

Klimawandel und Klimapolitik: Analysebedarf und -optionen aus Notenbanksicht

Seit Beginn der Industrialisierung hat die globale Durchschnittstemperatur deutlich zugenommen. Dieser Temperaturanstieg ist wesentlich auf menschliches Handeln zurückzuführen. Die mit dem Klimawandel verbundenen Auswirkungen für Mensch und Umwelt sind bereits jetzt spürbar, und es drohen langfristig erhebliche Schäden. Es gibt deshalb einen breiten Konsens, dass dem Klimawandel mit geeigneten Maßnahmen entgegengetreten werden muss. Entsprechende Initiativen sind auf dem Weg. Klimawandel als auch Klimapolitik werden weitreichende Auswirkungen auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung haben. Deshalb müssen sich Notenbanken mit diesem Thema beschäftigen.

Neben den gesamtwirtschaftlichen Folgen von Extremwetterereignissen und des allmählichen Temperaturanstiegs dürften in näherer Zukunft insbesondere die Auswirkungen der Klimapolitik in den Fokus rücken. Maßnahmen wie die erhebliche Verteuerung des Ausstoßes von Treibhausgasen sollen weitgehende wirtschaftliche Anpassungsprozesse in Gang bringen. Deshalb wird nicht nur der Klimawandel selbst, sondern auch die Klimapolitik verschiedene Branchen unterschiedlich stark treffen. Auch werden bestimmte Regionen vermutlich stärker erfasst werden als andere. Diese Divergenzen können die gesamtwirtschaftliche Dynamik und die geldpolitische Transmission beeinflussen. Klimawandel und Klimapolitik können zudem zu Risikokonzentrationen führen, die zum Aufbau systemischer Risiken im Finanzsystem beitragen und so möglicherweise die Finanzstabilität gefährden. Eine erste Analyse klimapolitischer Risiken für das deutsche Finanzsystem hat die Bundesbank im Rahmen des Finanzstabilitätsberichts 2021 vorgestellt. Zudem haben Klimawandel und Klimapolitik eine wichtige internationale Dimension. Es bedarf der Anstrengungen aller Länder, um den Klimawandel einzudämmen. International nicht hinreichend abgestimmte Maßnahmen können zu Verwerfungen führen. All dies stellt die gesamtwirtschaftliche Analyse, die für die geldpolitische und makroprudenzielle Entscheidungsfindung von zentraler Bedeutung ist, vor zusätzliche Herausforderungen. Die Bundesbank passt deshalb ihr analytisches Instrumentarium mit dem Ziel an, klimabedingte und klimapolitische Anpassungsprozesse mit ihren sektoralen und regionalen Dimensionen im internationalen Zusammenhang angemessen untersuchen zu können.

Relevanz von Klimawandel und Klimapolitik für Notenbanken

Globale Erwärmung als Folge menschengemachter Treibhausgasemissionen

Seit Beginn der Industrialisierung ist die globale Durchschnittstemperatur deutlich angestiegen. Es gilt als erwiesen, dass diese Erwärmung wesentlich auf die von Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen zurückzuführen ist.¹⁾ Zudem gibt es starke Evidenz dafür, dass der Temperaturanstieg weitere klimatische Veränderungen nach sich zieht.²⁾

Auswirkungen des Klimawandels spürbar

Ein Teil der vom globalen Klimawandel ausgelösten Effekte ist bereits spürbar. Dies gilt etwa für das häufigere Auftreten und die größere Intensität von Extremwetterlagen wie Hitzewellen, Trockenperioden und Starkregenfällen.³⁾ Zu erwarten ist, dass sich diese Auswirkungen mit fortschreitender Erwärmung verstärken werden. Deshalb zählt der Klimaschutz gegenwärtig zu den größten gesellschaftlichen Aufgaben, und es ist Aufgabe von Regierungen

und Parlamenten, mittels Klimapolitik dafür die Weichen zu stellen.

Besondere politische Herausforderungen ergeben sich aus der globalen Dimension des Klimawandels und der Klimapolitik. Die Bekämpfung des Klimawandels verlangt weltweite Anstrengungen. Neben nationalen Initiativen kommt daher internationalen Vereinbarungen wie dem Pariser Klimaschutzabkommen eine zentrale Bedeutung zu. Zudem ergibt sich angesichts des Risikos irreversibler Klimafolgen eine erhöhte Dringlichkeit zu handeln.⁴⁾

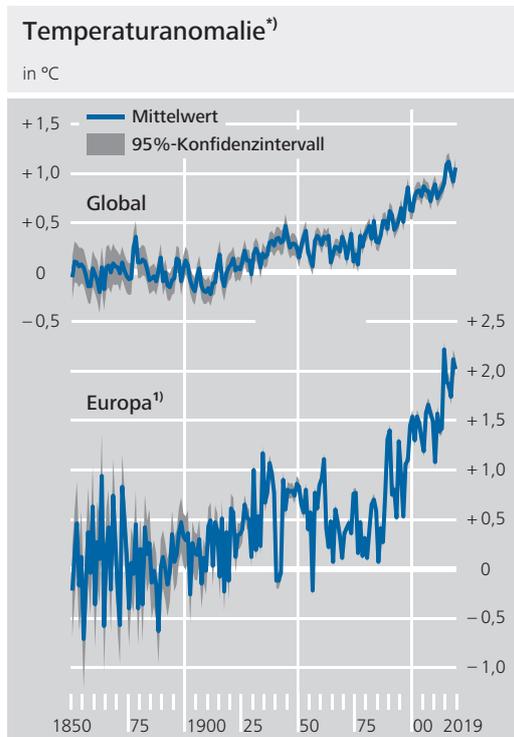
Globale Dimension des Klimaproblems

Auch Notenbanken müssen sich mit Klimawandel und Klimapolitik auseinandersetzen. Klimawandel und Klimapolitik beeinflussen die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und können die Preis- und Finanzstabilität tangieren. Die Erfüllung der Notenbankaufgaben kann sich dadurch erschweren.⁵⁾

Auch Zentralbanken müssen sich mit Klimawandel und Klimapolitik befassen

Beispielsweise können physische Risiken wie der Anstieg der Durchschnittstemperaturen oder die Häufung von Extremwetterereignissen das gesamtwirtschaftliche Potenzialwachstum nachhaltig schwächen. Da der gleichgewichtige Realzins auch von der Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Produktionsmöglichkeiten abhängt, würde dies den Handlungsspielraum konventioneller geldpolitischer Maßnahmen verengen. Ein niedrigerer gleichgewichtiger Realzins erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Geldpolitik an die Nullzinsgrenze stößt.⁶⁾ Die Folgen des Klimawandels können zudem das Finanzsystem belasten und auf diese Weise die geldpolitische Transmission erschweren, wenn beispielsweise Extremwetterereignisse mit größeren finanziellen Schäden einhergehen.

Physische Risiken ...



Quellen: European Environment Agency, Met Office Hadley Centre and Climatic Research Unit. * Abweichung der jährlichen Durchschnittstemperatur der Luft in Bodennähe vom Mittel der Jahre 1850 bis 1899. ¹ Hier definiert als die Landfläche zwischen 34° bis 72° nördlicher Breite und -25° bis 45° östlicher Länge.

Deutsche Bundesbank

1 Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).
 2 Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2018).
 3 Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).
 4 So steigt die Wahrscheinlichkeit irreversibler Klimafolgen mit der durchschnittlichen Erderwärmung. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).
 5 Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021a).
 6 Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2017a).

... und transitorische Risiken ...

Hinzu kommen transitorische Risiken beim Übergang zu einer emissionsarmen Wirtschaft. Maßnahmen wie die erhebliche Verteuerung des Ausstoßes von Treibhausgasen sollen weitgehende wirtschaftliche Anpassungsprozesse in Gang bringen. Auch dies kann die Gewährleistung von Preis- und Finanzstabilität erschweren, wenn es beispielsweise im Zuge eines tiefgreifenden Strukturwandels zur umfassenden Neubewertung von Vermögenswerten kommt.⁷⁾ Risiken können sich zudem aus der durch die Transition angestoßenen Veränderung des Konsumentenverhaltens oder durch von der Klimapolitik angestoßenen technologischen Fortschritt ergeben.

... beeinflussen sich wechselseitig

Physische und transitorische Risiken sind als dynamische Prozesse anzusehen, die sich wechselseitig beeinflussen. Eine vorausschauende, berechenbare Klimapolitik kann diese Risiken tendenziell reduzieren, während bei klimapolitischer Inaktivität die physischen Risiken steigen, mit der Gefahr späterer abrupter klimapolitischer Anpassungen und sich daraus ergebender transitorischer Risiken.

Neue Herausforderungen für die geldpolitische Analyse

Klimawandel und Klimapolitik stellen damit auch die geldpolitische Analyse vor neue Herausforderungen. Erwartungen oder die Ungewissheit über Eintritt und Ausmaß von Klimaschäden sowie den künftigen klimapolitischen Kurs können das Wirtschaftshandeln beeinflussen.⁸⁾ Klimarisiken können zudem die Identifikation konjunktureller Triebkräfte und die Erstellung gesamtwirtschaftlicher Projektionen erschweren.⁹⁾

Hierzu zählen neben der globalen Dimension ...

Die globale Dimension von Klimawandel und Klimapolitik macht die gesamtwirtschaftliche Analyse besonders herausfordernd. Sowohl die Ursachen als auch die Folgen des Klimawandels lassen sich nur unzureichend durch die isolierte Betrachtung einzelner Länder begreifen.¹⁰⁾ Auch wirken klimapolitische Maßnahmen über Ländergrenzen hinweg.

Daneben ist die internationale Verteilung physischer und transitorischer Risiken wegen der

möglichen Folgewirkungen von geldpolitischem Interesse, insbesondere für eine Währungsunion wie den Euroraum. Ähnliches gilt für die Ballung von Klimarisiken in bestimmten Sektoren. Infolge von Klimawandel und Klimapolitik können sich Risikokonzentrationen ergeben, die zum Aufbau systemischer Risiken im Finanzsystem beitragen und möglicherweise die Finanzstabilität gefährden.¹¹⁾

Anpassung des Analyseinstrumentariums

Um den Herausforderungen zu begegnen, ist es notwendig, das geldpolitische Analyseinstrumentarium zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Dies gilt auch für die gesamtwirtschaftliche Analyse, der bei der geldpolitischen Entscheidungsfindung eine zentrale Bedeutung zukommt. Entsprechend wurde im Rahmen der jüngsten geldpolitischen Strategieüberprüfung des Eurosystems beschlossen, die Analysekapazitäten im Bereich der makroökonomischen Modellierung im Hinblick auf Klimawandel und Klimapolitik auszubauen.¹²⁾

Hierzu zählt unter anderem die Einbindung makroökonomischer Klimamodelle, der sogenannten Integrated Assessment Models (IAM). Charakteristisch für diese Modellklasse ist die Verbindung von Modellelementen aus den Wirtschaftswissenschaften und der Klimaforschung. So soll die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Klima und wirtschaftlicher Aktivität in vergleichsweise einfacher Art erfasst werden.¹³⁾ In den IAM wird üblicherweise unterstellt, dass es im Zuge der wirtschaftlichen Leistungserstellung zum Ausstoß von Treibhausgasen kommt. Dies führt in der Folge zu einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur, was wiederum Auswirkungen auf die Wirtschaftstätigkeit

... auch regionale und sektorale Unterschiede in der Bedeutung von Klimarisiken

Überprüfung des geldpolitischen Analyseinstrumentariums

Makroökonomische Klimamodelle: Modellierung der Wechselwirkungen von Klima und wirtschaftlicher Aktivität ...

7 Vgl. u. a.: Deutsche Bundesbank (2021b).

8 Vgl. u. a.: Deutsche Bundesbank (2018).

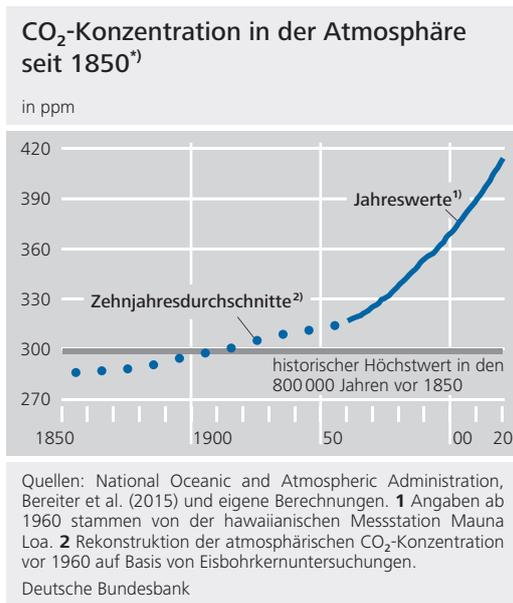
9 Vgl.: Drudi et al. (2021).

10 Vgl. hierzu auch: Hsiang und Kopp (2018).

11 Vgl.: Deutsche Bundesbank (2021b).

12 Vgl.: Europäische Zentralbank (2021).

13 Vgl. u. a.: Nordhaus (2013) sowie Hassler et al. (2016).



hat. Dies kann beispielsweise durch einen funktionalen Zusammenhang zwischen globaler Durchschnittstemperatur und Produktion abgebildet werden, der sogenannten Schadensfunktion.

... sowie der Klimapolitik

Auf der Grundlage solcher Modelle können, unter Abwägung der Kosten und des Nutzens, optimale Emissionspfade bestimmt und damit konsistente klimapolitische Maßnahmen abgeleitet werden.¹⁴⁾ Alternativ kann direkt ein klimapolitisches Ziel vorgegeben werden, etwa in Form einer globalen Durchschnittstemperatur oder einer Beschränkung von Treibhausgasemissionen. Unter dieser Nebenbedingung treffen die Modellakteure dann ihre Entscheidungen.

Einsatz und Anpassung des gängigen Analyseinstrumentariums

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte von Klimawandel und Klimapolitik können jedoch auch mit Modellansätzen untersucht werden, die der makroökonomischen Analyse, wie sie traditionell in Notenbanken praktiziert wird, näherstehen. Beispielsweise können etablierte ökonomische Verfahren verwendet werden, um die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels abzuschätzen.¹⁵⁾ Zudem können strukturelle makroökonomische Modelle, wie dynamische stochastische allgemeine Gleichgewichtsmodelle (DSGE-Modelle),¹⁶⁾ derart modifiziert werden, dass mit ihnen die Folgen von

Wetterextremen sowie die Effekte der Klimapolitik untersucht werden können.¹⁷⁾ Solche Modelle erlauben es, gesamtwirtschaftliche Anpassungsprozesse detaillierter zu untersuchen, als dies mit den makroökonomischen Klimamodellen möglich ist. In der Bundesbank wurde das Mehrsektoren-Umwelt-DSGE-Modell EMuSe entwickelt, mit dem insbesondere klimapolitische Anpassungsprozesse auch im internationalen Zusammenhang analysiert werden können und das flexibel an den jeweiligen Untersuchungszweck angepasst werden kann (siehe hierzu die Ausführungen auf S. 51 ff.).¹⁸⁾

Gesamtwirtschaftliche Effekte des Klimawandels

Seit rund 200 Jahren nimmt die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre stetig zu.¹⁹⁾ Diese Entwicklung, die zu einem wesentlichen Teil auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurückzuführen ist, verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt. In der Erdatmosphäre verändert sich das Gleichgewicht zwischen ein- und ausgehender Wärmestrahlung dahingehend, dass mehr Wärmestrahlung verbleibt.²⁰⁾ Klimaprojektionen zeigen, dass sich diese Entwicklung ohne klimapolitisches Eingreifen fortsetzen wird.²¹⁾ Es besteht aber nach

Verstärkung des Treibhauseffekts durch Verbrennung fossiler Brennstoffe

14 Vgl. u. a.: Weitzmann (2012) sowie Nordhaus (2013).
15 Vgl. u. a.: Dell et al. (2014), Burke et al. (2015) sowie Gallic und Vermandel (2020).
16 Charakteristisch für diese Modellklasse ist der Ansatz, gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge und makroökonomische Entwicklungen auf Grundlage individuell optimierender, (typischerweise) rational handelnder Wirtschaftsakteure zu erklären. Eine detaillierte Darstellung dieses Modellrahmens findet sich u. a. in: Christiano et al. (2018).
17 Vgl. u. a.: Gallic und Vermandel (2020) sowie Heutel (2012) und Golosov et al. (2014).
18 Eine detaillierte Beschreibung des Mehrsektoren-Umwelt-DSGE-Modells EMuSe (Environmental Multi-Sector) findet sich in: Hinterlang et al. (2021).
19 So hat sich etwa die CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre um fast das Eineinhalbfache gegenüber dem vorindustriellen Niveau erhöht. Die atmosphärische Konzentration von Methan nahm im gleichen Zeitraum sogar um mehr als das Zweieinhalbfache zu. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).
20 Vgl.: North (2015).
21 Vgl. u. a.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021) und Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021a).

wie vor Unsicherheit darüber, wie stark sich die erhöhte Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf die globale Durchschnittstemperatur auswirken wird.²²⁾ Besonders unsicher ist die zu erwartende regionale Verteilung der Temperaturveränderungen. Neben steigenden globalen Temperaturen geht der Klimawandel mit weiteren, regional teilweise recht unterschiedlichen Auswirkungen einher. Hierzu zählen etwa steigende Meeresspiegel, veränderte Niederschlagsmuster und teils häufigere sowie extremere Wetterereignisse.²³⁾

Klimawandel als Auslöser von Anpassungsprozessen

Bereits heute ist klar, dass der Klimawandel zu irreversiblen Veränderungen führt.²⁴⁾ Dies hat neben den direkten Auswirkungen zusätzliche Anpassungsprozesse zur Folge. Sowohl die direkten Folgen als auch die dadurch ausgelösten Anpassungsprozesse wirken sich auf die Gesamtwirtschaft aus.

Allmählicher Temperaturanstieg

Auswirkungen gradueller Erwärmung auf Arbeitseinsatz, Produktivität ...

Die graduelle Zunahme der Durchschnittstemperatur beeinflusst die Wirtschaftstätigkeit auf vielfältige Art, wobei die Auswirkungen von der jeweiligen Ausgangslage abhängen. Die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit leidet unter hohen Temperaturen.²⁵⁾ Dies führt dazu, dass bei Überschreiten bestimmter Temperaturschwellen neben der Produktivität auch der Arbeitseinsatz sinkt.²⁶⁾ Folgen für die Beschäftigung können sich zudem aus klimabedingten Migrationsbewegungen ergeben.²⁷⁾ Bei niedrigen Ausgangstemperaturen kann sich ein Temperaturanstieg allerdings positiv auf Arbeitseinsatz und Produktivität auswirken.²⁸⁾

... sowie natürliches ...

Der Anstieg der Durchschnittstemperaturen wirkt sich auch auf den Produktionsfaktor Kapital aus. Dabei ist zwischen den verschiedenen Kapitalarten zu unterscheiden. Nachhaltige Auswirkungen sind zum einen für das natürliche Kapital zu erwarten. Beispielsweise kann zunehmende Wasserknappheit die Produktion in bestimmten Regionen beeinträchtigen.²⁹⁾

Einige Länder dürften hingegen vorübergehend von einem Temperaturanstieg profitieren, da sich die Produktionsbedingungen für bestimmte Güter – etwa in der Landwirtschaft – verbessern.³⁰⁾

Zum anderen kann die graduelle Erwärmung Folgen für den physischen Kapitalstock haben. So ist denkbar, dass Infrastruktur und Produktionsanlagen infolge erhöhter Temperaturen Schaden nehmen oder schneller altern.³¹⁾ Indirekte Effekte ergeben sich durch notwendige Anpassungen des Kapitalstocks an die sich wandelnden Umweltbedingungen oder durch ein verändertes Investitionsverhalten.³²⁾ Dies ist dann von Nachteil, wenn produktivere Investitionsalternativen klimabedingt nicht realisiert werden und auf die damit verbundenen Effizienzgewinne verzichtet werden muss.³³⁾ Eine durch den Klimawandel ausgelöste Verschlechterung der Investorenstimmung – etwa infolge gestiegener Unsicherheit oder pessimistischerer Zukunftserwartungen – kann unter Umständen sogar die allgemeine Investitionsneigung dämpfen, mit weitreichenden Folgen für Wachstum und Wohlstand.³⁴⁾

... und physisches Kapital

22 Diese Unsicherheit spiegelt sich in der auf Basis verschiedener klimawissenschaftlicher Methoden ermittelten Spanne zu erwartender Temperaturanstiege als Folge der zunehmenden Treibhausgaskonzentration wider. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).

23 Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2014).

24 Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2021).

25 Temperaturbedingte Produktivitätsrückgänge zeigen sich in Panelanalysen (vgl. Hsiang (2010) für Zentral- und Südamerika, Colacito et al. (2018) sowie Deryugina und Hsiang (2014) für die USA) und in experimentellen Studien (vgl.: Seppänen et al. (2005)). Zu den gesundheitlichen Folgen ansteigender Temperaturen siehe u. a.: Vicedo-Cabrera et al. (2021).

26 Vgl. Graff Zivin und Neidell (2014) sowie Hsiang et al. (2017) für die USA, Hsiang (2010) für Süd- und Mittelamerika, Somanathan et al. (2021) für Indien sowie Burke et al. (2015) für ein globales Panel.

27 Vgl. hierzu u. a.: Black et al. (2011), Oppenheimer (2013) sowie Missirian und Schlenker (2017).

28 Vgl. hierzu auch: Tol (2018).

29 Vgl. u. a.: Weltbank (2016) sowie Dolan et al. (2021).

30 Vgl. u. a.: Burke et al. (2015) sowie Tol (2018).

31 Vgl. u. a.: Dietz und Stern (2015).

32 Vgl. u. a.: Fankhauser et al. (1999), Batten (2018) sowie Andersson et al. (2020).

33 Vgl. u. a.: Stern (2013) sowie Moyer et al. (2014).

34 Rückläufige Investitionen in Forschung und Entwicklung können auch den technologischen Fortschritt bremsen. Vgl. u. a.: Dietz und Stern (2015) sowie Letta und Tol (2019).

Wirkung allmählicher Erwärmung auf Nachfrage

Wirtschaftliche Effekte eines Temperaturanstiegs können sich auch aus strukturellen Veränderungen der Nachfrage ergeben. So ist denkbar, dass sich Präferenzen von Wirtschaftsakteuren aufgrund verbesserter Informationen über die langfristigen Klimafolgen von Konsum- und Investitionsentscheidungen verändern.³⁵⁾

Wirkungsrichtung und -intensität des graduellen Temperaturanstiegs von verschiedenen Faktoren abhängig

Die geschilderten Auswirkungen können erheblich über Regionen, Wirtschaftssektoren und Betrachtungszeiträume variieren. So zeigen sich nachteilige Auswirkungen von Temperaturanstiegen besonders deutlich in bereits heißen Gebieten.³⁶⁾ Bei Erreichen bestimmter Schwellenwerte oder sogenannter klimatischer Kippunkte³⁷⁾ kann es zu mitunter verheerenden Effekten auf die Gesamtwirtschaft kommen.³⁸⁾ Aus sektoraler Sicht findet sich insbesondere im Bereich der Landwirtschaft starke Evidenz für nachteilige Auswirkungen.³⁹⁾ Allerdings gibt es auch für das Verarbeitende Gewerbe und bestimmte Dienstleistungsbereiche Hinweise auf Produktionseinbußen.⁴⁰⁾ Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die sektorale oder lokale gesamtwirtschaftliche Wirkung aufgrund der wirtschaftlichen und finanziellen Verflechtungen auch mit Ausstrahleffekten verbunden ist.

Empirische Befunde zeigen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Temperatur und Wirtschaftswachstum

Die makroökonomische Bedeutung von Temperaturveränderungen hängt entscheidend davon ab, ob deren Effekte dauerhaft sind.⁴¹⁾ Eine Reihe empirischer Studien liefert Belege dafür, dass Veränderungen der Durchschnittstemperatur das gesamtwirtschaftliche Wachstum beeinflussen, wobei es Hinweise auf nichtlineare Zusammenhänge gibt.⁴²⁾ Eine eigene Schätzung für ein Panel europäischer Länder kommt zu einem ähnlichen Ergebnis (siehe hierzu im Einzelnen die Ausführungen auf S. 39 ff.). Der Untersuchung zufolge dämpft ein Anstieg der jährlichen Durchschnittstemperatur bei Überschreiten eines Schwellenwerts das Wirtschaftswachstum. Der geschätzte Schwellenwert für die jährliche Durchschnittstemperatur liegt leicht über 9°C.

In Europa regional sehr unterschiedliche Auswirkungen

Der Schätzung zufolge fielen die Auswirkungen der allmählichen Erwärmung der letzten Jahrzehnte in Europa sehr unterschiedlich aus. Wäh-

rend die wirtschaftliche Entwicklung in einigen nordeuropäischen Ländern wegen der niedrigeren Ausgangstemperaturen bisher begünstigt worden zu sein scheint, war für eine Reihe von Ländern im Süden Europas das Gegenteil der Fall. Aus der Schätzung folgt auch, dass das Fortschreiten des Temperaturanstiegs langfristig die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Europa beeinträchtigen würde, wobei sich mitunter erhebliche Wachstumsdifferenzen, auch zwischen den Euro-Ländern, ergäben.⁴³⁾ Im Vergleich zu anderen Weltregionen fiel der Wachstumsverlust in Europa allerdings eher gering aus (siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 43 f.).⁴⁴⁾

Schätzungen dieser Art sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Zum einen gibt es eine grundsätzliche Schätz- und Spezifikationsunsicherheit. Beispielsweise werden bei dem hier gewählten Ansatz internationale Interdependenzen nur unzureichend berücksichtigt, die aber bedeutend sein können. Zum anderen ist zu beachten, dass die Schätzung historische Zusammenhänge widerspiegelt. Aus diesen lassen

Schätzungen klimabedingter Wachstumsverluste mit erheblichen Unsicherheiten behaftet

³⁵ Vgl. u. a.: Moran et al. (2020) sowie Reisch et al. (2021).

³⁶ Vgl.: Dell et al. (2012) sowie Burke et al. (2015).

³⁷ Kippunkte beziehen sich auf kritische Schwellenwerte in einem System, die bei Überschreitung zu einer erheblichen – unter Umständen irreversiblen – Änderung des Systemzustands führen können. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2018).

³⁸ Vgl.: Burke et al. (2015), Intergovernmental Panel on Climate Change (2018) sowie die Ausführungen auf S. 39 ff.

³⁹ Vgl. für die USA u. a.: Deschênes und Greenstone (2007), Schlenker und Roberts (2009), Fisher et al. (2012), Graff Zivin und Neidell (2014), Burke und Emerick (2016), Colacito et al. (2018) und Acevedo et al. (2020); sowie Lesk et al. (2016) und Burke et al. (2015) für ein globales Länderpanel.

⁴⁰ Produktionseinbußen in bestimmten Dienstleistungssektoren finden Hsiang (2010) für mittel- und südamerikanische Länder sowie Colacito et al. (2018) für die USA. Einflüsse auf die Produktion im Verarbeitenden Gewerbe oder der Industrie zeigen Acevedo et al. (2020) für die USA, Deschênes et al. (2018) für Unternehmen in China sowie Dell et al. (2012) in einem globalen Panel. Burke et al. (2015) dokumentieren nichtlineare Effekte für den Agrar- und Nicht-Agrarsektor.

⁴¹ Vgl.: Fankhauser und Tol (2005), Stern (2013), Tol (2018) sowie Piontek et al. (2019).

⁴² Vgl. u. a.: Dell et al. (2012), Dell et al. (2014) sowie Burke et al. (2015).

⁴³ So fallen etwa die projizierten kumulierten Schäden für Spanien und Portugal jeweils um ein Vielfaches höher aus als für Deutschland.

⁴⁴ Burke et al. (2015) leiten aus einer Schätzung mit globalen Daten sogar positive gesamtwirtschaftliche Effekte eines fortschreitenden Temperaturanstiegs für Europa ab.

Zum Einfluss von Temperaturveränderungen auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Europa

In den letzten Jahrzehnten sind die Durchschnittstemperaturen in Europa spürbar angestiegen. Eine solche Erwärmung kann sich auf verschiedene Weise auf die Wirtschaftsleistung auswirken. Internationale Studien zeigen, dass bei hohen Temperaturen Arbeitszeiten eingeschränkt werden und die Arbeitsproduktivität nachlässt.¹⁾ Für Europa gibt es bisher kaum Untersuchungen solcher Art.²⁾

Panelregressionen stellen eine Möglichkeit dar, den Einfluss von Temperaturveränderungen auf das Wirtschaftswachstum zu untersuchen. Dabei wird die Wachstumsrate des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in einem Jahr t in einem Land i ($\Delta y_{i,t}$) auf die entsprechende Jahresdurchschnittstemperatur ($T_{i,t}$) regressiert.³⁾ Angelehnt an einschlägige Studien wird unterstellt, dass die Temperaturveränderungen nicht selbst vom Wirtschaftswachstum beeinflusst werden.⁴⁾ Das Modell bezieht zudem die

jahresdurchschnittliche Niederschlagsmenge ($R_{i,t}$) und verzögerte Werte der BIP-Wachstumsrate ($\Delta y_{i,t-1}$), länderspezifische (a_i) und

1 Vgl. u. a.: Hsiang (2010), Dell et al. (2014), Graff Zivin und Neidell (2014), Deryugina und Hsiang (2014), Burke et al. (2015) sowie Colacito et al. (2018).

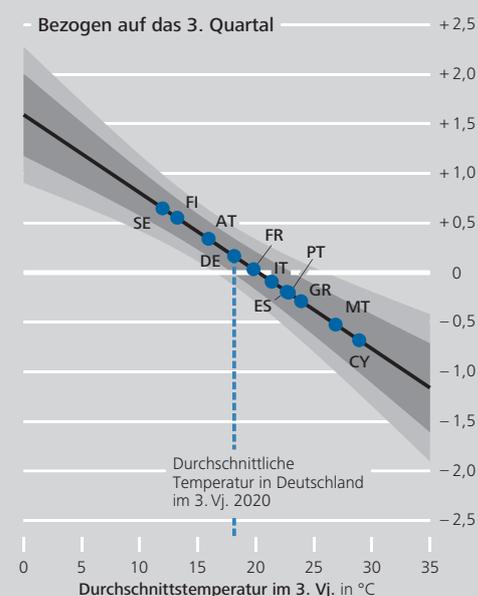
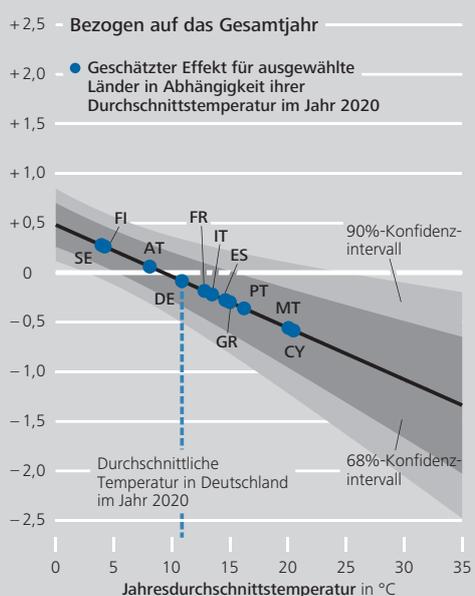
2 Eine Ausnahme sind Holtermann und Rische (2020), welche den Zusammenhang zwischen regionalem Wachstum und Temperaturen in EU-15 NUTS-Regionen untersuchen.

3 Das Modell orientiert sich an früheren Studien zum globalen Einfluss von Temperaturerhöhungen, vgl.: Burke et al. (2015) sowie Dell et al. (2012).

4 Vgl.: Auffhammer et al. (2013).

Veränderung des BIP-Wachstums bei Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 1 °C für ausgewählte Ausgangstemperaturen¹⁾

%-Punkte



Quellen: Weltbank, CRU TS Klimadatenbank und eigene Berechnungen. * Die Effekte wurden mithilfe eines Panelansatzes unter Verwendung historischer Daten von 1961 bis 2020 geschätzt. Der für die Schätzung verwendete Datensatz umfasst die Mitgliedsländer der Europäischen Union, Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Montenegro, Norwegen, die Schweiz, Serbien sowie das Vereinigte Königreich.

Geschätzter Einfluss der Temperaturerhöhung zwischen 1960 und 2020 auf das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts

Länder	Durchschnittliche Temperatur in 1960 (in °C)	Durchschnittliche Temperatur in 2020 (in °C)	Anstieg (in °C) ¹⁾	Durchschnittlicher Anstieg pro Jahr (in °C)	Geschätzter, kumulierter Effekt auf das BIP-Wachstum (in Prozentpunkten) ²⁾	68 %-Konfidenzintervall	
Malta	18,95	20,04	1,09	0,02	-0,89	-1,55	-0,24
Zypern	19,60	20,48	0,88	0,01	-0,72	-1,23	-0,21
Portugal	14,74	16,22	1,48	0,02	-0,69	-1,37	0,00
Spanien	12,95	14,60	1,65	0,03	-0,57	-1,30	0,15
Italien	11,98	13,46	1,48	0,02	-0,43	-1,09	0,23
Frankreich	10,74	12,80	2,06	0,03	-0,39	-1,20	0,42
Griechenland	14,28	14,99	0,71	0,01	-0,33	-0,69	0,03
Belgien	9,73	11,93	2,20	0,04	-0,25	-1,06	0,56
Niederlande	9,55	11,61	2,06	0,03	-0,20	-0,95	0,56
Deutschland	8,61	10,87	2,26	0,04	-0,08	-0,90	0,75
Irland	9,22	9,73	0,52	0,01	-0,01	-0,21	0,19
Österreich	6,11	8,09	1,98	0,03	0,36	-0,34	1,06
Finnland	1,64	4,21	2,57	0,04	1,10	0,42	1,78

Quelle: CRU TS Klimadatenbank und eigene Berechnungen. 1 Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 1960 und 2020. 2 Geschätzter Effekt auf die jährliche BIP-Wachstumsrate im Jahr 2020, der auf die Veränderung der Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 1960 und 2020 zurückgeführt werden kann. Den Berechnungen liegt der in einem Panelmodell geschätzte Effekt eines Temperaturanstiegs auf das jährliche BIP-Wachstum zugrunde. Der für die Schätzung verwendete Datensatz umfasst die Mitgliedsländer der Europäischen Union, Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Montenegro, Norwegen, die Schweiz, Serbien sowie das Vereinigte Königreich und erstreckt sich von 1961 bis 2020.

Deutsche Bundesbank

jahresspezifische fixe Effekte (a_t) sowie ein Residuum ($\varepsilon_{i,t}$) ein:⁵⁾

$$\Delta y_{i,t} = \rho \Delta y_{i,t-1} + \beta_1 T_{i,t} + \beta_2 T_{i,t}^2 + \gamma_1 R_{i,t} + \gamma_2 R_{i,t}^2 + a_i + a_t + \varepsilon_{i,t}.$$

Die quadratischen Terme ermöglichen dabei die Erfassung nichtlinearer Zusammenhänge.⁶⁾ In die Schätzung gehen Daten für 35 europäische Länder (alle 27 EU-Staaten sowie Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Montenegro, Norwegen, die Schweiz, Serbien und das Vereinigte Königreich) für den Zeitraum von 1961 bis 2020 ein.⁷⁾

Die Ergebnisse der Regression zeigen für den untersuchten Länderkreis einen spürbaren Einfluss der Jahresdurchschnittstemperatur auf das Wirtschaftswachstum an. Der lineare ($\beta_1 = 0,48$) und der quadratische Effekt der Durchschnittstemperatur ($\beta_2 = -0,03$) sind jeweils auf dem 95 %-Niveau statistisch signifikant von null verschieden. Der negative quadratische Effekt impliziert, dass der Effekt eines Temperaturanstiegs von der Ausgangstemperatur abhängt: Bei niedrigen Ausgangstemperaturen wirkt sich ein Temperaturanstieg vorteilhaft aus, bei hohen nachteilig. Der Schwellenwert, der niedrige und hohe Tem-

peraturen trennt, liegt bei 9,3 °C.⁸⁾ Zudem ist der geschätzte Temperatureffekt auf das BIP

5 Aufgrund der starken Korrelation von Niederschlags- und Temperaturdaten erscheint es angebracht, beide Variablen einzubeziehen (vgl.: Auffhammer et al. (2013)). Die länderspezifischen fixen Effekte kontrollieren für zeitinvariante Unterschiede zwischen den Wachstumsraten, während jahresspezifische fixe Effekte gemeinsame Trendbewegungen und jahresspezifische Sondereffekte abgreifen. Der geschätzte Temperatureffekt ergibt sich somit aus den länderspezifischen Abweichungen der BIP-Wachstumsraten sowie der Jahresdurchschnittstemperaturen vom europaweiten Durchschnitt (vgl.: Burke et al. (2015)).

6 Auch statistische Tests bevorzugen eine quadratische gegenüber einer linearen Beziehung zwischen den BIP-Wachstumsraten und der Durchschnittstemperatur. Ein quadratischer Zusammenhang wird auch in internationalen Studien unterstützt (vgl.: Burke et al. (2015)).

7 Temperatur- und Niederschlagsangaben stammen von der Climatic Research Unit der University of East Anglia, welche Daten einzelner Wetterstationen gemäß geografischer Entfernungsgewichtung auf Länderebene aggregiert. Die Zeitreihen können über das World Bank Climate Change Knowledge Portal heruntergeladen werden. Für die Analysen wurden die monatlichen Temperaturen zu einem Jahres- bzw. Quartalsmittel zusammengefasst. Die BIP-Wachstumsraten entstammen den World Development Indicators der Weltbank. Das Modell wird auf Basis eines lückenhaften Paneldatensatzes geschätzt (vgl. hierzu u. a.: Cameron und Trivedi (2005)).

8 Das Ergebnis steht im Einklang mit Erkenntnissen verwandter Studien. In einem globalen Panel zeigt sich ein negativer Effekt für das BIP-Wachstum ab einer Jahresdurchschnittstemperatur von 13 °C (Burke et al. (2015)), für regionale Wachstumsraten in der EU-15 ab 9,2 °C (Holtermann und Rische (2020)).

umso stärker, je weiter die Ausgangstemperatur von dem Schwellenwert entfernt liegt.

Weiterführende Analysen zeigen, dass der festgestellte Temperatureffekt vor allem durch die Sommermonate getrieben wird. Wenn die jährliche BIP-Wachstumsrate auf die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagsmengen in den vier Quartalen (statt auf die Jahresdurchschnittswerte) regressiert wird, ergibt sich nur für das Sommerquartal ein statistisch signifikanter Zusammenhang.⁹ Der geschätzte Effekt ist zudem deutlich stärker als der Einfluss der Durchschnittstemperatur im Gesamtjahr. Dies lässt vermuten, dass Temperaturanstiege in den anderen Quartalen dem wachstumshemmenden Effekt heißerer Sommermonate eher entgegenwirken.¹⁰

Aus diesen Schätzergebnissen folgt, dass sich der Temperaturanstieg bisher sehr unterschiedlich auf das Wirtschaftswachstum in den einzelnen Ländern Europas auswirkte. Zwischen 1960 und 2020 belief sich der mittlere Temperaturanstieg in den Ländern Europas auf 0,01 °C bis 0,04 °C pro Jahr. Mithilfe der Schätzkoeffizienten kann daraus der durchschnittliche Wachstumseffekt pro Land errechnet werden.¹¹ Während nordeuropäische Länder von dem Temperaturanstieg profitiert zu haben scheinen, zeigen sich in südlichen Ländern negative Auswirkungen.¹² In Finnland dürfte die jährliche BIP-Wachstumsrate aufgrund des Temperatureffekts zwischen 1960 und 2020 gemäß Schätzung um etwa 1,1 Prozentpunkte angestiegen sein, in Zypern oder Malta verringerte sie sich hingegen wohl um 0,7 Prozentpunkte bis 0,9 Prozentpunkte. Für den west- und mitteleuropäischen Raum finden sich keine statistisch signifikanten Effekte, da in diesen Ländern die Durchschnittstemperaturen nahe dem Schwellenwert von 9,3 °C lagen. Um diesen Punkt herum sind die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines Temperaturanstiegs null oder sehr gering.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Schätzunsicherheit – auch aufgrund der im Zeitverlauf zum Teil

stark schwankenden Jahresdurchschnittstemperaturen – hoch ist. Zudem werden lediglich historische Zusammenhänge analysiert. Auch werden nicht alle wirtschaftlichen Effekte des Klimawandels systematisch erfasst. Dies gilt beispielsweise für die Auswirkungen von Extremwetterereignissen¹³ oder auch die Ausstrahleffekte von Klimaveränderungen in anderen Regionen der Welt. Außerdem ist zu beachten, dass sich die Auswirkungen weiterer Temperaturanstiege von den historischen Zusammenhängen unterscheiden können. So ist beispielsweise denkbar, dass sich die gesamtwirtschaftlichen Kosten bei Überschreiten klimatischer Kippunkte erheblich erhöhen.¹⁴ Umgekehrt können Anpassungen an klimatische Veränderungen – etwa durch technische Innovationen – die Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum verringern.¹⁵ Jenseits dieser Vorbehalte geben die Schätzungen aber deutliche Hinweise darauf, dass ein weiterer Temperaturanstieg das Wirtschaftswachstum in Europa schwächen und zu Wachstumsdifferenzen führen dürfte.

9 Ähnliche Ergebnisse ergeben sich für die USA sowie Zentral- und Mittelamerika (vgl.: Hsiang (2010) sowie Colacito et al. (2018)).

10 So kann sich bspw. eine Reduktion der Eistage in den Winterquartalen positiv auf das BIP auswirken (vgl.: Deutsche Bundesbank (2014) sowie Bloesch und Gourio (2015)). Für kalte, nordeuropäische Länder ergibt sich zudem in weiterführenden Analysen ein positiver Effekt eines Temperaturanstiegs im Winter und Frühjahr auf das BIP-Wachstum.

11 Der aggregierte Effekt ergibt sich dabei als $\sum_{s=1961}^{2020} \rho^{2020-s} [\beta_1(T_{i,s} - T_{i,1960}) + \beta_2(T_{i,s}^2 - T_{i,1960}^2)]$. Die Konfidenzbänder werden mit der Deltamethode berechnet.

12 Unterschiedliche Einflüsse in den EU-Ländern zeigen sich auch unter Verwendung makroökonomischer Klimamodelle (vgl.: Europäische Kommission (2018)).

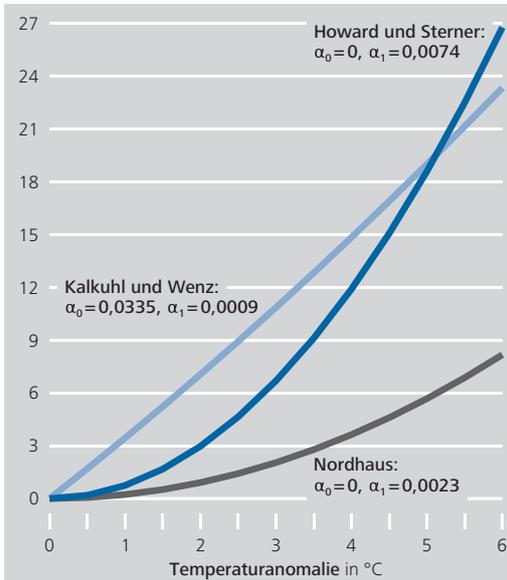
13 Zum Einfluss von Extremwetterereignissen vgl. u. a.: Hsiang und Narita (2012), Lesk et al. (2016) sowie Deutsche Bundesbank (2017b).

14 Kippunkte beziehen sich auf kritische Schwellenwerte in einem System, die bei Überschreitung zu einer erheblichen – unter Umständen irreversiblen – Änderung des Systemzustands führen können. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2018).

15 Laut internationalen Studien hatten solche Anpassungen historisch jedoch noch keinen Einfluss auf den Zusammenhang von Temperaturveränderungen und BIP-Wachstum (vgl.: Burke et al. (2015)).

Geschätzte globale BIP-Verluste durch Temperaturanstieg für ausgewählte Schadensfunktionen*)

in % des BIP



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Howard und Sterner (2017), Nordhaus (2017) sowie Kalkuhl und Wenz (2020).
 * Unterstellt wird ein quadratischer Zusammenhang zwischen der globalen Temperaturanomalie τ und physischem Schaden $D(\tau)$: $D(\tau) = \alpha_0 \tau + \alpha_1 \tau^2$, wobei α_0 und α_1 geschätzte Parameter sind.

Deutsche Bundesbank

sich Aussagen über künftige Entwicklungen nur mit Vorbehalt ableiten. Falls es etwa zu einem klimawirksamen technologischen Fortschritt nennenswerten Ausmaßes käme oder aber klimatische Kippunkte relevant würden, wären sie anzupassen.

Gleichwohl deckt sich der geschilderte Befund mit Projektionen makroökonomischer Klimamodelle. Auch laut Simulationen mit IAM würde die Arbeitsproduktivität in Europa unter einer fortschreitenden Erwärmung leiden. Die Verluste würden aber deutlich geringer ausfallen als in anderen Weltregionen.⁴⁵⁾ Innerhalb Europas wären die Schäden im Süden langfristig deutlich größer als in der Mitte oder im Norden.

IAM-Simulationen sind jedoch ebenfalls mit einer erheblichen Modellunsicherheit behaftet. Dies betrifft insbesondere die Spezifikation der Schadensfunktion. In Abhängigkeit von dem unterstellten funktionalen Zusammenhang und der Parametrisierung können sich starke Unter-

Schätzungen entsprechen Ergebnissen makroökonomischer Klimamodelle, ...

... wenngleich auch hier Modellunsicherheit besteht

schiede hinsichtlich der zu erwartenden wirtschaftlichen Verluste ergeben.⁴⁶⁾⁴⁷⁾

Extremwetterereignisse

Es mehren sich Belege dafür, dass Frequenz, Intensität und das Zusammentreffen von Wetterextremen wie Stürme, Fluten und Dürren mit dem Klimawandel zusammenhängen.⁴⁸⁾ Aus solchen Wetterextremen können sich gesamtwirtschaftlich bedeutsame und zugleich schwer vorhersehbare Störungen von Angebot und Nachfrage ergeben,⁴⁹⁾ die zudem über Regionen und Sektoren hinweg variieren.⁵⁰⁾

Solche Extremwetterereignisse wirken sich unmittelbar auf Menschen und Sachkapital in den betroffenen Gebieten aus.⁵¹⁾ Zudem kann es zu indirekten Effekten kommen, welche die Wirtschaftsleistung außerhalb der Katastrophenregionen zumindest temporär beeinflussen, wenn etwa Lieferketten unterbrochen oder Migrationsbewegungen ausgelöst werden.⁵²⁾

Auch die Nachfrage kann durch die indirekten Folgen extremer Wettererscheinungen beeinflusst werden. Etwaige Vermögensverluste und erhöhte Abschreibungsbedarfe bei Haushalten und Unternehmen (insbesondere bei Banken und Versicherungen) dämpfen potenziell die

Extremwetterereignisse als ...

... angebotsseitige ...

... sowie nachfrageseitige Störungen

⁴⁵ IAM-Projektionen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Arbeitsproduktivität können über den NGFS CA Climate Impact Explorer abgerufen werden: <http://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/>. Vgl. hierzu auch: Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021a).

⁴⁶ Darüber hinaus kann die Bewertung künftiger Schäden maßgeblich von weiteren Faktoren wie etwa dem sozialen Abzinsungssatz abhängen. Vgl. hierzu auch: Bauer und Rubdebusch (2021).

⁴⁷ Entsprechend kontrovers werden die Schadensfunktionen in makroökonomischen Klimamodellen diskutiert. Vgl. u. a.: Weitzmann (2012) und Pindyck (2013).

⁴⁸ Vgl. u. a.: Böhnisch et al. (2021), Intergovernmental Panel on Climate Change (2021) sowie Kuhla et al. (2021).

⁴⁹ Vgl. u. a.: Cavallo und Noy (2011) sowie Dell et al. (2014).

⁵⁰ Vgl. hierzu auch: Jahn (2015).

⁵¹ Vgl. u. a.: Kahn (2005), Keen und Pakko (2011), Anttila-Hughes und Hsiang (2013) sowie Batten (2018).

⁵² Vgl. u. a.: Cavallo und Noy (2011), Strobl (2011) sowie Ghadge et al. (2020).

Auswirkungen des graduellen Temperaturanstiegs auf die trendmäßige Wirtschaftsentwicklung in Deutschland

Der zu erwartende graduelle Temperaturanstieg wirft die Frage auf, welche Auswirkungen er auf die trendmäßige Wirtschaftsentwicklung in Deutschland haben wird, falls nicht rechtzeitig und nachhaltig gegen-gesteuert wird. Zur Abschätzung der gesamt-wirtschaftlichen Folgen der Erderwär-mung kann auf die Szenarien des Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) zurück-gegriffen werden.¹⁾ Sie liefern Projektionen für die länderspezifischen Entwicklungen von Durchschnittstemperatur und Brutto-inlandsprodukt (BIP) für verschiedene Emis-sionspfade.²⁾ Der Zusammenhang zwischen Temperatur- und BIP-Entwicklung wird da-bei über sogenannte Schadensfunktionen hergestellt.³⁾

Die Kalibrierung der Schadensfunktion in den NGFS-Szenarien leitet sich aus Schätz-ergebnissen für den Zusammenhang dieser beiden Größen in der Vergangenheit ab. Die Werte für die Kalibrierung stammen aus der globalen Panelstudie von Kalkuhl und Wenz (2020).⁴⁾ Den in den NGFS-Szenarien ver-wendeten Schätzergebnissen zufolge hat eine einmalige Temperaturänderung einen Niveaueffekt auf die Produktivität.⁵⁾ Steigt die jährliche Durchschnittstemperatur aber kontinuierlich an, bleibt die BIP-Wachstums-rate unter derjenigen Rate, welche sich ohne den Temperaturanstieg ergeben würde. Nach diesen Szenarien würde der in der laufenden Dekade erwartete Tempera-turanstieg in Deutschland nur zu geringen BIP-Verlusten führen.⁶⁾ Ab dem Jahr 2030 dürften die Auswirkungen im Fall eines un-gemilderten Klimawandels jedoch stärker ausfallen.

Diese Schätzungen unterliegen aus verschie-denen Gründen hoher Unsicherheit. Erstens kann das Ausmaß des Temperaturanstiegs bei einem vorgegebenen Emissionspfad nur näherungsweise bestimmt werden. Deshalb

gibt das NGFS die BIP-Schäden für verschie-dene Perzentile der möglichen Temperatur-entwicklung an. Im Median belaufen sich die BIP-Verluste in Deutschland im Jahr 2100 auf 2 ½ %, am 95. Perzentil auf gut 5 %. Zweitens ist der Zusammenhang zwischen Durchschnittstemperatur und BIP unsicher. Alternativ zur NGFS-Schadensfunktion kön-

1 Vgl.: Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021b). Die gesammel-ten Ergebnisse stammen von einem internationalen Klimaforschungskonsortium. Dazu gehören das Pots-dam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), das Inter-national Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), die University of Maryland (UMD), Climate Analytics (CA) und die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich (ETHZ).

2 Für detaillierte Informationen zur Methodik der Sze-narien und zu den verwendeten Modellen vgl.: Net-work of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021c). Die hier vorgestellten Erge-bnisse basieren auf den auf Länder heruntergebroche-nen IAM-Resultaten des Modells REMIND des PIK.

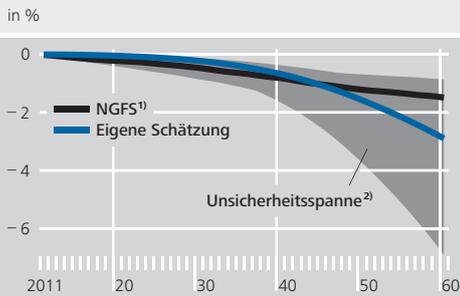
3 Schäden, die sich mittelbar auf die Leistungsfähigkeit einer Volkswirtschaft auswirken wie Änderungen bei der Mortalität, der Häufigkeit gewaltsamer Konflikte oder Schäden an der Biodiversität und am Ökosystem, fließen nicht in die Konstruktion der Szenarien ein. Im IAM REMIND können auch Rückkopplungen oder dynamische Effekte einbezogen werden, wodurch sich Kapitalakkumulation oder Ersparnisbildung anpassen oder Politikreaktionen zur Emissionsvermeidung aus-gelöst werden. Diese Effekte beeinflussen die Höhe der Klimakosten in den NGFS-Rechnungen jedoch nicht stark.

4 Die abhängige Produktivitätsvariable in diesen Rech-nungen setzt sich aus Arbeits- und Agrarproduktivität sowie Kapitalabschreibungen zusammen.

5 Der Einfluss des Temperaturniveaus auf das Wachs-tum des Pro-Kopf-BIP ist in den Schätzungen statistisch insignifikant. Die Schätzgleichung berücksichtigt mög-liche Nichtlinearitäten des Zusammenhangs zwischen Temperaturanstieg und BIP-Wachstum. Gemäß den Er-gebnissen fördert ein Temperaturanstieg das Wirt-schaftswachstum in ursprünglich kälteren Regionen und bremst es in bereits wärmeren Gegenden, was im Einklang mit anderen Studien steht.

6 Für das Szenario des ungemilderten Klimawandels wird das „Current Policies“-Szenario des NGFS, das lediglich bereits umgesetzte Eindämmungsmaßnahmen berücksichtigt, verwendet. Zur Berechnung der Kosten der Erderwärmung wird ein hypothetisches Vergleichs-szenario ohne Klimateffekte herangezogen. Der BIP-Pfad in diesem Szenario entspricht dem Wachstums-trend der zurückliegenden Jahrzehnte, welcher mithilfe von Projektionen des Internationalen Währungsfonds (Internationaler Währungsfonds (2020)) um die Auswir-kungen der Coronavirus-Pandemie angepasst wurde.

BIP-Niveaueffekte des graduellen Temperaturanstiegs in Deutschland



Quellen: NGFS, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und eigene Berechnungen. **1** Schadensfunktion gemäß Kalkuhl und Wenz (2020). **2** Kombination der überlappenden Unsicherheitsintervalle gemäß Kalkuhl und Wenz (2020) und eigener Schätzung. Die zugrunde liegenden BIP- und Temperaturentwicklungen basieren auf dem „Current Policies“-Szenario im Integrated Assessment Modell REMIND gemäß NGFS-Angaben.

Deutsche Bundesbank

nen auch Schätzergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen den Temperaturniveaus und BIP-Wachstumsraten in europäischen Ländern belegen, herangezogen werden (siehe dazu im Einzelnen S. 39 ff.). Der Temperaturanstieg dämpft demzufolge das Wirtschaftswachstum anhaltend. In diesem Fall wären die Auswirkungen des Klimawandels auf das deutsche BIP längerfristig stärker.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die NGFS-Szenarien keine Klimaschäden infolge häufigerer Extremwetterereignisse oder von Kipppunkten abbilden. Diese werden allerdings mit fortschreitender Erderwärmung wahrscheinlicher und werden erhebliche gesamtwirtschaftliche Folgen haben. In Rechnung zu stellen sind darüber hinaus Effekte aufgrund grenzüberschreitender Handels- oder Migrationsverflechtungen, über die sich klimabedingte BIP-Schäden in anderen Ländern auf Deutschland übertragen könnten.⁷⁾ Zudem dürfen die vergleichsweise geringen BIP-Einbußen in Deutschland nicht über die zu erwartenden massiven globalen BIP-Schäden hinwegtäuschen.⁸⁾

Die NGFS-Rechnungen geben auch Hinweise darauf, inwieweit sich die gesamtwirtschaftlichen Schäden durch klimapolitische Maßnahmen begrenzen lassen. In den Szenariorechnungen können rasch eingeführte

und im Zeitverlauf gleichmäßig intensivierte Maßnahmen zur Emissionsverringering (abgebildet in den sog. geordneten NGFS-Szenarien) sowohl diejenigen Kosten, die von den Eingriffen ausgehen, als auch diejenigen, die aufgrund der Erderwärmung entstehen, deutlich mindern. Falls also auf diese Weise im Jahr 2050 weltweit Treibhausgasneutralität erreicht und so die Erderwärmung auf 1,5 °C begrenzt wird, könnten die zu erwartenden BIP-Verluste aufgrund des graduellen Temperaturanstiegs im Jahr 2100 auf 0,6 % anstelle von 2,7 % begrenzt werden. Auch wenn die Erderwärmung nur auf knapp unter 2 °C begrenzt wird, fallen die klimabedingten BIP-Verluste in Deutschland mit 0,8 % deutlich geringer aus. Falls lediglich die derzeit versprochenen nationalen Klimaschutzbeiträge umgesetzt werden, steigt die Durchschnittstemperatur voraussichtlich um etwa 2,5 °C, und es fallen deutlich höhere BIP-Verluste von geschätzt 1,6 % an. Diese Fallkonstellationen unterstellen, dass es zu keinen erheblichen BIP-Einbußen aufgrund der ergriffenen Maßnahmen kommt.⁹⁾ Größere BIP-Verluste entstünden bei verspäteten, abrupten oder schlecht koordinierten Maßnahmen zur Emissionsverringering. Zwar fielen die Kosten dann später an, sie wären aber insgesamt höher. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht stellt die entschiedene und frühzeitige Umsetzung klimapolitischer Maßnahmen diesen Ergebnissen zufolge die beste Handlungsoption dar.

⁷ Auch die Kopplung mit dem Modell NiGEM lässt in den länderspezifischen NGFS-Szenarien zusätzliche Ausstrahleffekte über den internationalen Handel außen vor.

⁸ Laut der Berechnung von Burke et al. (2015), deren Schätzgleichung auf einer ähnlichen Spezifikation wie der auf S. 39 ff. beruht, betragen die globalen BIP-Verluste im Jahr 2100 23 %.

⁹ Eine gewichtige Rolle spielt hierbei die Annahme, dass zumindest ein Teil der fiskalischen Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung zur Finanzierung produktiver Investitionen genutzt wird (vgl.: Etzel et al. (2021)). Die Angaben für verschärfte Klimaschutzmaßnahmen beziehen sich auf die NGFS-Szenarien „Net Zero 2050“ und „Below 2 Degrees Celsius“. Die Angaben für derzeit versprochene nationale Klimaschutzbeiträge beziehen sich auf das „Nationally Determined Contributions“-Szenario.

Konsum- und Investitionsnachfrage.⁵³⁾ Es kann in einzelnen Regionen oder Sektoren aber auch zu Nachfrageimpulsen kommen, etwa wenn die Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen, welche im Katastrophengebiet zumindest vorübergehend nicht mehr hergestellt werden können, andernorts bedient wird. Zudem können einzelne Branchen von der Schadensbeseitigung und dem Wiederaufbau profitieren.⁵⁴⁾ Insgesamt ist aber im Fall plötzlicher Extremwetterereignisse zumindest für die kurze Frist mit gesamtwirtschaftlichen Verlusten zu rechnen.⁵⁵⁾

Makroökonomische Belastung durch Wetterextreme insbesondere für kurze und mittlere Frist empirisch belegt

Das häufigere Auftreten von Extremwetterverhältnissen dürfte die Volatilität von gesamtwirtschaftlicher Leistung und Preisen erhöhen.⁵⁶⁾ Eine hinreichend starke oder abrupte Abnahme der Vermögenspreise gefährdet zudem unter Umständen auch die Finanzstabilität.⁵⁷⁾ Darüber hinaus können sich Wirkungen auf das Produktionspotenzial ergeben. Hierbei sind unterschiedliche Richtungen denkbar. So ist vorstellbar, dass Extremwetterereignisse den natürlichen oder physischen Kapitalstock nachhaltig schädigen und auf diese Weise das gesamtwirtschaftliche Wachstum schwächen. Negative Auswirkungen auf das Produktionspotenzial ergeben sich auch, wenn private und öffentliche Investitionen etwa wegen der erhöhten Unsicherheit oder der fiskalischen Belastungen eingeschränkt werden.⁵⁸⁾ Zudem ist denkbar, dass klimabedingte Anpassungsmaßnahmen Ressourcen binden – zulasten produktiverer Investitionsalternativen. Wetterextreme können das gesamtwirtschaftliche Wachstum indirekt aber auch stimulieren, indem sie zu Innovationen und dem Einsatz produktiveren Ersatzkapitals anregen. Die empirische Evidenz zu den langfristigen gesamtwirtschaftlichen Folgen extremer Wetterereignisse fällt dementsprechend gemischt aus. Hinweisen auf gesamtwirtschaftlich wenig bedeutende oder sogar stimulierende Wirkungen steht eine Reihe von Untersuchungen gegenüber, die auf länger anhaltende Belastungen schließen lassen.⁵⁹⁾

Die makroökonomische Bedeutung von Wetterextremen hängt zudem von der Verwundbar-

keit eines Landes ab. Ein zentraler Faktor ist die geografische Lage. So war etwa in der Vergangenheit die Konzentration von Extremwetterereignissen im asiatisch-pazifischen Raum um ein vielfaches höher als in Westeuropa.⁶⁰⁾ Darüber hinaus wird die Schadensanfälligkeit eines Landes durch Demografie, Agglomerationsmuster und weitere sozioökonomische Faktoren beeinflusst.⁶¹⁾ Auch die Wirtschaftsstruktur dürfte eine beträchtliche Rolle spielen, beispielsweise aufgrund des Gewichts der gegenüber Wetterextremen besonders anfälligen Sektoren wie etwa der Landwirtschaft.

Neben geografischer Lage weitere Faktoren entscheidend für gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Wetterextremen

Entsprechend unterschiedlich fallen die Schätzungen zu den von Wetterextremen verursachten gesamtwirtschaftlichen Schäden für die verschiedenen Weltregionen aus.⁶²⁾ Bisher waren die Schäden in Asien um ein Vielfaches höher als auf dem europäischen Kontinent.⁶³⁾ Aber auch innerhalb Europas gab es Unterschiede. So waren die ins Verhältnis zur jeweiligen Wirtschaftsleistung gesetzten kumulierten wirtschaftlichen Schäden der letzten 40 Jahre in Estland und Finnland erheblich geringer, in Griechenland, Spanien und Italien deutlich größer als im Rest des Euroraums. Allerdings waren die gemessenen Verluste selbst in den am stärksten

Höhe von Extremwetter-schäden unterscheidet sich erheblich zwischen Ländern und Regionen

53 Vgl. u. a.: Fankhauser und Tol (2005) sowie Bernstein et al. (2019).

54 Vgl. u. a.: Hsiang (2010).

55 Das zeigt eine Reihe von empirischen Untersuchungen. Vgl. u. a.: Cavallo und Noy (2011) sowie Botzen et al. (2019).

56 Simulationen auf Basis von DSGE-Modellen zeigen etwa, dass eine Zunahme in der Streubreite unerwarteter Extremwetterereignisse die Volatilität makroökonomischer Schlüsselgrößen mitunter erheblich beeinflussen kann. Vgl. hierzu: Gallic und Vermandel (2020).

57 Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021b).

58 Vgl.: Deutsche Bundesbank (2018) sowie Deryugina (2017).

59 Vgl.: Cavallo und Noy (2011), Jahn (2015) sowie Botzen et al. (2019).

60 Vgl.: Cavallo und Noy (2011) sowie Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2020).

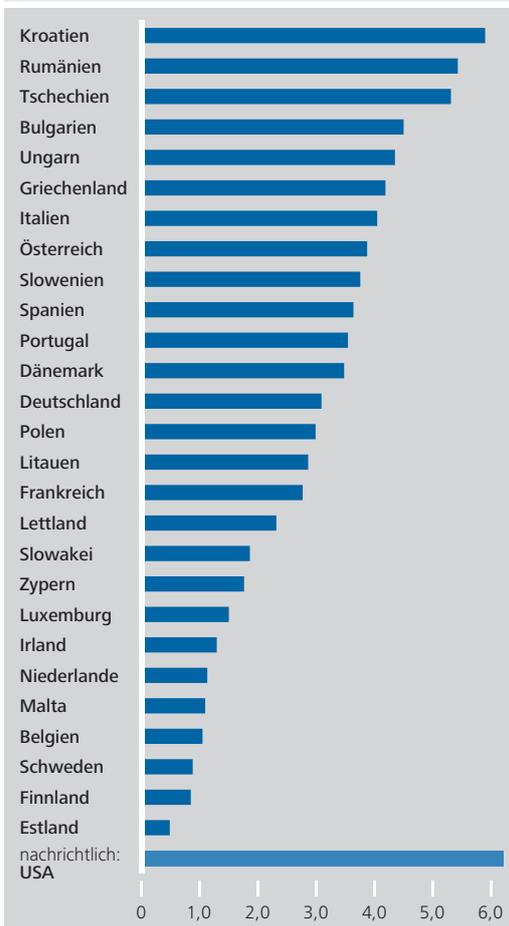
61 Vgl. u. a.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2012).

62 Vgl. u. a.: Wallemacq et al. (2018).

63 Die erfassten kumulierten absoluten wirtschaftlichen Schäden infolge meteorologischer, hydrologischer und klimatologischer Katastrophenfälle fielen gemäß der Emergency Events Database (EM-DAT) für den Zeitraum 2000 bis 2020 in Asien um das Dreifache höher aus als in Europa. Die Daten sind verfügbar unter: <https://www.emdat.be/>.

Kumulierte Schäden in der EU durch Wetterextreme und Klimawandel*)

in % des BIP 2019



Quellen: European Environment Agency, Haver Analytics, Munich Re, NOAA National Climate Data Center und eigene Berechnungen. * Kumulierte wirtschaftliche Schäden infolge meteorologischer (u. a. Extremtemperaturen und Stürme), hydrologischer (u. a. Überschwemmungen) und klimatologischer (u. a. Dürren) Katastrophenfälle von 1980 bis 2019.

Deutsche Bundesbank

betroffenen Euro-Ländern deutlich geringer als in anderen Weltregionen.⁶⁴⁾

Keine zentrale geldpolitische Bedeutung für den Euroraum mit Blick auf bisherige wirtschaftliche Verluste

Bei Schocks wie dem Auftreten von Extremwetterereignissen stellt sich aus geldpolitischer Sicht vor allem die Frage, ob und in welchem Umfang die damit verbundenen Angebots- und Nachfrigestörungen die gesamtwirtschaftliche Produktionslücke kurz- und mittelfristig ausweiten oder verringern und den Inflationsdruck erhöhen oder senken.⁶⁵⁾ Aus der durchschnittlichen Höhe der bisherigen gesamtwirtschaftlichen Verluste lässt sich zumindest keine zentrale geldpolitische Bedeutung von Wetterextremen für den Euroraum ableiten.⁶⁶⁾

Allerdings könnte die Bedeutung von Wetterextremen für die Geldpolitik im Euro-Währungsgebiet zunehmen.⁶⁷⁾ Bereits in den letzten Jahrzehnten stieg die Häufigkeit von Extremwetterereignissen in Europa deutlich an. Auch ist denkbar, dass die Zunahme gesamtwirtschaftlich gewichtiger Wetterereignisse in anderen Weltregionen zukünftig verstärkt auf Europa ausstrahlt. Zudem könnte die Häufung von Wetterextremen zu abrupten Anpassungen der Klimapolitik und dadurch zu überraschenden makroökonomisch bedeutsamen Veränderungen führen.⁶⁸⁾

Geldpolitische Relevanz im Währungsgebiet kann jedoch in Zukunft größer werden ...

Ein häufigeres Auftreten von Wetterextremen dürfte überdies die makroökonomische Analyse der Notenbanken erschweren. Dies betrifft sowohl die Identifikation der jeweiligen konjunkturellen Triebkräfte als auch die Erstellung von Projektionen, etwa wegen des unsicheren Wirkungshorizonts von Extremwetterereignissen. Zudem erfassen die gängigen Analyseinstrumente die Transmissionsmechanismen wetterbedingter Störungen unter Umständen nur unzureichend. Beispielsweise lässt sich im Rahmen eines DSGE-Modells zeigen, dass die Stärke der Verbraucherpreisreaktion infolge eines wetterbedingten Angebotsschocks maßgeblich von der unterstellten sektoralen Struktur abhängt.⁶⁹⁾ Eine Modellversion ohne sektorale Verflechtungen, wie sie bisher üblicherweise für die gesamtwirtschaftliche Analyse zum Einsatz kommt,

... mit Folgen für die makroökonomische Analyse

⁶⁴ Vgl. hierzu: Wallemacq et al. (2018).

⁶⁵ Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021c).

⁶⁶ Vgl. hierzu auch: Dafermos et al. (2021).

⁶⁷ Vgl. hierzu auch: Böhnisch et al. (2021) sowie Kuhla et al. (2021).

⁶⁸ So hatte bspw. die durch einen Tsunami ausgelöste Unfallserie im japanischen Atomkraftwerk Fukushima Daiichi weitreichende Folgen für die Wirtschaftspolitik in Deutschland.

⁶⁹ Als Analyserahmen dient das prototypische neuklassische Modell einer geschlossenen Volkswirtschaft mit physischem Kapital, imperfektem Wettbewerb und nominalen Preisrigiditäten (vgl. u. a.: Woodford (2003)). Das Modell ist für die Europäische Union gemeinsam mit dem Vereinigten Königreich kalibriert. Die Spezifikation der multisektoralen Variante orientiert sich am EMuSe-Modell. Vgl. hierzu die Ausführungen auf S. 51 ff.

zeigt wesentlich schwächere Auswirkungen an als die multisektorale Variante.⁷⁰⁾

Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen der Klimapolitik

Zielrichtung klimapolitischer Initiativen

Nicht nur der Klimawandel selbst, sondern auch die Maßnahmen zu seiner Begrenzung dürften erhebliche gesamtwirtschaftliche Auswirkungen haben. Im Dezember 2015 einigten sich 196 Staaten mit dem Pariser Klimaabkommen auf das Mindestziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber vorindustriellen Werten auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen.⁷¹⁾ Um diese Ziele zu erreichen, müssen die globalen Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren erheblich verringert werden.⁷²⁾ Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Maßnahmen erwogen. Hierzu zählen die teils erhebliche Verteuerung des Treibhausgasausstoßes, etwa durch die Einführung von Emissionssteuern oder eines Emissionshandelssystems, die Vorgabe von Emissionsobergrenzen oder gar das Verbot bestimmter emissionsintensiver Wirtschaftsaktivitäten oder Produkte.

Angebotsseitige Effekte

Aus der Transition hin zu einer kohlenstoffärmeren Wirtschaft können sich erhebliche Belastungen der Angebotsseite ergeben.⁷³⁾ Hierzu zählen neben direkten Kosten durch die Emissionsbeziehung auch die Verteuerung von emis-

⁷⁰ Die Modellierung des Extremwetterereignisses erfolgt in Form eines temporären negativen Angebotschocks, dessen Stärke so gewählt wurde, dass bei Eintreten des Schocks die Wertschöpfung in beiden Modellvarianten im ersten Quartal um 0,015 % sinkt (d. h. 0,06 % auf Jahresbasis). Diese Kalibrierung orientiert sich an den Schätzungen von Dafermos et al. (2020).

⁷¹ Idealerweise sollte der Temperaturanstieg auf 1,5 °C beschränkt werden, da dies die Risiken des Klimawandels gegenüber einem 2 °C-Szenario deutlich verringern würde. Vgl.: Vereinte Nationen (2015).

⁷² Der Weltklimarat beschreibt verschiedene Szenarien, welche die Einhaltung der in Paris 2015 beschlossenen Ziele ermöglichen würden. So wäre es zur Erreichung des 1,5 °C-Ziels in einem Kernszenario notwendig, die globalen Netto-CO₂-Emissionen bis 2030 um 45 % gegenüber dem Niveau von 2010 und bis 2050 auf null zu reduzieren. Für das 2 °C-Ziel wäre bis 2030 eine Reduktion um 25 % und bis 2070 auf null notwendig. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2018).

⁷³ Vgl. hierzu auch: Batten (2018) sowie Andersson et al. (2020).

Anzahl erfasster Extremwetterereignisse und Waldbrände in Europa^{*)}

Durchschnitt der jeweils letzten zehn Jahre

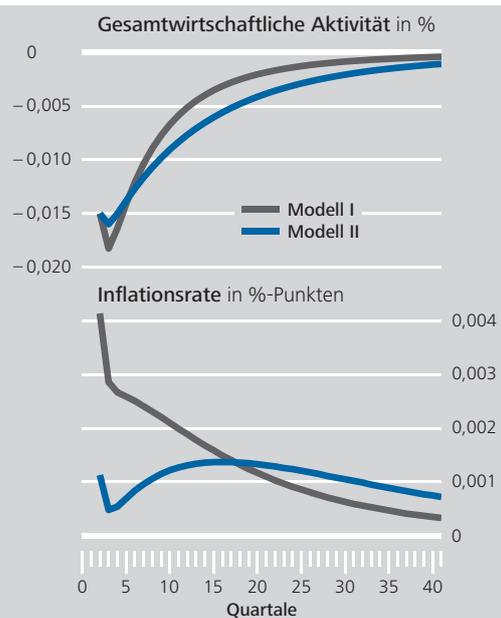


Quelle: Emergency Events Database und eigene Berechnungen.
 * Extremwetterereignisse umfassen meteorologische (u. a. Extremtemperaturen und Stürme), hydrologische (u. a. Überschwemmungen) und klimatologische (u. a. Dürren) Katastrophenfälle. Die verwendeten Daten erstrecken sich über folgende europäische Länder: Albanien, Belgien, Bulgarien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, die Schweiz, Spanien und das Vereinigte Königreich.

Deutsche Bundesbank

Simulierte Auswirkungen eines Extremwetterereignisses bei unterschiedlicher sektoraler Disaggregation^{*)}

Abweichung vom deterministischen Gleichgewicht

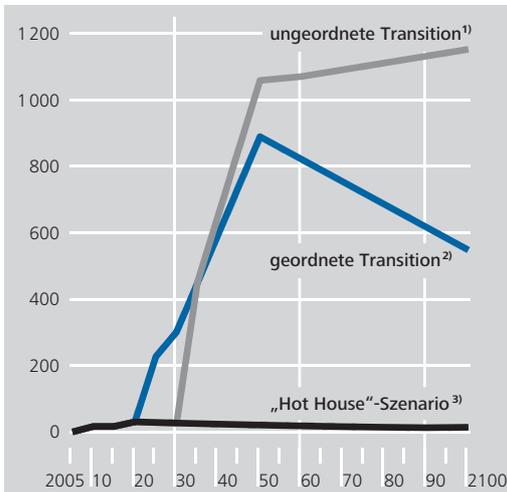


* Impuls-Antwort-Reaktionen von gesamtwirtschaftlicher Aktivität und annualisierter Inflationsrate unter Verwendung eines DSGE-Modells mit (Modell I) und ohne (Modell II) sektorale Produktionsverflechtungen.

Deutsche Bundesbank

Projektionen jährlicher CO₂-Preise in der EU für ausgewählte Transitionsszenarien^{*)}

US-\$ pro Tonne CO₂ in Preisen von 2010



Quelle: NGFS. * Die CO₂-Preis-Projektionen wurden mittels des REMIND-Modells des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung generiert. **1** Es wird davon ausgegangen, dass erst ab 2030 einschneidende klimapolitische Maßnahmen umgesetzt werden, um die globale Erwärmung auf weniger als 2°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. **2** Der Interventionsgrad der Klimapolitik nimmt annahmegemäß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. **3** Über den gegenwärtigen Zeitpunkt hinaus werden keine weiteren klimapolitischen Maßnahmen umgesetzt.

Deutsche Bundesbank

sionsintensiv produzierten Vorleistungen, Aufwendungen zur Emissionsvermeidung oder die Kosten politikinduzierter Produktionsanpassungen und Verluste infolge der Neubepreisung von Vermögenswerten.⁷⁴⁾ Die wirtschaftlichen Folgen für Unternehmen dürften dabei sowohl von der Art und Ausgestaltung der Eingriffe als auch den Branchencharakteristika abhängen. Hierzu zählt neben der spezifischen Emissions- und Energieintensität auch die jeweilige Marktstellung. Von ihr hängt beispielsweise ab, in welchem Maß Kosten überwältigt werden können.⁷⁵⁾ Klimapolitische Vorhaben zielen jedoch mitunter auch darauf ab, Anreize für klimafreundliche Innovationen von Unternehmen zu erhöhen. Dies kann produktivitätssteigernden technologischen Fortschritt fördern.⁷⁶⁾

Klimapolitische Maßnahmen dürften sich auch auf die Nachfrageseite auswirken. Höhere Energiekosten infolge einer Emissionsbepreisung belasten die Budgets privater Haushalte und Unternehmen. Dies dämpft tendenziell Konsum

Auswirkungen auf die Nachfrageseite

und Investitionen, was wiederum Auswirkungen auf Löhne und Beschäftigung haben kann, mit entsprechenden Folgen für die gesamtwirtschaftliche Nachfrage.⁷⁷⁾ Davon können die einzelnen Haushalte und Unternehmen sehr unterschiedlich betroffen sein, was wiederum Bedeutung für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung hätte.⁷⁸⁾ Nachfragestimulierende Effekte könnten sich hingegen aus Investitionsanreizen, der Ausschüttung von Einnahmen aus der Emissionsbepreisung an Haushalte oder durch zusätzliche öffentliche Investitionen ergeben.

Von großer Bedeutung für die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Klimapolitik dürfte deren Berechenbarkeit sein, denn Unsicherheit belastet die Konsum- und Investitionsentscheidungen von Haushalten und Unternehmen. Überraschende Entwicklungen können auch eine weitreichende Neubewertung finanzieller Vermögenswerte auslösen, mit entsprechenden Folgen für die Finanzstabilität.⁷⁹⁾

Berechenbarkeit der Klimapolitik von großer Bedeutung

⁷⁴ So besteht das Risiko, dass regulatorische Eingriffe plötzlich oder schleichend Unternehmenskapital entwerten („stranded assets“) – etwa, wenn dieses nicht mehr zur Produktion eingesetzt werden darf oder Produktionsprozesse infolge gestiegener Emissionspreise nicht mehr rentabel sind. Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021a, 2021b) sowie die Ausführungen auf S. 63 ff.

⁷⁵ Vgl. hierzu u. a.: Ryan (2012), Bushnell et al. (2013) sowie Känzig (2021).

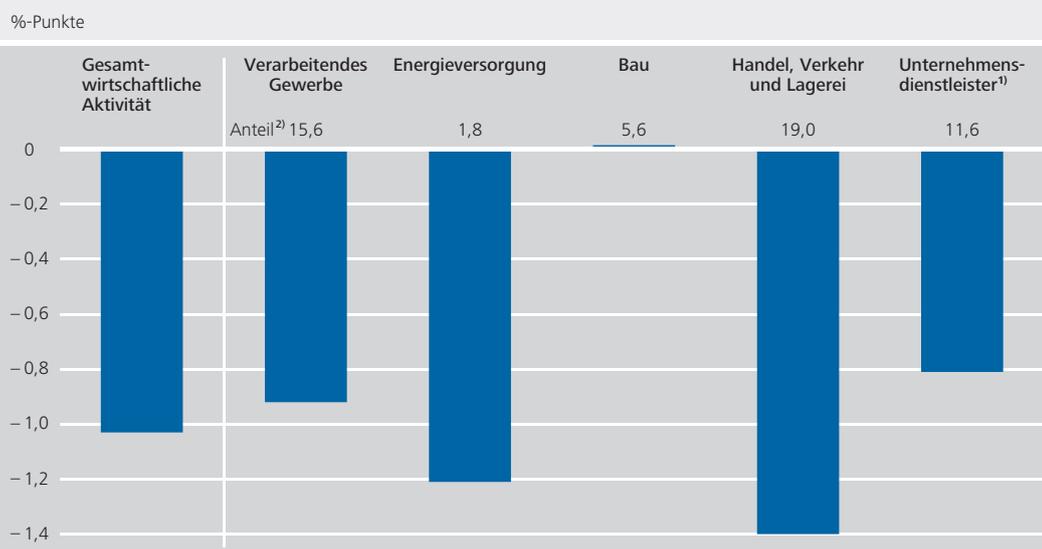
⁷⁶ Erste Befunde deuten darauf hin, dass die im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems eingeführte CO₂-Bepreisung Innovationen bei kohlenstoffarmen Technologien angestoßen hat. Vgl. hierzu: Calé und Dechezleprêtre (2016) sowie Känzig (2021). Zur gesamtwirtschaftlichen Bedeutung klimafreundlicher Innovationen siehe u. a.: OECD (2011, 2017a) sowie Europäische Kommission (2019, 2021).

⁷⁷ Aber auch regulatorische Vorgaben, steuerliche Anreize und Subventionen, höhere Nutzungskosten sowie Präferenzveränderungen können sich nachhaltig auf die Konsum- und Investitionsentscheidungen von Haushalten und Unternehmen auswirken.

⁷⁸ Empirische Untersuchungen deuten darauf hin, dass einkommenschwächere Haushalte durch die Effekte einer Energiepreiserhöhung vergleichsweise stärker belastet werden. Vgl. hierzu: Känzig (2021).

⁷⁹ Der Aufsatz auf S. 63 ff. in diesem Bericht (Szenariobasierte Bewertungseffekte am Aktienmarkt durch Treibhausgasemissionen) quantifiziert die emissionsbezogenen Wertänderungen globaler Aktiengesellschaften bei einem Umschwung der Markterwartungen von einem Szenario der Umsetzung nationaler Klimaschutzzusagen hin zu einem Paris-konformen Transitionsszenario. Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021b).

Differenz der Bruttowertschöpfung zwischen ungeordneter und geordneter Transition im Jahr 2050⁸⁰⁾



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf dem DSGE-Modell EMuSe und Projektionen des NGFS. * Das Modell ist für die Europäische Union zusammen mit dem Vereinigten Königreich kalibriert. Der gesamte Simulationszeitraum umfasst die Zeitspanne von 2005 bis 2100. Gezeigt wird die jeweilige Abweichung der - in Relation zur Basislinie ausgedrückten - realen Bruttowertschöpfung zwischen einer ungeordneten und einer geordneten Transition. Die angenommenen Verläufe der CO₂-Emissionsintensität und des CO₂-Preises orientieren sich an Projektionen des NGFS (REMIND-Modell). Physische, durch Emissionen bedingte Schäden werden nicht berücksichtigt. Bei geordneter Transition nimmt der Interventionsgrad der Klimapolitik annahmegemäß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. Bei ungeordneter Transition wird davon ausgegangen, dass erst ab 2030 einschneidende klimapolitische Maßnahmen umgesetzt werden, um die globale Erwärmung auf weniger als 2°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. **1** NACE-Abschnitte M–N: Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen sowie von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen. **2** Anteil des Wirtschaftsbereichs an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung im Jahr 2019 in %.

Deutsche Bundesbank

Gesamtwirtschaftlicher Nettoeffekt klimapolitischer Maßnahmen nicht immer eindeutig

In der Gesamtschau ergibt sich eine vielschichtige Komposition angebots- und nachfrage-seitiger Auswirkungen, deren gesamtwirtschaftlicher Nettoeffekt a priori nicht immer eindeutig ist.⁸⁰⁾ Je nach Ausgestaltung kann die Klimapolitik kurz- bis mittelfristig sowohl mit einer sinkenden als auch einer steigenden Produktionslücke und entsprechend niedrigerem beziehungsweise höherem Inflationsdruck einhergehen. Entschlossene Maßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels dürften für sich genommen das gesamtwirtschaftliche Wachstum zunächst dämpfen, längerfristig würden die klimabedingten Schäden aber verringert werden. Die mittelfristigen Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum hängen zudem von der Ausgestaltung der Klimapolitik und ihrer Berechenbarkeit ab.⁸¹⁾

Der Preisanstieg dürfte sich im Fall einer verschärften CO₂-Bepreisung zumindest temporär verstärken. Das Ausmaß hängt dabei wesentlich vom zeitlichen Profil der klimapolitischen Maß-

nahmen ab. Dies zeigen beispielsweise Modellrechnungen, die im Rahmen des Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) auf Basis von makroökonomischen Klimamodellen angestellt wurden. So unterscheidet sich etwa der CO₂-Preis-pfad einer geordneten Transition, bei welcher der klimapolitische Interventionsgrad graduell verschärft wird, erheblich von dem CO₂-Preis-pfad im Fall einer ungeordneten Klimapolitik,

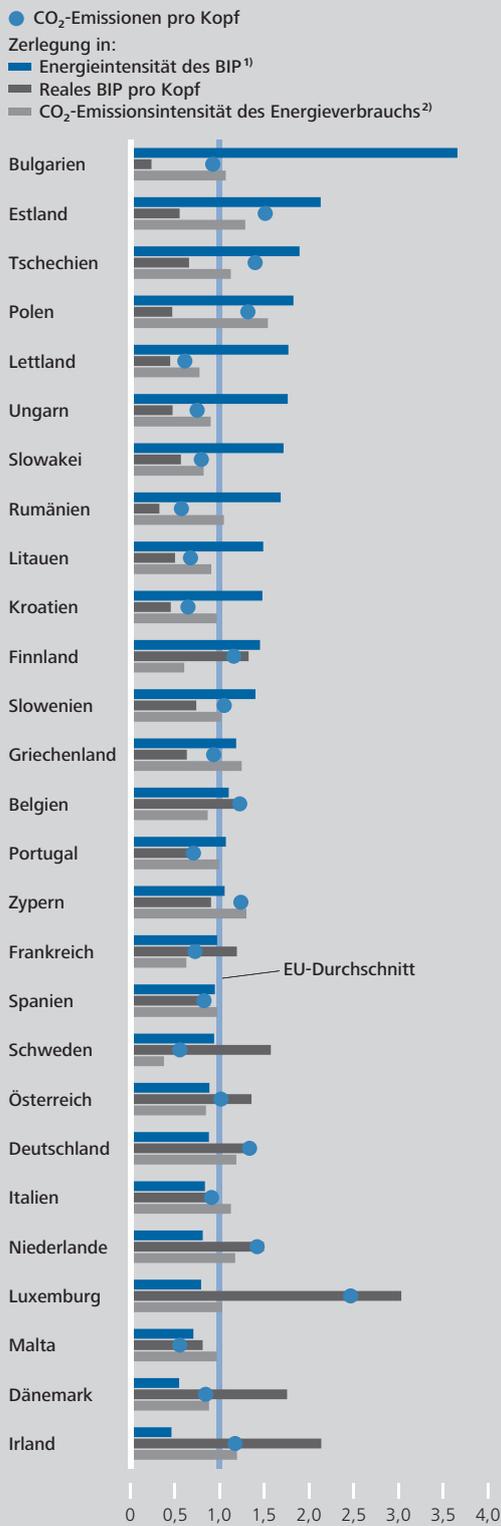
Verschärfte CO₂-Bepreisung dürfte Verbraucherpreis-anstieg zumindest temporär verstärken

⁸⁰ Entsprechend unterschiedlich fallen auch die Ergebnisse quantitativer Studien aus. Im Rahmen seiner Modellanalysen kommt der Weltklimarat zu dem Schluss, dass eine wahrscheinliche Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2°C gegenüber vorindustriellem Niveau Konsumreduktionen in Höhe von 2% bis 6% des globalen BIP im Jahr 2050 nach sich ziehen würde. Demgegenüber geht etwa die OECD im Idealfall von einem positiven Wachstumsimpuls einer solchen Transformation aus. Vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) sowie OECD (2017a).

⁸¹ Hierbei spielt etwa eine Rolle, inwieweit die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung für produktive Investitionen verwendet werden.

Zerlegung der CO₂-Emissionen pro Kopf für die EU-Länder im Jahr 2019

in Relation zum EU-Durchschnitt



Quelle: Eurostat und eigene Berechnungen. **1** Verhältnis von Primärenergieverbrauch und BIP. Der Primärenergieverbrauch umfasst den Bruttoinlandsverbrauch ohne Berücksichtigung der nicht energetischen Nutzung von Energieträgern. **2** Verhältnis von durch Energieverbrauch verursachten CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch.

Deutsche Bundesbank

bei der annahmegemäß merklich später, aber dafür umso stärker interveniert wird.⁸²⁾

Dabei ist ins Bild zu nehmen, dass klimapolitische Maßnahmen verschiedene Wirtschaftssektoren unterschiedlich stark belasten. Dies lässt sich anhand von Simulationen mit dem Umwelt-DSGE-Modell EMuSe veranschaulichen (siehe hierzu die Ausführungen auf S. 51 ff.). Gerade im Fall einer ungeordneten Transition zeigt sich, dass es zu Risikokonzentrationen in einzelnen Wirtschaftszweigen kommt. Dies kann zum Aufbau systemischer Risiken im Finanzsystem beitragen, wodurch möglicherweise die Finanzstabilität und damit auch die Erfüllung des geldpolitischen Mandats gefährdet werden.⁸³⁾

Klimapolitik mit unterschiedlicher ...

Zudem ist wahrscheinlich, dass es infolge der Klimapolitik zu dauerhaften strukturellen Veränderungen kommt, wobei einige Wirtschaftszweige an Bedeutung gewinnen, andere an Gewicht verlieren. Dies hat möglicherweise auch Folgen für das Wirtschaftswachstum und die Preisentwicklung sowie indirekt für die geldpolitische Transmission. In welchem Maße dies der Fall sein wird, hängt von Branchencharakteristika wie der Emissions- und Energieintensität oder der Sensitivität der Nachfrage gegenüber Preisänderungen ab. Auch das Ausmaß der Friktionen auf Produkt- und Finanzmärkten dürfte eine Rolle spielen. Analyseinstrumente wie etwa das Modell EMuSe können in diesem Zusammenhang hilfreiche Erkenntnisse liefern.

... und unter Umständen dauerhafter Wirkung auf einzelne Branchen

⁸² Simulationen auf Basis des Weltwirtschaftsmodells NiGEM des National Institute of Economic and Social Research deuten hierbei an, dass es im Euroraum bereits im Fall einer geordneten Transition vorübergehend zu deutlichen Preissteigerungen kommen könnte. So würde gemäß Modellprojektion die Teuerungsrate auf der Verbraucherstufe im Durchschnitt der Jahre 2025 bis 2035 um etwa 1 Prozentpunkt über der Basislinie liegen, bevor sie sich im Verlauf der nachfolgenden Dekade dieser wieder annähert. Die Projektionen basieren hierbei u. a. auf einem durchschnittlichen CO₂-Preis, der sich als das arithmetische Mittel der CO₂-Preispfade aus drei im Rahmen der NGFS-Klimaszenarien eingesetzten IAM ergeben (vgl.: Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021a)). Für weitere Informationen zu NiGEM siehe: <https://nimodel.niesr.ac.uk>.

⁸³ Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021b).

Zur Bedeutung sektoraler Verflechtungen bei der Analyse transitorischer Risiken: das multisektorale Umwelt-DSGE-Modell EMuSe

Klimapolitische Maßnahmen können einzelne Wirtschaftszweige besonders stark treffen.¹⁾ Dies kann weitreichende Folgen für die Finanzstabilität, die geldpolitische Transmission und die gesamtwirtschaftliche Dynamik haben. Deshalb ist es wichtig, bei der Analyse klimapolitischer Maßnahmen die sektoralen Entwicklungen und deren gesamtwirtschaftliche Implikationen im Auge zu behalten. Dies ist mit der in dynamischen makroökonomischen Modellen üblicherweise hohen Aggregation von Wirtschaftszweigen nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Traditionelle Mehrsektoren-Modelle sind hingegen in der Regel statischer Natur und konzentrieren sich auf langfristige Gleichgewichte. Mit ihnen können wichtige Anpassungsvorgänge nicht adäquat analysiert werden. Deshalb wurde in der Bundesbank ein dynamisches stochastisches allgemeines Gleichgewichtsmodell (DSGE-Modell) mit multisektoraler Produktionsstruktur entwickelt.²⁾ Dieses Modell enthält neben ökonomischen auch ökologische Schlüsselgrößen wie etwa CO₂-Emissionen. Zudem können internationale Zusammenhänge zwischen bis zu drei Ländern beziehungsweise Regionen analysiert werden. Dabei kann das Modell flexibel an wechselnde Fragestellungen angepasst werden.³⁾ Das Modell trägt den Namen EMuSe (Environmental Multi-Sector).⁴⁾

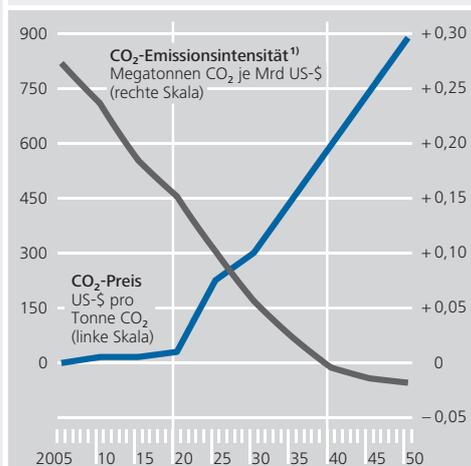
Das Modell EMuSe erlaubt, die Wechselwirkungen von Wirtschaft und Klimapolitik vergleichsweise detailliert zu untersuchen. Von besonderer Bedeutung ist dafür, dass im EMuSe-Modell die Unternehmen neben den Faktoren Kapital und Arbeit auch Vorleistungen für die Produktion einsetzen. Diese können sie aus allen Branchen beziehen, wobei die verschiedenen Vorleistungen nur begrenzt substituierbar sind. Die Zusammensetzung der Vorleistungsgüterbündel variiert je nach Wirtschaftszweig.

Die Rolle von Produktionsverflechtungen lässt sich durch den Vergleich von Simulationsergebnissen des Mehrsektoren-Modells mit einer Variante ohne sektorale Untergliederung und entsprechende Vernetzung ver-

1 Siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 50.
 2 Charakteristisch für diese Modellklasse ist der Ansatz, gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge und Entwicklungen auf Grundlage individuell optimierender, (typischerweise) rational handelnder Wirtschaftsakteure zu erklären. Für eine detaillierte Darstellung dieses Modellrahmens vgl. u. a.: Christiano et al. (2018).
 3 Bspw. können flexible Preise oder auch Preisrigiditäten unterstellt werden.
 4 Eine detaillierte Beschreibung des Modells EMuSe findet sich in: Hinterlang et al. (2021).

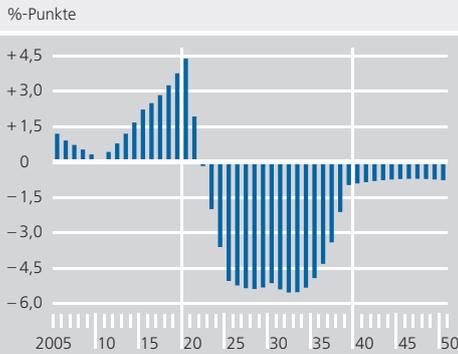
Projektionen jährlicher CO₂-Preise und CO₂-Emissionsintensitäten in der EU bei geordneter Transition¹⁾

in Preisen von 2010



Quelle: NGFS und eigene Berechnungen. * Die Projektionen von CO₂-Preis und CO₂-Emissionsintensität wurden mittels des REMIND-Modells des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung für die EU zusammen mit dem Vereinigten Königreich erzeugt. Bei geordneter Transition nimmt der Interventionsgrad der Klimapolitik annahmegemäß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. ¹ Verhältnis von CO₂-Emissionen und gesamtwirtschaftlicher Aktivität.
 Deutsche Bundesbank

Differenz der realen Bruttowertschöpfung bei geordneter klimapolitischer Transition und unterschiedlicher sektoraler Disaggregation⁵⁾



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf dem DSGE-Modell EMuSe und Projektionen des NGFS. * Das Modell ist für die Europäische Union zusammen mit dem Vereinigten Königreich kalibriert. Berechnet als Abweichung einer Zehn-Sektor-Variante des Modells von der Ein-Sektor-Version. Der gesamte Simulationszeitraum reicht von 2005 bis 2100 und bildet die Abweichung von einer Situation ohne CO₂-Preis und mit konstanten CO₂-Emissionsintensitäten im Jahr 2005 ab. Der für die Simulation angenommene Verlauf der CO₂-Emissionsintensitäten und des CO₂-Preises orientiert sich an Projektionen des NGFS für ein geordnetes Transitionsszenario laut REMIND-Modell. Bei geordneter Transition nimmt der Interventionsgrad der Klimapolitik annahmegemäß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen.

Deutsche Bundesbank

deutlichen.⁵⁾ Als Beispiel wird hier die Auswirkung einer CO₂-Bepreisung auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und den CO₂-Ausstoß für die EU und das Vereinigte Königreich analysiert. Dabei wird zur Vereinfachung von außenwirtschaftlichen Verflechtungen abgesehen und die EU gemeinsam mit dem Vereinigten Königreich als eine Region dargestellt. Der unterstellte Pfad für den CO₂-Preis orientiert sich an den Projektionen des Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) für eine geordnete klimapolitische Transition. Hier nimmt der Interventionsgrad der Klimapolitik annahmegemäß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber dem vorindustriellen Wert auf 1,5 °C zu begrenzen.⁶⁾ Der CO₂-Preis steigt dabei insbesondere ab dem Jahr 2020 kräftig an.

Die aus der CO₂-Bepreisung resultierenden Kosten für die Unternehmen eines Sektors hängen vom CO₂-Preis, der sektorspezifischen CO₂-Emissionsintensität und dem Produktionsniveau ab. In der Analyse wird angenommen, dass der für den Simulationszeitraum von 2005 bis 2100 vorgegebene Pfad des Emissionspreises und der sektoralen Emissionsintensität allen Modellakteuren bekannt ist.⁷⁾ Veränderungen der Emissionsintensität über die Zeit können hier als Approximation der Wirkung exogenen umweltfreundlichen technischen Fortschritts verstanden werden.⁸⁾ In der Mehrsektoren-Variante des Modells wird vereinfachend unterstellt, dass sich die Emissionsintensität in allen Sektoren in gleichem Ausmaß verändert.

Zwar ergeben sich unter diesen Annahmen in beiden Modellversionen sehr ähnliche Entwicklungen des CO₂-Ausstoßes. Jedoch zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Ursächlich sind hierfür die durch klimapolitische Maßnahmen angestoßenen Verschiebungen der Produktionsstruktur und deren Folgewirkungen, die in der Einsektor-Variante ausgeblendet werden. Dabei spielen die Möglichkeiten, Güter einzelner Branchen durch die Produkte anderer Wirt-

⁵ Beide Modelle sind parametrisiert, um die EU unter Einbeziehung des Vereinigten Königreichs abzubilden. Das aggregierte Emissionsniveau und die gesamtwirtschaftliche Aktivität sind zu Beginn der Simulation in beiden Versionen des Modells identisch. Die Produktionsstruktur des multisektoralen Modells besteht aus zehn Sektoren.

⁶ Die NGFS-Projektionen für den CO₂-Preis und die CO₂-Emissionsintensität wurden mit dem REMIND-MAgPIE-Modell des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung erzeugt. Vgl.: Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2020).

⁷ Auch der Pfad der Emissionsintensität wird den NGFS-Projektionen entnommen. Die Verläufe von CO₂-Preis und sektoralen Emissionsintensitäten gehen somit exogen in das EMuSe-Modell ein. Die gesamtwirtschaftliche Emissionsintensität (das Verhältnis von aggregierten Emissionen und gesamtwirtschaftlicher Aktivität) ist hingegen endogen.

⁸ Vgl. hierzu auch: Csereklyei et al. (2016).

schaftszweige im Produktionsprozess zu ersetzen, sowie Komplementaritätsbeziehungen eine zentrale Rolle. Beispielsweise ist der Energiesektor durch die CO₂-Bepreisung besonders stark betroffen. Folglich steigt der Energiepreis stärker an als viele andere Preise. Energie kann aber nur begrenzt durch andere Güter ersetzt werden, da es Komplementaritäten zwischen Energie und anderen Vorleistungsgütern gibt. Deshalb sinkt nach einem starken Energiepreisanstieg die Nachfrage nach allen Vorleistungen, und die Produktion wird zurückgefahren.

Der Simulation zufolge konnten in der Mehrsektoren-Variante bei den zunächst noch niedrigen CO₂-Preisen entlastende Substitutionsspielräume genutzt werden. Ab etwa 2020 dominieren infolge des deutlichen Anstiegs des CO₂-Preises jedoch Komplementaritätsbeziehungen, welche die Wirtschaft belasten.⁹⁾

Diese Simulationsergebnisse zeigen, dass die Berücksichtigung der sektoralen Gliederung einer Volkswirtschaft nicht nur mit Blick auf Strukturanalysen und Finanzstabilitätsbetrachtungen, sondern auch für die gesamtwirtschaftliche Analyse bedeutsam sein kann.¹⁰⁾ Dies gilt insbesondere im Fall von größeren sektoralen Schocks, wie etwa beim Eintritt von physischen Klimarisiken oder bei überraschenden klimapolitischen Maßnahmen.

⁹ Obgleich der Detailgrad vergleichsweise hoch ist, werden in der hier verwendeten Version von EMuSe teilweise erhebliche Vereinfachungen vorgenommen. Hierzu zählt etwa die Annahme homogener, im Zeitverlauf konstanter Haushaltspräferenzen, die Vernachlässigung endogenen technischen Fortschritts sowie die Unterstellung einer geschlossenen Volkswirtschaft. Entsprechend vorsichtig sind die Ergebnisse zu interpretieren.

¹⁰ Vgl. hierzu auch: Baqaee und Farhi (2020).

Regional unterschiedliche Auswirkungen von Klimapolitik

Die Wirkungsintensität einer einheitlichen Klimapolitik kann sich auch regional unterscheiden. Eine Zerlegung der CO₂-Emissionen pro Kopf in der Europäischen Union (EU) zeigt beispielsweise erhebliche Unterschiede im Hinblick auf die Energieintensität des Bruttoinlandsprodukts (BIP) sowie die CO₂-Emissionsintensität der Energieerzeugung zwischen den Mitgliedstaaten auf.⁸⁴⁾ So fällt etwa die Energieintensität des BIP in den mittel- und osteuropäischen EU-Mitgliedstaaten im Schnitt deutlich höher aus als im Rest der EU.

Einfluss internationaler Klimapolitik

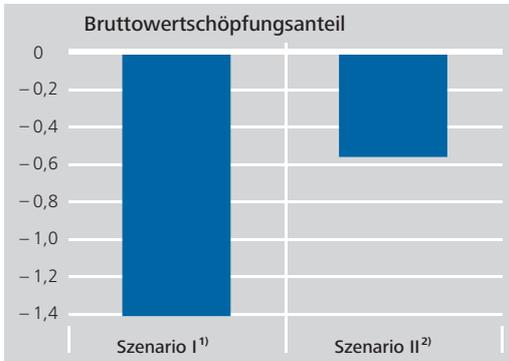
Nicht nur die Klimapolitik im Inland, sondern auch die Klimapolitik im Ausland dürfte einen erheblichen Einfluss auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung haben. Beispielsweise könnten bei einseitigen klimapolitischen Maßnahmen emissions- und energieintensive Produkte vermehrt aus dem Ausland bezogen werden. Der Branchenmix im Inland und im Ausland würde sich ändern, mit Folgen für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und die Effizienz

klimapolitischer Maßnahmen. Dies zeigen auch Simulationen mit EMuSe, bei denen für die EU eine Emissionsbepreisung vorgegeben wird, bei gleichzeitiger klimapolitischer Inaktivität im Rest der Welt. In der Folge würde sich der Wertschöpfungsanteil des Verarbeitenden Gewerbes in der EU spürbar verringern, auch weil emissionsintensive Produkte dieser Branche nun ver-

⁸⁴ Formal ist die Zerlegung gegeben durch $CO2_i/POP_i = BIP_i/POP_i * Energie_i/BIP_i * CO2_i/Energie_i$, wobei $\tilde{X}_i = X_i/X_{EU}$ das Verhältnis eines Faktors in einem Land i zum Mittel in der EU angibt. Die Zerlegung ermöglicht es, die jährlichen CO₂-Emissionen pro Kopf ($CO2_i/POP_i$) in den Mitgliedstaaten der EU in verschiedene Einflussfaktoren aufzuspalten. Hierzu zählen die Gesamtproduktion, gemessen als BIP pro Kopf (BIP_i/POP_i), die Energieintensität des BIP ($Energie_i/BIP_i$), welche durch das Verhältnis des Primärenergieverbrauchs und BIP gegeben ist, sowie die CO₂-Emissionsintensität des Energieverbrauchs ($CO2_i/Energie_i$), die die Relation von CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch angibt. Der Primärenergieverbrauch gibt den Bruttoinlandsverbrauch ohne Berücksichtigung der nicht energetischen Nutzung von Energieträgern an, die CO₂-Emissionen sind jene, die aus der Verwendung von Energie resultieren. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Faktoren normalisiert, indem sie in Relation zum EU-weiten Durchschnitt gesetzt werden. Vgl. hierzu auch: Kaya und Yokoburi (1997).

Auswirkungen bei einseitiger Einführung eines CO₂-Preises in der EU auf das Verarbeitende Gewerbe^{*)}

Veränderung 2050 gegenüber 2019 in %-Punkten



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf einer Zwei-Regionen-Version des DSGE-Modells EMuSe und Projektionen des NGFS. * Das Modell ist für die Europäische Union (mit dem Vereinigten Königreich) sowie für den Rest der Welt kalibriert. Der Simulationszeitraum reicht von 2005 bis 2100. Im Rest der Welt wird kein CO₂-Preis erhoben, und die sektorale CO₂-Emissionsproduktivität, die das Verhältnis von Wirtschaftsleistung und Emissionen misst, ist konstant. Der für die Simulation angenommene Verlauf der CO₂-Emissionsproduktivität und des CO₂-Preises in der EU orientiert sich an Projektionen des NGFS für ein geordnetes Transitionsszenario. Bei geordneter Transition nimmt der Interventionsgrad der Klimapolitik annahmegoß bis Mitte des Jahrhunderts kontinuierlich zu, mit dem Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. **1** Konstante sektorale Emissionsproduktivität in der EU. **2** Steigende sektorale Emissionsproduktivität in der EU.

Deutsche Bundesbank

mehrt aus dem Ausland bezogen werden. Damit würden Emissionen verlagert. Dem könnte beispielsweise eine Ausgleichsabgabe in Form eines Klimazolls oder aber die Entwicklung und Anwendung neuer klimafreundlicher Technologien im Inland, die die Emissionsproduktivität steigern, entgegenwirken.⁸⁵⁾

Klimapolitische Maßnahmen können also erhebliche gesamtwirtschaftliche Auswirkungen haben, die im Detail von ihrer genauen Ausgestaltung, der Anpassungsfähigkeit der Wirtschaft sowie den äußeren Rahmenbedingungen abhängen. All dies haben die Notenbanken bei ihren Analysen zu beachten. Dafür bedarf es geeigneter Daten und geeigneter Analyseinstrumente.⁸⁶⁾

Ausblick

Die Geldpolitik des Eurosystems ist darauf ausgerichtet, Preisstabilität zu gewährleisten und

zur Stabilität des Finanzsystems beizutragen. Dafür ist es wichtig, die kurz- und langfristige Entwicklung der Wirtschaft angemessen einzuschätzen. Der globale Klimawandel und der Klimaschutz stellen in diesem Zusammenhang neue Herausforderungen dar. Deshalb ist es notwendig, das geldpolitische Analyseinstrumentarium zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Dies gilt auch für die gesamtwirtschaftliche Analyse, welche für die geldpolitische Entscheidungsfindung von zentraler Bedeutung ist. Hier dürften neben den Auswirkungen von Extremwetterereignissen oder des allmählichen Temperaturanstiegs in näherer Zukunft insbesondere die makroökonomischen Folgen der Klimapolitik wichtig werden. Klimapolitische Maßnahmen können weitgehende strukturelle Anpassungsprozesse auslösen, die auch Grenzen überschreiten. Um deren gesamtwirtschaftliche Implikationen angemessen erfassen zu können, bedarf es Modelle mit hinreichend regionaler und sektoraler Ausdifferenzierung. Mit EMuSe wird hier ein Mehrsektoren-Umwelt-DSGE-Modell vorgestellt, welches flexibel an unterschiedliche Anforderungen angepasst und mit dem eine Reihe von Fragestellungen auch im internationalen Zusammenhang untersucht werden kann.

Klima- und Wirtschaftspolitik können wesentlich dazu beitragen, Risiken und Unsicherheiten zu verringern, insbesondere durch Langfristorientierung, Konsistenz und Effizienz. Aber auch der Abbau struktureller Rigiditäten kann die Anpassung hin zu einer klimaneutralen Wirtschaftsweise erleichtern. Beides würde auch eine stabilitätsorientierte Geldpolitik unterstützen. Das Eurosystem trägt zum Gelingen des Klimaschutzes bei, indem es in Erfüllung seines geldpolitischen Mandats eine wichtige Rahmenbedingung für den Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft schafft. Denn Preisstabilität ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Preissignale ihre Wirkung entfalten können.

Auswirkungen von Klimawandel und Klimaschutzpolitik dürften Geldpolitik in Zukunft stärker fordern

Erfüllung des geldpolitischen Mandats als wichtige Rahmenbedingung für den Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft

Geldpolitik sollte klimapolitische Prozesse aufmerksam beobachten

⁸⁵ Die Emissionsproduktivität misst das Verhältnis von Wirtschaftsleistung und Emissionen. Vgl. auch: OECD (2017b).

⁸⁶ Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021a, 2021b).

■ Literaturverzeichnis

Acevedo, S., M. Mrkaic, N. Novta, E. Pugacheva und P. Topalova (2020), The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 65, Nr. 103207.

Andersson, M., C. Baccianti und J. Morgan (2020), Climate Change and the Macro Economy, *ECB Occasional Paper Series*, Nr. 243.

Anttila-Hughes, J. und S. M. Hsiang (2013), Destruction, Disinvestment, and Death: Economic and Human Losses Following Environmental Disaster, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2220501>.

Auffhammer, M., S. M. Hsiang, W. Schlenker und A. Sobel (2013), Using Weather Data and Climate Model Output in Economic Analyses of Climate Change, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 7 (2), S. 181–198.

Baqaei, D. und E. Farhi (2020), Nonlinear Production Networks with an Application to the Covid-19 Crisis, *NBER Working Papers*, Nr. 27281.

Batten, S. (2018), Climate Change and the Macro-Economy: A Critical Review, *Bank of England Working Paper*, Nr. 706.

Bauer, M. D. und G. D. Rudebusch (2021), The Rising Cost of Climate Change: Evidence from the Bond Market, *Review of Economics and Statistics*, im Erscheinen.

Bereiter, B., S. Eggleston, J. Schmitt, C. Nehrbass-Ahles, T. F. Stocker, H. Fischer, S. Kipfstuhl und J. Chappellaz (2015), Revision of the EPICA Dome C CO₂ Record from 800 to 600 kyr before Present, *Geophysical Research Letters*, Vol. 42 (2), S. 542–549.

Bernstein, A., M. T. Gustafson und R. Lewis (2019), Disaster on the Horizon: The Price Effect of Sea Level Rise, *Journal of Financial Economics*, Vol. 134 (2), S. 253–272.

Black, R., S. R. G. Bennett, S. M. Thomas und J. R. Beddington (2011), Migration as Adaptation, *Nature*, Vol. 478 (7370), S. 447–449.

Bloesch, J. und F. Gourio (2015), The Effect of Winter Weather on US Economic Activity, *Economic Perspectives*, Vol. 39 (1).

Böhnisch, A., M. Mittermeier, M. Leduc und R. Ludwig (2021), Hot Spots and Climate Trends of Meteorological Droughts in Europe – Assessing the Percent of Normal Index in a Single-Model Initial-Condition Large Ensemble, *Frontiers in Water*, Vol. 3, Nr. 716621.

Botzen, W. J. W., O. Deschênes und M. Sanders (2019), The Economic Impacts of Natural Disasters: A Review of Models and Empirical Studies, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 13 (2), S. 167–188.

Burke, M. und K. Emerick (2016), Adaption to Climate Change: Evidence from the US Agriculture, *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 8 (3), S. 106–140.

Burke, M., S. M. Hsiang und E. Miguel (2015), Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production, *Nature*, Vol. 527 (7577), S. 235–239.

Bushnell, J. B., H. Chong und E. T. Mansur (2013), Profiting from Regulation: Evidence from the European Carbon Market, *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 5 (4), S. 78–106.

Calel, R. und A. Dechezleprêtre (2016), Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 98 (1), S. 173–191.

Cameron, C. A. und P. K. Trivedi (2005), *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press.

Cavallo, E. und I. Noy (2011), Natural Disasters and the Economy – A Survey, *International Review of Environmental and Resource Economics*, Vol. 5 (1), S. 63–102.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2020), *Human Cost of Disasters (2000–2019)*, CRED Crunch, Nr. 61.

Christiano, L. J., M. S. Eichenbaum und M. Trabandt (2018), On DSGE Models, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 32 (3), S. 113–140.

Colacito, R., B. Hoffmann und T. Phan (2018), Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States, *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 51 (2–3), S. 313–368.

Csereklyei, Z., M. d. M. Rubio-Varas und D. I. Stern (2016), Energy and Economic Growth: The Stylized Facts, *The Energy Journal*, Vol. 37 (2), S. 223–255.

Dafermos, Y., A. Kriwoluzky, M. Vargas, U. Volz und J. Wittich (2021), *The Price of Hesitation: How the Climate Crisis Threatens Price Stability and What the ECB Must Do About It*, Hamburg, Berlin and London: Greenpeace Germany; German Institute for Economic Research; and SOAS, University of London.

Dell, M., B. F. Jones und B. A. Olken (2014), What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature, *Journal of Economic Literature*, Vol. 52 (3), S. 740–798.

Dell, M., B. F. Jones und B. A. Olken (2012), Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century, *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 4 (3), S. 66–95.

Deryugina, T. (2017), The Fiscal Cost of Hurricanes: Disaster Aid versus Social Insurance, *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 9 (3), S. 168–198.

Deryugina, T. und S. M. Hsiang (2014), Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States, NBER Working Paper, Nr. 20750.

Deschênes, O., K. Meng, P. Zhang und J. Zhang (2018), Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation: Evidence from Half a Million Chinese Manufacturing Plants, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 88, S. 1–17.

Deschênes, O. und M. Greenstone (2007), The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather, *American Economic Review*, Vol. 97 (1), S. 354–385.

Deutsche Bundesbank (2021a), Herausforderungen für die Geldpolitik im Zuge des Klimawandels, *Monatsbericht*, September 2021, S. 51 ff.

Deutsche Bundesbank (2021b), Klimapolitik und Finanzstabilität, *Finanzstabilitätsbericht 2021*, S. 83–110.

Deutsche Bundesbank (2021c), Die geldpolitische Strategie des Eurosystems, *Monatsbericht*, September 2021, S. 17–64.

Deutsche Bundesbank (2018), Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Unsicherheit, *Monatsbericht*, Oktober 2018, S. 49–65.

Deutsche Bundesbank (2017a), Zur Entwicklung des natürlichen Zinses, *Monatsbericht*, Oktober 2017, S. 29–44.

Deutsche Bundesbank (2017b), Zum Einfluss von Wirbelstürmen auf die wirtschaftliche Aktivität in den Vereinigten Staaten, *Monatsbericht*, November 2017, S. 16–17.

Deutsche Bundesbank (2014), Wettereffekte auf das Bruttoinlandsprodukt im Winterhalbjahr 2013/2014, *Monatsbericht*, Mai 2014, S. 58–59.

Dietz, S. und N. Stern (2015), Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions, *The Economic Journal*, Vol. 125 (583), S. 574–620.

Dolan, F., J. Lamontagne, R. Link, M. Hejazi, P. Reed und J. Edmonds (2021), Evaluating the Economic Impact of Water Scarcity in a Changing World, *Nature Communications*, Vol. 12 (1915).

Drudi, F., E. Moench, C. Holthausen, P.-F. Weber, G. Ferrucci, R. Setzer, B. Adao, S. Alogoskoufis, M. Andersson, J. Aubrechtova, A. Avgousti, F. Barbiero, L. Boneva, A. Breitenfellner, G. Bua, M. Bun, F. Caprioli, M. Ciccarelli, M. Darracq Pariès, ... und G. Yebes Gomez (2021), Climate Change and Monetary Policy in the Euro Area, *ECB Occasional Paper Series*, Nr. 271.

Etzel, T., A. Falter, I. Frankovic, C. Gross, A. Kablau, P. Lauscher, J. Ohls, D. Schober, L. Strobel und H. Wilke (2021), Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors, *Bundesbank Technical Paper*, Nr. 13/2021.

Europäische Kommission (2021), EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS), https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_de?2nd-language=pl, abgerufen am 23. November 2021.

Europäische Kommission (2019), Der europäische Grüne Deal, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Dokument 52019DC0640.

Europäische Kommission (2018), Climate Impacts in Europe: Final Report of the JRC PESETA III Project, koordiniert von J. C. Ciscar, L. Feyen, D. Ibarreta und A. Soria, JRC Science for Policy Report, EUR 29427 EN.

Europäische Zentralbank (2021), EZB präsentiert Maßnahmenplan zur Berücksichtigung von Klimaschutzaspekten in ihrer geldpolitischen Strategie, Pressemitteilung vom 8. Juli 2021, https://www.ecb.europa.eu/press/pr/date/2021/html/ecb.pr210708_1~f104919225.de.html.

Fankhauser, S. und R. S. J. Tol (2005), On Climate Change and Economic Growth, Resource and Energy Economics, Vol. 27, S. 1–17.

Fankhauser, S., J. B. Smith und R. S. J. Tol (1999), Weathering Climate Change: Some Simple Rules to Guide Adaptation Decisions, Ecological Economics, Vol. 30, S. 67–78.

Fisher, A. C., W. M. Hanemann, M. Roberts und W. Schlenker (2012), The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Comment, American Economic Review, Vol. 102 (7), S. 3749–3760.

Gallic, E. und G. Vermandel (2020), Weather Shocks, European Economic Review, Vol. 124, Nr. 103409.

Ghadge, A., H. Wurtmann und S. Seuring (2020), Managing Climate Change Risks in Global Supply Chains: A Review and Research Agenda, International Journal of Production Research, Vol. 58 (1), S. 44–64.

Golosov, M., J. Hassler, P. Krusell und A. Tsyvinski (2014), Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium, Econometrica, Vol. 82 (1), S. 41–88.

Graff Zivin, J. und M. J. Neidell (2014), Temperature and the Allocation of Time: Implications for Climate Change, Journal of Labor Economics, Vol. 32. (1), S. 1–26.

Hassler, J., P. Krusell und A. A. Smith, Environmental Macroeconomics, in: J. B. Taylor und H. Uhlig (Hrsg., 2016), Handbook of Macroeconomics, Vol. 2, S. 1893–2008.

Heutel, G. (2012), How Should Environmental Policy Respond to Business Cycles? Optimal Policy Under Persistent Productivity Shocks, Review of Economic Dynamics, Vol. 15 (2), S. 244–264.

Hinterlang, N., A. Martin, O. Röhe, N. Stähler und J. Strobel (2021), Using Energy and Emissions Taxation to Finance Labor Tax Reductions in a Multi-Sector Economy: An Assessment with EMuSe, Diskussionspapier der Deutschen Bundesbank, Nr. 50/2021.

Holtermann, L. und M. Rische (2020), The Subnational Effect of Temperature on Economic Production: A Disaggregated Analysis in European Regions, MPRA Paper, Nr. 104606.

Howard, P. und T. Sterner (2017), Few and Not So Far Between: A Meta-Analysis of Climate Damage Estimates, Environmental & Resource Economics, Vol. 68 (1), S. 197–225.

Hsiang, S. M. und R. E. Kopp (2018), An Economist's Guide to Climate Change Science, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 32 (4), S. 3–32.

Hsiang, S. M., R. Kopp, A. Jina, J. Rising, M. Delgado, S. Mohan, D.J. Rasmussen, R. Muir-Wood, P. Wilson, M. Oppenheimer, K. Larsen und T. Houser (2017), Estimating Economic Damage from Climate Change in the United States, *Science*, Vol. 356 (6345), S. 1362–1369.

Hsiang, S. M. und D. Narita (2012), Adaption to Cyclone Risk: Evidence from the Global Cross-Section, *Climate Change Economics*, Vol. 3 (2), S. 1–28.

Hsiang, S. M. (2010), Temperatures and Tropical Cyclones Strongly Affect Economic Production in the Caribbean and Central America, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 107 (35), S. 1367–1372.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, August 2021.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), *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*, Oktober 2018.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014*, Oktober 2014.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2012), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, März 2012.

Internationaler Währungsfonds (2020), *World Economic Outlook, April 2020: The Great Lockdown*, International Monetary Fund World Economic Outlook, Nr. 1.

Jahn, M. (2015), *Economics of Extreme Weather Events: Terminology and Regional Impact Models*, *Weather and Climate Extremes*, Vol. 10 (B), S. 29–39.

Känzig, D. R. (2021), *The Unequal Economic Consequences of Carbon Pricing*, SSRN Working Paper, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3786030.

Kahn, M.E. (2005), The Death Toll from Natural Disasters: The Role of Income, Geography and Institutions, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 87 (2), S. 271–284.

Kalkuhl, M. und L. Wenz (2020), The Impact of Climate Conditions on Economic Production, Evidence from a Global Panel of Regions, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 103, Nr. 102360.

Kaya, Y. und K. Yokoburi (1997), *Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability*, Tokyo: United Nations University Press.

Keen, B. D. und M. R. Pakko (2011), Monetary Policy and Natural Disasters in a DSGE Model, *Southern Economic Journal*, Vol. 77 (4), S. 973–990.

Kuhla, K., S. N. Willner, C. Otto und T. Geiger (2021), Ripple Resonance Amplifies Economic Welfare Loss from Weather Extremes, *Environmental Research Letters*, Vol. 16 (11), Nr. 114010.

Lesk, C., P. Rowhani und N. Ramankutty (2016), Influence of Extreme Weather Disasters on Global Crop Production, *Nature*, Vol. 529 (7584), S. 84–87.

Letta, M. und R. S. J. Tol (2019), Weather, Climate and Total Factor Productivity, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 73 (1), S. 283–305.

Missirian, A. und W. Schlenker (2017), Asylum Applications Respond to Temperature Fluctuations, *Science*, Vol. 358 (6370), S. 1610–1614.

Moran, D., R. Wood, E. Hertwich, K. Mattson, J. F. Rodriguez, K. Schanes und J. Barrett (2020), Quantifying the Potential for Consumer-Oriented Policy to Reduce European and Foreign Carbon Emissions, *Climate Policy*, Vol. 20 (S1), S. 28–38.

Moyer, E. J., M. D. Woolley, N. J. Matteson, M. J. Glotter und D. A. Weisbach (2014), Climate Impacts on Economic Growth as Drivers of Uncertainty in the Social Cost of Carbon, *The Journal of Legal Studies*, Vol. 43 (2), S. 401–425.

Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021a), Scenarios in Action – A Progress Report on Global Supervisory and Central Bank Climate Scenario Exercises, Technical Document, Oktober 2021.

Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021b), NGFS Climate Scenarios for Central Banks and Supervisors, Juni 2021.

Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2021c), NGFS Climate Scenarios Database, Technical Documentation V2.1, Juni 2021.

Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (2020), NGFS Climate Scenarios Database, Technical Documentation, Juni 2020.

Nordhaus, W. (2017), Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies, NBER Working Paper, Nr. 22933.

Nordhaus, W., Integrated Economic and Climate Modeling, in: P. B. Dixon und D. W. Jorgenson (Hrsg., 2013), *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Vol. 1, S. 1069–1131.

North, G. R., Climate and Climate Change: Greenhouse Effect, in: G. R. North, J. Pyle und F. Zhang (Hrsg., 2015), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 2. Auflage, S. 80–86.

OECD (2017a), *Investing in Climate, Investing in Growth*, OECD Publishing, Paris.

OECD (2017b), *Green Growth Indicators 2017*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris.

OECD (2011), *Towards Green Growth*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris.

Oppenheimer, M. (2013), *Climate Change Impacts: Accounting for the Human Response*, *Climatic Change*, Vol. 117 (3), S. 439–449.

Pindyck, R.S. (2013), *Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?*, *Journal of Economic Literature*, Vol. 51 (3), S. 860–872.

Piontek, F., M. Kalkuhl, E. Kriegler, A. Schultes, M. Leimbach, O. Edenhofer und N. Bauer (2019), *Economic Growth Effects of Alternative Climate Change Impact Channels in Economic Modeling*, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 73 (4), S. 1357–1385.

Reisch, L.A., C.R. Sunstein, M.A. Andor, F.C. Doebbe, J. Meier und N.R. Haddaway (2021), *Mitigating Climate Change via Food Consumption and Food Waste: A Systematic Map of Behavioral Interventions*, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, Nr. 123717.

Ryan, S.P. (2012), *The Costs of Environmental Regulation in a Concentrated Industry*, *Econometrica*, Vol. 80 (3), S. 1019–1061.

Schlenker, W. und M.J. Roberts (2009), *Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106 (37), S. 15594–15598.

Seppänen, O., W.J. Fisk und D. Faulkner (2005), *Control of Temperature for Health and Productivity in Offices*, *ASHRAE Transactions*, Vol. 111, S. 680–686.

Somanathan, E., R. Somanathan, A. Sudarshan und M. Tewari (2021), *The Impact of Temperature on Productivity and Labor Supply: Evidence from Indian Manufacturing*, *Journal of Political Economy*, Vol. 129 (6), S. 1797–1827.

Stern, N. (2013), *The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models*, *Journal of Economic Literature*, Vol. 51 (3), S. 838–859.

Strobl, E. (2011), *The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from US Coastal Counties*, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 93 (2), S. 575–589.

Tol, R.S.J. (2018), *The Economic Impacts of Climate Change*, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 12 (1), S. 4–25.

Vereinte Nationen (2015), *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties*, Paris.

Vicedo-Cabrera, A.M., N. Scovronick, F. Sera, D. Royé, R. Schneider, A. Tobias, C. Astrom, Y. Guo, Y. Honda, D.M. Hondula, R. Abrutzky, S. Tong, M. de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, P.H. Nascimento Saldiva, E. Lavigne, P. Matus Correa, N. Valdes Ortega, H. Kan, S. Osorio, ... und A. Gasparri (2021), *The Burden of Heat-Related Mortality Attributable to Recent Human-Induced Climate Change*, *Nature Climate Change*, Vol. 11 (6), S. 492–500.

Wallemacq, P., R. Below und D. McLean (2018), *Economic Losses, Poverty and Disasters (1998–2017)*, UNISDR and CRED report.

Weitzman, M. L. (2012), *GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages*, *Journal of Public Economic Theory*, Vol. 14 (2), S. 221–244.

Weltbank (2016), *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy*, World Bank, Washington, D. C.

Woodford, M. (2003), *Interest and Prices – Foundations of a Theory of Monetary Policy*, Princeton University Press.