mitigation Pathways Compatible with 1.5 °C in the Context of Sustainable Development. In: Masson-Delmotte et al. (Hrsg.): Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Genf, 93–174 (online verfügbar).

<sup>5</sup> Vgl. Eero Vartiainen et al. (2019): Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity. EU PVSEC Paper (online verfügbar).

<sup>6</sup> Vgl. zu Integrationskosten von erneuerbaren Energien Lion Hirth, Falko Ueckerdt und Ottmar Edenhofer (2015): Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability. Renewable Energy 2015 (74), 925–939 sowie Wolf-Peter Schill (2013): Systemintegration erneuerbarer Energien: die Rolle von Speichern für die Energiewende. Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung 82 (3), 61–88.

genutzt. Langfristig wird Biomasse jedoch im Wärmesektor benötigt, da in diesem einige der energieintensivsten Prozesse schwerer zu elektrifizieren sind. Da das insgesamt nachhaltig einsetzbare Biomassepotential beschränkt ist, reduziert sich deren Nutzung im Stromsektor, obwohl die Gesamtnutzung leicht ansteigt.

Im BAU-Szenario sinken die jährlichen Emissionen bis 2030 lediglich um ungefähr 38 Prozent im Vergleich zu 1990 (Abbildung 2). Zwar führt dies mehr oder weniger zur Erreichung des aktuellen 40-Prozent-Ziels, bedeutet jedoch eine Verfehlung des vereinbarten Pariser Klimaschutzziels, da die kumulierten Emissionen bis 2050 eine deutlich zu hohe Erwärmung verursachen. Im Klimaschuttszenario wird das für Europa zur Einhaltung des Zwei-Grad-Ziels vorgegebene

restliche CO<sub>2</sub>-Budget durch eine Reduktion um 60 Prozent bis zum Jahr 2030 eingehalten.

## Massive Investitionen in erneuerbare Energien nötig

In den nächsten Jahrzehnten ist eine Erhöhung der Stromnachfrage zu erwarten, da zusätzlicher Strombedarf aus der Sektorkopplung mit den Bereichen Verkehr und Wärme die Effizienzgewinne übertreffen wird (Abbildung 3). Die Kohleverstromung in Europa sinkt hierbei kontinuierlich; die Gasnutzung fällt ebenfalls stark ab. Bis 2040 wird dadurch fast die gesamte Stromerzeugung durch eine Kombination aus Photovoltaik, Onshore-Wind und Wasserkraft bestritten. Bis 2030 müssen hierfür in Europa 870 Gigawatt (GW)

Solarenergie und 600 GW Onshore-Windenergie zugebaut werden. Dies ist ein enormer Zubau im Vergleich zu den bereits vorhandenen 120 GW Solar- und 190 GW Onshore-Windkapazitäten innerhalb der Europäischen Union. Die durch die Erneuerbaren resultierende zeitliche Volatilität wird durch mehr als 230 GW an Speichern in 2030 ausgeglichen. Biomasse spielt im Stromsektor nur eine sehr geringe Rolle und wird – aufgrund nur bedingter Verfügbarkeit – insbesondere im Verkehrs- und Wärmesektor eingesetzt. Während Wasserkraft auf heutigem Niveau verbleibt, spielen Offshore-Wind und Geothermie aufgrund zu hoher Kosten eine im Vergleich nur geringe Rolle.

### Kein Bedarf für Atom und CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Sowohl die Diskussionen der 2030er Klimaschutzziele als auch der langfristigen Strategie bis 2050 stehen traditionell im Spannungsfeld zwischen europäischen Vorstellungen und den nationalen Entscheidungshoheiten hinsichtlich der eigenen Energieversorgung. So konnten einzelne Mitgliedsstaaten (zum Beispiel Frankreich und Großbritannien) in der Vergangenheit auf den Einsatz großer Mengen von Atomkraft zur Erreichung ihrer Klimaschutzziele verweisen, obwohl diese unter Einbeziehung aller Umwelt- und Gesundheitskosten für die Gesellschaft nachweislich teuer und gefährlich ist.<sup>8</sup> Andere Länder, wie zum Beispiel die Niederlande und Großbritannien, verteidigen die weitere Nutzung fossiler Rohstoffe durch die hypothetische Möglichkeit, eines Tages deren Verbrennung durch CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Transport und -Speicherung (englisch: Carbon Capture, Transport and Storage – CCTS) CO<sub>2</sub>-ärmer zu machen.<sup>9</sup> Auch die Mehrheit der vom Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) zitierten Modellrechnungen suggerieren, dass ein längeres Festhalten an fossilen Energieträgern durch die Vision einer späteren Anwendung von CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien wie negativen Emissionstechnologien (NET) ausgeglichen werden können.<sup>10</sup> Dies weckt unberechtigte Hoffnungen, fossile Infrastruktur heute noch am Leben zu erhalten (zum Beispiel Kohle- oder Erdgaskraftwerke) oder gar auszubauen (Erdgaspipelines und Flüssiggasterminals). Im Kontext steigender Klimaschutzanstrengungen führen diese fossilen Infrastrukturen aber lediglich zu Fehlinvestitionen und stehen im Widerspruch zu einer konsequenten Klimaschutzstrategie.<sup>11</sup>

Viel zitierte Schlagworte wie „Klimaneutralität“ bis 2050 oder auch „net zero emissions“ im Entwurf zur langfristigen EU-Strategie basieren auf der Fortführung der Annahme

<sup>8</sup> Vgl. Ben Wealer et al. (2019): Zu teuer und gefährlich: Atomkraft ist keine Option für eine klimafreundliche Energieversorgung. DIW Wochenbericht Nr. 30, 511–520 (online verfügbar) und Mycle Schneider et al. (2019): The World Nuclear Industry – Status Report 2019, Paris & Budapest (online verfügbar).

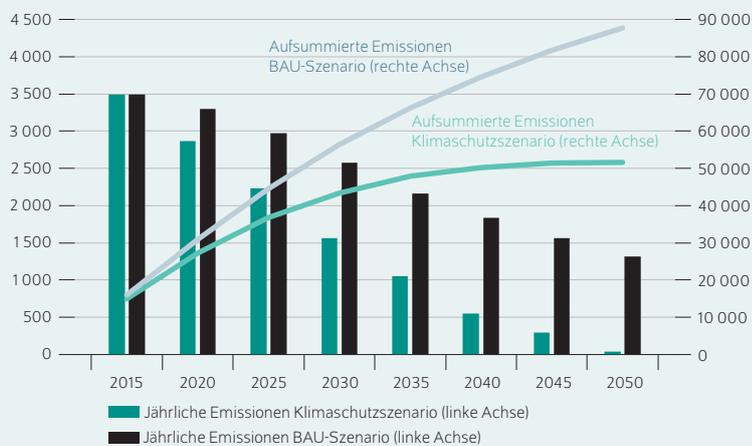
<sup>9</sup> Vgl. Pao-Yu Oei und Roman Mendelevitch (2016): European Scenarios of CO<sub>2</sub> Infrastructure Investment until 2050. The Energy Journal 37 (3), 171–194.

<sup>10</sup> Vgl. IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte et al. (Hrsg.): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Genf, 1–24 (online verfügbar).

<sup>11</sup> Vgl. Fitzgerald et al. (2019): Destabilisation of Sustainable Energy Transformations: Analysing Natural Gas Lock-in in the case of Germany. STEPS Working Papers 106 (online verfügbar).

Abbildung 2

### Jährliche und aufsummierte CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa In Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>



Quelle: Eigene Berechnungen mit GENeSYS-MOD v2.0.

© DIW Berlin 2019

Bei starken CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen von 60 Prozent bis 2030 ist das Zwei-Grad-Ziel noch zu schaffen.

von großen Anteilen an Atomkraft sowie CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologien.<sup>12</sup> Der Zubau dieser Technologien ist jedoch aus wirtschaftlicher Sicht nicht tragbar, aufgrund ihrer hohen externen Kosten nicht sinnvoll und mit Blick auf das ausreichend hohe Potential erneuerbarer Energien technisch nicht notwendig. Autorinnen und Autoren am DIW Berlin weisen seit fast einem Jahrzehnt regelmäßig auf dieses „Modellierungs-Paradox“ hin.<sup>13</sup> Die Modellrechnungen zeigen, dass die günstigste Möglichkeit der Einhaltung der Klimaschutzziele ohne neue Atomkraftwerke oder CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Stromsektor gelingen kann. Eine nachhaltige europäische Energie- und Klimaschutzpolitik sollte daher darauf abzielen, die Brutto-Emissionen (nicht: Netto-Emissionen) zu verringern und letztendlich abzuschaffen („gross zero emissions“). Ein solcher Energiemix sollte vollständig auf Kohle- und Atomstrom verzichten („no-carbon-no-nuclear“) und nicht nur eine Verringerung des Kohlestromanteils („low-carbon“) anstreben.

### Klimaschutz ist die günstigste Option

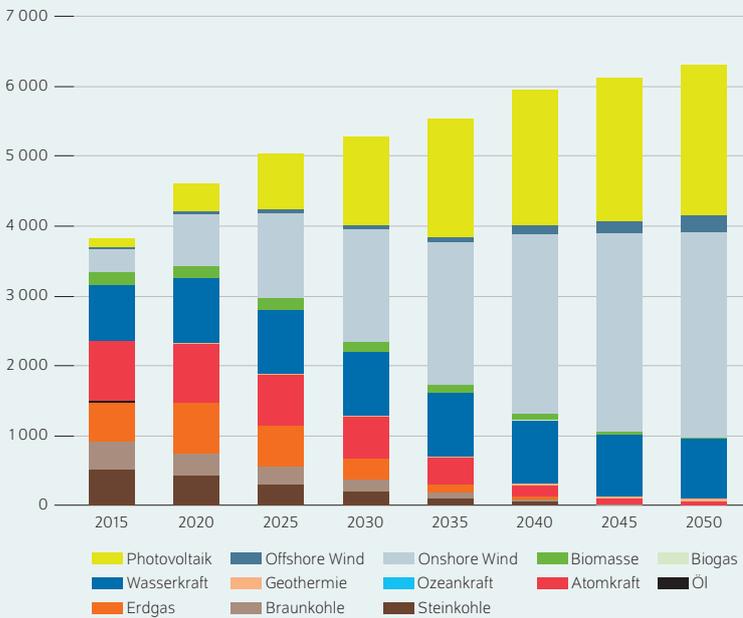
Durch die Einhaltung der Klimaschutzziele können die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 15,34 Gigatonnen (Gt) reduziert werden. Bis 2050 steigt diese Minderung auf 36,17 Gt CO<sub>2</sub>. Dies entspricht – unter Annahme der gleichen Diskontrate wie in der Modellierung – eingesparten

<sup>12</sup> Vgl. Europäische Kommission (2018): A Clean Planet for All – A European Long-Term Strategic Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral Economy. COM(2018) 773, Brüssel.

<sup>13</sup> Vgl. Christian von Hirschhausen et al. (2013): Europäische Stromerzeugung nach 2020: Beitrag erneuerbarer Energien nicht unterschätzen. DIW Wochenbericht Nr. 29, 3–13 (online verfügbar) sowie Claudia Kemfert et al. (2015): Europäische Klimaschutzziele sind auch ohne Atomkraft erreichbar. DIW Wochenbericht Nr. 45, 1063–1070 (online verfügbar).

Abbildung 3

**Stromerzeugungsmix im Klimaschutzscenario in Europa von 2015 bis 2050**  
Stromproduktion in Terawattstunden



Quelle: Eigene Berechnungen mit GENeSYS-MOD v2.0.

© DIW Berlin 2019

Die Dekarbonisierung im Stromsektor beruht auf einem drastischen Ausbau von Solarenergie und Windkraft.

Umwelt- und Klimakosten von 1381 Milliarden Euro bis 2030, da jede nicht emittierte Tonne CO<sub>2</sub> auf globaler Ebene Kosten von 180 Euro verursacht.<sup>14</sup> Die Erreichung dieser Klimaschutzziele geht einher mit zusätzlichen Systemkosten von 222 Milliarden Euro; dies entspricht ungefähr 3,3 Prozent der gesamten Energiesystemkosten und liegt deutlich unter den vermiedenen Umwelt- und Klimakosten. Zwar können die Systemkosten durch – nicht im Modell enthaltenen – Integrationskosten von Erneuerbaren noch zusätzlich ansteigen, andererseits fokussiert sich die Analyse ausschließlich auf Klimaauwirkungen durch CO<sub>2</sub>-Emissionen. Somit vernachlässigt sie zusätzliche Emissionen sowie Umwelt- und Gesundheitskosten anderer Schadstoffe (unter anderem Stickstoffoxide, Sulfatdioxid, Quecksilber und Feinstaub), die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Hierbei werden die globalen Umwelt-, Klima- und Gesundheitskosten berechnet, die durch die Emission von Kohlenstoffdioxid entstehen. Vgl. Umweltbundesamt (2019): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze Stand 02.2019. Dessau-Roßlau (online verfügbar).

<sup>15</sup> Weitere Studien, die Schadstoffkosten der Energieerzeugung berechnen, sind Sandbag et al. (2018): Last Gasp The coal companies making Europe sick. (online verfügbar) sowie CAN Europe et al. (2016): Europe's Dark Cloud. How coal-burning countries are making their neighbours sick. Brüssel (online verfügbar).

**Verteilung des Emissionsbudgets auf Mitgliedstaaten ist politisch sensibel**

Die Verschärfung der EU-Klimaschutzziele sowie die Einführung eines European Green Deal werfen verteilungspolitische Fragen hinsichtlich der Aufteilung der Emissionsminderungsziele auf einzelne Länder auf. So muss bei der Umsetzung einerseits die wirtschaftliche Entwicklung der Mitgliedsländer berücksichtigt werden, andererseits aber auch ein besonderes Augenmerk auf die vom energiewirtschaftlichen Strukturwandel betroffenen Regionen gelegt werden.

Das Modell ermöglicht die explizite Berücksichtigung von Verteilungseffekten, indem das verfügbare CO<sub>2</sub>-Budget nach unterschiedlichen Schlüsseln auf die Mitgliedsländer verteilt wird. Beispielsweise kann die Verteilung proportional zu den früheren Emissionen, der Bevölkerungszahl oder dem Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2015 erfolgen. Die beiden Erstgenannten führen im Modell zu etwa vergleichbaren Dekarbonisierungspfaden.

Die Bedeutung der Lastenteilung kann am Beispiel der Systemtransformation in Polen veranschaulicht werden. Energie aus Kohle spielt in der polnischen Energiewirtschaft sowohl 2015 als auch im Jahr 2030 eine entscheidende Rolle (Abbildung 4), während andere Regionen, wie beispielsweise die Iberische Halbinsel oder Skandinavien, bereits 2030 fast vollständig auf erneuerbare Energiequellen umgestiegen sein könnten. Bei einer Zuteilung entsprechend dem Bruttoinlandsprodukt erhielte Polen noch 1,4 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Budget bis zum Jahr 2050; dagegen betrüge das Budget bei Aufteilung nach historischen Emissionen 4,3 Milliarden, das heißt mehr als das Dreifache. Dementsprechend würde die Steigerung des Klimaschutzziels von 40 auf 60 Prozent für Polen besonders schwierig und müsste mit parallelen Instrumenten für Regionalentwicklung und Strukturwandel begleitet werden.

Insgesamt ist somit festzuhalten, dass die Ausgangscharakteristika der Mitgliedsstaaten bei der Festlegung anspruchsvoller Klimaschutzziele berücksichtigt werden müssen, um eine gerechte Systemtransformation zu gewährleisten. Jüngste Nachrichten – wie die Ankündigungen vom derzeit noch von der Kohle abhängigen Griechenland einen Kohlausstieg bis zum Jahr 2028 zu vollziehen – zeigen, dass die notwendige Energietransformation gelingen kann.<sup>16</sup>

**Weitere modellgestützte Analysen belegen Machbarkeit anspruchsvoller Klimaschutzziele**

Auch in weiteren modellgestützten Studien wurde die Realisierbarkeit anspruchsvoller Klimaschutzziele gezeigt. So wurden jüngst im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts SET-Nav unter Beteiligung des DIW Berlin verschiedene Modelle zu unterschiedlichen Sektoren (Strom,

<sup>16</sup> Vgl. Svetlana Jovanovic (2019): Greece seeks to phase out coal by 2028, Ptolemaida V prospects unclear. Balkan Green Energy News vom 25. September (online verfügbar).

Verkehr, Industrie, Gebäude, Erdgas, Erneuerbare und Gesamtwirtschaft) miteinander verknüpft.<sup>17</sup> Im Unterschied zum oben vorgestellten GENeSYS-MOD findet eine separate Modellierung der Sektoren mit ihren jeweiligen technologischen und ökonomischen Eigenschaften statt. So können die möglichen Beiträge der einzelnen Sektoren zur Emissionsminderung im Detail abgebildet und hinsichtlich ihrer Kosten und weiterer Rahmenbedingungen bewertet werden.

Ausgangspunkt für die Analysen ist der sogenannte Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan), den die Europäische Union vor mehr als zehn Jahren verabschiedet hat.<sup>18</sup> Der SET-Plan enthält Maßnahmen, um den Transformationsprozess in der EU durch Technologieinnovation, die Koordinierung nationaler Forschungsaktivitäten und die Finanzierung konkreter Projekte zu unterstützen. Er hat dabei eine Vielzahl von Technologien sowohl auf der Energieangebotsseite (zum Beispiel erneuerbare Stromerzeugung aus Wind und Sonne) als auch auf der Energienutzerseite (zum Beispiel Elektromobilität) im Blick.

Das SET-Nav-Forschungskonsortium, in dem das DIW Berlin teilnahm, hat die Machbarkeit und Bedingungen für die Umsetzung anspruchsvoller Klimaschutzziele im Rahmen von vier möglichen, hypothetischen Entwicklungsszenarien für das europäische Energiesystem bis 2050 betrachtet. Diese vier Szenarien wurden anhand der Dimensionen Kooperation (länder- und sektorübergreifend) und Pfadabhängigkeit (Innovationsgrad bei Technologien und Geschäftsmodellen) definiert. Dies ergibt die Szenarien „Diversification“, „Directed Vision“, „Localisation“, und „National Champions“.<sup>19</sup>

Alle vier Szenarien halten das EU-weite Emissionsminderungsziel von 85 bis 95 Prozent im Vergleich zu 1990 bis 2050 ein. Die Aufteilung der Emissionsminderung auf die Sektoren ist nicht von vornherein festgelegt und kann zwischen den Szenarien variieren. Es ergeben sich vier sehr unterschiedliche Pfade, welche die Möglichkeit bieten, die Systemtransformation unter einer großen Bandbreite von Treibern und Unsicherheiten zu skizzieren. Die Szenarien dienen zwei Zielen: Zum einen lassen sich durch sie die zentralen Treiber und wichtigsten Unsicherheiten in Bezug auf eine gelungene Transformation herausstellen (Modellannahmen); zum anderen lassen sich die Konsequenzen der jeweiligen Entscheidungen herausarbeiten (Modellergebnisse).

Zentrale Ergebnisse der SET-Nav-Szenarienmodellierung sind zum einen, dass erneuerbare Energien bis 2050 zwischen 75 und 98 Prozent der Stromerzeugung bereitstellen können. In geringem Umfang werden Gase genutzt. Auf umstrittene Technologien wie CCTS, Atomenergie

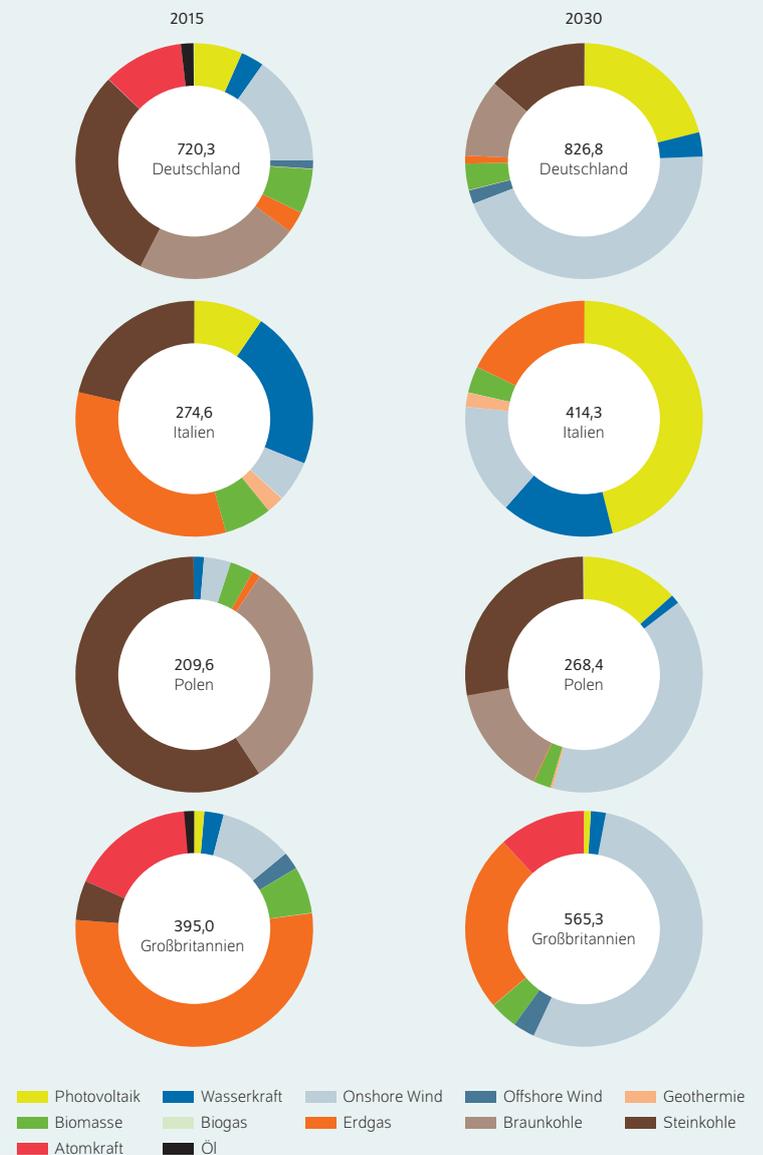
<sup>17</sup> Am SET-Nav-Projekt (2016-2019) waren neben dem DIW Berlin mehrere Forschungseinrichtungen aus Europa beteiligt, unter anderem die TU Wien, das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, die University of East Anglia, das International Institute for Applied Systems Analysis und die NTNU. Vgl. Informationen auf der Webseite des Projekts SET-Nav.

<sup>18</sup> Vgl. Informationen auf der Webseite der Europäischen Kommission.

<sup>19</sup> Vgl. Crespo del Granado et al. (2019): D9.5 Summary report "SET-Nav – Integrative policy recommendations". Decarbonising the EU's Energy System. April (online verfügbar).

Abbildung 4

**Unterschiedliche Verteilung der Stromproduktion innerhalb Europas in den Jahren 2015 und 2030**  
In Terawattstunden



Anmerkung: Für das Jahr 2015 sind keine statistischen Werte, sondern Modellergebnisse dargestellt. Diese weichen leicht von der tatsächlichen Stromproduktion ab.

Quelle: Eigene Berechnungen mit GENeSYS-MOD v2.0.

© DIW Berlin 2019

Je nach Region müssten Sonnen- und Windenergie bis 2030 besonders stark ausgebaut werden.

und Kohleverstromung kann für eine kosteneffiziente und effektive Dekarbonisierung der Stromerzeugung in Europa verzichtet werden. Analog zu den Ergebnissen des GENeSYS-MOD zeigt sich, dass eine deutlich stärkere Endnutzung von Strom anstatt fossiler Energieträger ein kostengünstiger Weg zur Dekarbonisierung Europas ist. Sowohl im Verkehrssektor (Abbildung 5) als auch in der Industrie bietet die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen

Abbildung 5

**Stromnachfrage aus dem Verkehrssektor in der EU28 in den vier SET-Nav-Szenarien**  
In Terawattstunden (elektrisch)



Quelle: Set-Nav.

© DIW Berlin 2019

In allen Szenarien erweist sich die weitgehende Elektrifizierung des Verkehrs als kostengünstige Lösung zur Erreichung der Klimaziele.

eine ökonomisch sinnvolle Möglichkeit zur klimafreundlichen Energienutzung.<sup>20</sup> Die Ergebnisse der Berechnungen von GENeSYS-MOD im Klimaschutzszenario ordnen sich zwischen den SET-Nav-Szenarien „Localization“ und „Directed Vision“ ein.

Zwar können in allen vier modellierten Szenarien die Emissionsminderungsziele erreicht werden, allerdings bieten kooperative Szenarien der länder- und sektorenübergreifenden Zusammenarbeit generell kostengünstigere und effizientere Lösungsmöglichkeiten zur effektiven Verringerung von Treibhausgasemissionen als nicht-kooperative Szenarien der Abschottung.

<sup>20</sup> Vgl. Crespo del Granado et al. (2019): Comparative Assessment and Analysis of SET-Nav Pathways. Deliverable 9.4, Mai (online verfügbar).

**Pao-Yu Oei** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | poei@diw.de

**Karlo Hainsch** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl WIP an der TU Berlin | kh@wip.tu-berlin.de

**Konstantin Löffler** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | kloeffler@diw.de

JEL: Q54, Q53, Q48, L94

Keywords: Europe, energy, climate policy, technologies

**Fazit: 60 Prozent Emissionsminderung sind notwendig und möglich**

Im Rahmen der Entwicklung vergleichbarer Energie- und Klimaschutzszenarien am DIW Berlin und in der Nachwuchsgruppe „CoalExit“ wurde gezeigt, dass auch anspruchsvolle Klimaschutzziele in Europa wie auch in Deutschland durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien erreicht werden können. Energiesystemrechnungen zeigen, dass die Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele durch eine Steigerung des Anspruchsniveaus für 2030 von derzeit 40 auf 60 Prozent weniger Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 machbar und ökonomisch sinnvoll ist. Die eingesparten Umweltkosten übersteigen die zusätzlichen technischen Systemkosten.

Um die angestrebten Klimaschutzziele einzuhalten, ist ein massiver Ausbau von Wind- und Solarenergie notwendig. Auf Atomkraftwerke und Technologien der CO<sub>2</sub>-Abscheidung zur Stromerzeugung kann verzichtet werden. Aufgrund der Dringlichkeit der Klimakrise und des somit benötigten Systemwechsels verbleibt keine Zeit für sogenannte „Brückenergieträger“, weshalb die Ziele des Pariser Abkommens in Europa nur durch den beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien erreicht werden können.

Bei der Gestaltung der neuen europäischen Klimastrategie entlang eines europäischen Green Deal müssen anstehende Verteilungsfragen und lokale Besonderheiten von Nationalstaaten ausreichend mitberücksichtigt werden. So brauchen insbesondere einige osteuropäische Mitgliedsländer Unterstützung, um die Energietransformation hin zu Solar- und Windenergie noch stärker zu beschleunigen. Vor dem Hintergrund des Pariser Klimaschutzabkommens sollte die deutsche Bundesregierung hierbei mit gutem Beispiel vorangehen und ihre nationalen Energie- und Klimaschutzstrategien („national energy and climate plans“, NECPs) anpassen und dabei auch die Empfehlungen der Kohlekommission und die Beschlüsse des Klimakabinetts verschärfen.

**Christian von Hirschhausen** ist Forschungsdirektor Internationale Infrastrukturpolitik und Industrieökonomie am DIW Berlin | chirschhausen@diw.de

**Franziska Holz** ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | fholz@diw.de

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | ckemfert@diw.de

This report is also available in an English version as DIW Weekly Report 40+41/2019:

www.diw.de/diw\_weekly



## 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: -200

86. Jahrgang 9. Oktober 2019

### Herausgeberinnen und Herausgeber

Prof. Dr. Pio Baake; 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;  
Dr. Claus Michelsen; Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Jürgen Schupp;  
Prof. Dr. C. Katharina Spieß; Dr. Katharina Wrohlich

### Chefredaktion

Dr. Gritje Hartmann; Dr. Wolf-Peter Schill

### Lektorat

Dr. Ina May

### Redaktion

Dr. Franziska Bremus; Rebecca Buhner; Claudia Cohnen-Beck;  
Dr. Anna Hammerschmid; Sebastian Kollmann; Bastian Tittor;  
Dr. Alexander Zerrahn

### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg

[leserservice@diw.de](mailto:leserservice@diw.de)

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

### Gestaltung

Roman Wilhelm, 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](mailto:kundenservice@diw.de)).

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