

Lutz, Christian; Wolter, Marc Ingo

Working Paper

Wege zur Klimaneutralität bis 2045: Politische Handlungsfelder

GWS Discussion Paper, No. 2021/4

Provided in Cooperation with:

GWS - Institute of Economic Structures Research, Osnabrück

Suggested Citation: Lutz, Christian; Wolter, Marc Ingo (2021) : Wege zur Klimaneutralität bis 2045: Politische Handlungsfelder, GWS Discussion Paper, No. 2021/4, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS), Osnabrück

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/244387>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

GWS DISCUSSION PAPER 2021/4

Wege zur Klimaneutralität bis 2045

Politische Handlungsfelder

Christian Lutz

Marc Ingo Wolter

Impressum

AUTOREN

Dr. Christian Lutz

Tel: +49 541 40933-120, E-Mail: lutz@gws-os.com

Dr. Marc Ingo Wolter

Tel: +49 541 40933-150, E-Mail: wolter@gws-os.com

TITEL

Wege zur Klimaneutralität bis 2045 – politische Handlungsfelder

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Oktober 2021

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers/der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

HERAUSGEBER DER GWS DISCUSSION PAPER SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Das Discussion Paper im Überblick

In aller Kürze	2
1 Eine Situationsbeschreibung	2
2 Welche Hebel stehen bereit? Technologie, Effizienz, struktureller Wandel und Suffizienz	5
3 Wie können die Hebel bewegt werden? Von Ordnungsrecht über Markt und Förderung bis zur Nutzung von Medien	7
4 Was ist nun eigentlich das Problem?	10
5 Wie man das Ziel nicht verfehlt: permanente Evaluation und Szenarien mit Puffer	13
6 Literaturverzeichnis	18

IN ALLER KÜRZE

- Die Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität sind groß und nehmen über die Zeit zu.
- Die Hebel können mit Ordnungsrecht, marktwirtschaftlichen Instrumenten wie Abgaben oder Emissionshandelssystemen, Förderung, Stärkung des Marktes und Informationsbereitstellung in Bewegung gesetzt werden. Es ergibt sich ein weites Spektrum an Handlungsoptionen.
- Zeit- und Pfadabhängigkeit bei eingeschränkten finanziellen Mitteln stellen politische Entscheider vor große Herausforderungen.
- Notwendig ist ein permanenter Such- und Prüfprozess, um die auch mittel- und langfristig besten Entscheidungen zu finden und zu treffen.

1 EINE SITUATIONSBESCHREIBUNG

Auf den Beschluss des Bundesverfassungsgerichts (BVG) zur Klimaklage vom April 2021 hat die Bundesregierung mit einer Erhöhung des Emissionsreduktionsziels für Deutschland auf 65 % bis 2030 gegenüber 1990 sowie einem Vorziehen des Erreichens von Klimaneutralität im Jahr 2045 statt 2050 reagiert. Zwar wurde das Treibhausgas(THG)-Emissionsminderungsziel von 40 % im Jahr 2020 wegen der Pandemie übertroffen, mit der wieder erstarkenden ökonomischen Aktivität werden Produktion und Mobilität aber wieder deutlich zunehmen. Folgerichtig erwartet z. B. Agora Energiewende für das Jahr 2021 einen drastischen Anstieg der Emissionen gegenüber dem Jahr 2020 auf nur noch 37 % unter dem Niveau von 1990 (Agora Energiewende 2021). In diesem Fall stehen vermutlich die Sektoren Gebäude, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Industrie, Energie und Abfallwirtschaft bereits 2022 massiv unter Druck, denn das Klimaschutzgesetz schreibt bis 2030 für jedes Jahr verbindliche Jahresemissionshöchstmengen für diese Sektoren vor (BMU 2021). Ursächlich dafür ist die 2021 wieder wachsende Wirtschaft. Das Bruttoinlandsprodukt wird zudem im Jahr 2022 schon wegen des aufgestauten privaten Konsums der Jahre 2020 und 2021 über das Niveau des Vorkrisenjahres 2019 hinaus steigen und auch für die Folgejahre bis 2025 sind hohe Wachstumsraten zu erwarten. In Folge startet die Klimaschutzpolitik bereits mit Nachholbedarf in die neue Legislaturperiode.

Ein Blick in die Vergangenheit hilft für 2022 nicht – im Gegenteil: Während die Emissionen nach den Minderungen der THG-Emissionen im Zuge der deutschen Einheit – die mit einem industriellen Niedergang und einem starken Rückgang der Braunkohlenutzung im Osten Deutschlands verbunden war – seit dem Jahr 2000 nur noch wenig gesunken sind, müssen die jährlichen Minderungen bis zum Jahr 2030 gegenüber den letzten Jahren um einen Faktor 4 bis 5 dramatisch beschleunigt werden, wenn die politischen Ziele erreicht werden sollen. Im Bereich der privaten Haushalte sind die Emissionen einschließlich indirekter Emissionen in der Stromerzeugung bis 2019 seit dem Jahr 2000 um gerade 14 % zurückgegangen. Der Energieverbrauch steigt seit 2012 sogar wieder an (StBA 2021). Zugleich fordern verschiedene Seiten eine weitere Zielverschärfung, weil nur so ein zur Erreichung

des 1,5-Grad-Ziels angemessener Beitrag Deutschlands geleistet würde. Dem Climate Action Tracker zufolge ist das Minderungsziel von 65 % für 2035 noch nicht mit dem 1,5-Grad-Ziel kompatibel. Einzelne Parteien und Wissenschaftler:innen fordern deshalb höhere Minderungsziele für 2030 und Klimaneutralität schon vor 2045 (Climate Action Tracker 2021).

Ab Frühjahr 2022, wenn die Emissionen für das Jahr 2021 bekannt sind, wird es somit nicht nur notwendig sein, die aktuellen Jahresziele zu erreichen, sondern auch die nicht erreichten Ziele des jeweiligen Vorjahres aufzuholen. Politisch Handelnde stehen also nicht nur vor einem Aufholprozess, sondern müssen auch mit erschwerten Bedingungen rechnen.

Angesichts dieser brisanten Ausgangslage wird gerne darauf verwiesen, dass langfristig zur Problemlösung neben Emissionsminderungen weitere Optionen bestehen. Die geforderte Klimaneutralität bedeutet das Gleichgewicht zwischen den Emissionen von Treibhausgasen und deren Aufnahme aus der Atmosphäre in sog. Senken wie Wälder oder Moore – ist also nicht mit Nullemissionen zu verwechseln. Allerdings dürfen die zulässigen Bruttoemissionen für Klimaneutralität nur noch in einer Größenordnung von wenigen Prozent der Emissionen aus 2005 liegen, wie es z. B. in Impact Assessments für den EU Green Deal unterstellt wurde (Europäische Kommission 2020). Dabei ist zu beachten, dass sich in der Landwirtschaft einige Emissionen zumindest nach heutigem Stand technisch nicht vermeiden lassen (z.B. trockengelegte Moore). Kohlenstoff könnte außerdem nach der Verbrennung oder aus der Luft abgeschieden und in Senken oder in leeren Gasfeldern neutralisiert werden (Carbon Capture and Storage CCS, Direct Air Capture DAC). Auch das „Versenken“ von in Biomasse gebundenem Kohlenstoff ist langfristig eine Option (BECCS). Solche sog. „negative Emissionen“ könnten den heutigen Handlungsdruck mindern. Auch die Hoffnung auf Technologien wie den Fusionsreaktor, dessen Durchbruch die Forschung bis jetzt nicht zeitlich nähergekommen ist, besteht weiter. Aus gutem Grund verlässt sich die Bundesregierung im Klimaschutzgesetz nicht auf entsprechende Hoffnungen, sondern schreibt einen klaren Minderungspfad bis 2030 jährlich und danach für die Zieljahre 2035, 2040 und 2045 fest. Aus heutiger Sicht ist nicht absehbar, ob und in welchem Umfang entsprechende Technologien tatsächlich eines Tages zum Klimaschutz beitragen können, zumal die Einlagerung von CO₂ in Deutschland sehr unpopulär ist.

Der Klimaschutz ist keineswegs das einzig drängende Thema für die kommenden Jahre. Settele (2021) spricht von einer „triple crisis“, von Artenstreben, Klimawandel und Pandemien, die sich wechselseitig bedingen und verstärken können. Die Überflutungen an der Ahr im Sommer, die bereits dem Klimawandel zugerechnet werden konnten, sowie die Rekordtemperaturen des Sommers auch in Europa und in vielen Teilen der Welt zeigen unmissverständlich (World Weather Attribution 2021), dass massive Anstrengungen in Klimaschutz sowie in die Anpassung an den Klimawandel notwendig sind (Kahlenborn 2021). In der Land- und Forstwirtschaft, aber auch bei Biokraftstoffen oder Biogas ist ein „Weiter so“ in Zukunft allein deshalb nicht möglich, weil es das Artensterben weiter beschleunigen würde.

Die Herausforderungen haben aber auch eine soziale Komponente: Nicht zuletzt die Pandemie zeigte Lücken im Netz der Daseinsvorsorge. Ihre Sicherstellung stellt die politisch Handelnden aller Gebietskörperschaften (Bund, Länder und Gemeinden) vor weitere Aufgaben. Die Ausstattung mit gesellschaftlich notwendigen Dienstleistungen erfordert neben

finanziellem Einsatz auch genügend Arbeitskräfte, um die Aufgaben in Verwaltung, Sicherheit, Erziehung oder Gesundheit zu erfüllen. Will man keinen Konkurrenzkampf zwischen Klimaschutz und Daseinsvorsorge um Arbeitskräfte und Mittel, sind mögliche Synergien zu nutzen und neue zu suchen (Lehweß-Litzmann 2021).

Dazu kommt die Erkenntnis der Pandemiebewältigung, dass Planungs- und Verwaltungsprozesse in Deutschland viel zu lange dauern, sowohl im internationalen Vergleich als auch mit Blick auf die gewaltigen Herausforderungen. Deutschland braucht eine umfassende Modernisierungs- und Prozessvereinfachungsoffensive! Es verwundert nicht, dass bereits gefordert wird, dass Projekte des Klimaschutz nach sechs Monaten als genehmigt gelten, die „Beweislast“ also umgekehrt wird.

Vor diesem Hintergrund stehen die politischen Entscheidungsträger:innen vor riesigen Herausforderungen: Es soll nach dem Beschluss des BVG sichergestellt werden, dass die intergenerationalen Belastungen gleichverteilt sind, so dass auch die Freiheitsmöglichkeiten aller heute und morgen Lebenden gleich sind. Das wäre selbst in einer deterministischen Situation, d.h. alle technischen Möglichkeiten zum Klimaschutz sind vorhanden, alle notwendigen Kapazitäten liegen jederzeit vor und alle rechtlichen Fragen sind final geklärt, so dass man nun noch „handeln“ muss, eine erhebliche Herausforderung für Planung und Umsetzung. Angesichts dieser Ausgangslage ist eine gewisse Skepsis gegenüber optimalen Handlungspfaden geboten, wie sie z. B. von McKinsey (2021) angestrebt werden.

Nun ist die Situation aber nicht deterministisch: Immerhin etwa die Hälfte der benötigten Technologien für Klimaneutralität liegt nach Angaben der IEA (2021) heute bereits vor. Die anderen Technologien sind noch zu erfinden, zur Marktreife zu bringen und bestehende Technologien auf dem Weg dahin gegeneinander abzuwägen. Die technischen Möglichkeiten können sich zukünftig im zeitlichen Ablauf vergrößern oder verkleinern (z. B. durch Rohstoffmangel bei Batterien), die Größe der Kapazitäten ist mehrdimensional beeinflusst (u. a. von Verhaltensänderungen, Konjunktur und Klimawandel) und Knappheiten bezogen auf Arbeitskräfte, Geld und Material sind zumindest temporär wahrscheinlich. Versorgungssicherheit beim Strom ist ebenfalls zentral und muss über den gesamten Zeitraum in jeder Sekunde gewährleistet werden. Und schließlich sind die rechtlichen Fragen (Leitungsbau, Standorte, Eigentumsverhältnisse) ungeklärt bzw. im Entscheidungsprozess. Es ist offen, in welchem Umfang Klagerechte eingeschränkt werden dürfen. Es kann also keinen Masterplan geben, der bereits heute eine Detailbeschreibung des Transformationsprozesses bis 2045 liefert. Vielmehr ist davon auszugehen, dass es einen rollierenden Prozess sich selbst immer wieder hinterfragender aber ineinander verzahnter Teilpläne geben wird. Dies erfordert von den Entscheider:innen die Bereitschaft, mutige Entscheidungen für eine Sache zu treffen, und gleichzeitig den Mut, das einmal als richtig Befundene wegen neuer Erkenntnisse über Bord zu werfen. Daher ist es geboten, sich auf dem Weg in die Klimaneutralität immer alle Optionen bei einer Weggabelung vorurteilsfrei anzusehen und in Alternativen vor auszudenken.

2 WELCHE HEBEL STEHEN BEREIT? TECHNOLOGIE, EFFIZIENZ, STRUKTURELLER WANDEL UND SUFFIZIENZ

Die Senkung der überwiegend energiebedingten THG-Emissionen lässt sich über verschiedene Wege erreichen. So schlägt die Stiftung Klimaneutralität ein Sofortprogramm mit 22 Sofortmaßnahmen für die Zeit nach der Bundestagswahl vor (Stiftung Klimaneutralität 2021). Die Programme der politischen Parteien zur Bundestagswahl setzen unterschiedliche Schwerpunkte. Allerdings liefert kein Wahlprogramm nach Einschätzung des DIW (DIW Econ 2021) ausreichend schlüssige Konzepte, um die gesetzlich verankerten Reduktionsziele bis 2030 vollständig zu erreichen. Grundsätzlich müssen zukünftige Entscheidungsträger:innen verschiedene Hebel in unterschiedlicher Stärke betätigen.

Durch den Ersatz fossiler Energieträger wie Kohle, Öl und Gas durch CO₂-freie Energieträger wie Strom, der aus erneuerbaren Energien wie Wind und Photovoltaik hergestellt wird, können die Emissionen bei unverändertem Verhalten verringert werden. **Technologischer Wandel** als Ersatz alter durch neue Produkte oder neue Produktionsprozesse wird deshalb aus politischer und gesellschaftlicher Sicht vielfach als Königsweg zum Klimaschutz gesehen, weil fast alles andere unverändert bleiben kann. Auf Innovationen zum Klimaschutz liegen große Hoffnungen.

Eine zweite Möglichkeit des technologischen Fortschritts ist die Steigerung der (Energie-) **Effizienz**. Je weniger Energie eingesetzt wird, um die nachgefragten Produkte und Dienstleistungen bereitzustellen, desto weniger Emissionen sind mit der Verbrennung der fossilen Energieträger verbunden. Gerade in einer Phase, in der erneuerbare Energien nur begrenzt zur Verfügung stehen, ist dies wichtig, weil Energiebedarf darüber hinaus durch fossile Energieträger gedeckt werden muss. Effizienz ist allerdings eine Relation zwischen Input- und Outputgrößen, wobei davon ausgegangen wird, dass die Aktivitätsgrößen wie Verkehr, Wohnungsbestand und Einkommen auch in Zukunft weiter steigen werden. Unter Umständen kommt man dadurch dem Ziel einer absoluten Minderung von Treibhausgasemissionen keinen Schritt näher, wenn die Aktivitätsgrößen (z. B. die gefahrenen Personenkilometer) so schnell zunehmen wie die Effizienz. Wissenschaftlich wird auch von Rebound-Effekten gesprochen, die einen Teil der Effizienzsteigerungen durch Mehrkonsum an anderer Stelle zunichtemachen. Auch Effizienzsteigerungen sind in unserer Gesellschaft positiv besetzt.

Eine dritte Möglichkeit ist der **strukturelle Wandel**, durch den es in der Produktion oder beim Konsum zu einer Verschiebung von CO₂-intensiven zu CO₂-freien Gütern kommt. Häuser können aus nachwachsendem Holz oder recyceltem Material statt aus CO₂-intensivem Beton und Stahl gebaut werden. Der strukturelle Wandel führt aber zwangsläufig zu Gewinnern und Verlierern bei Unternehmen und Arbeitskräften (Mönnig et al. 2021). Die Diskussion zu den Folgen der Digitalisierung ist ein Beispiel (Wolter et al. 2019). Die Politik in unserer sozialen Marktwirtschaft ist bestrebt, die Folgen für die Verlierer abzufedern. Wie der technologische Wandel und die Steigerung der Energieeffizienz ist auch der strukturelle Wandel an Investitionen in veränderte Produktionsanlagen verknüpft. So stehen einem Wohnungsneubau von rund 300 000 Wohnungen jährlich auf Rekordhöhe ein Bestand von 43 Mio. Wohnungen gegenüber, von denen rund 1 % pro Jahr saniert wird. Bei den Pkw beträgt der jährlich wachsende Bestand etwa 48 Mio. Pkw, während rund 3. Mio. jährlich neu zugelassen werden. Die kurzfristigen Handlungsmöglichkeiten sind also begrenzt.

Alle drei bisher genannten Möglichkeiten kosten Zeit und Geld und es besteht Unsicherheit darüber, in welchem Umfang sie bis zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Emissionsminderung beitragen können.

Die vierte Möglichkeit sind Verhaltensänderungen inklusive des Verzichtes (**Suffizienz**) auf klimaschädliches Verhalten (keine Flugreise nach Mallorca, kein Rindfleisch auf dem Teller). Einerseits ist das die einfachste Möglichkeit, weil sie ohne Veränderung der Technologie sofort von allen umsetzbar ist. Andererseits stößt Suffizienz u. a. auf rechtliche Hürden und wird von Wähler:innen und Konsument:innen abgelehnt. So scheuen Politik und Gesellschaft den Verzicht, weil er das Wohlstandsversprechen unserer modernen Gesellschaft in Frage stellt und Teile der Wirtschaft in den Ruin treiben kann. Zu einer Aufstiegs-gesellschaft, in der das Versprechen an die nächste Generation immer lautete „Du sollst es einmal besser haben als wir.“ ist für viele Suffizienz der Gegenentwurf. Als ein Ausweg wird eine Reduktion der Arbeitszeit diskutiert, in der „die große Hoffnung des 20. Jahrhunderts“ (Jean Fourastié 1954) wahr werden könnte, dass der moderne Mensch den Tag in weiten Teilen mit dem zubringt, was ihm Freude macht. Ein diesbezüglich notwendiger gesellschaftlicher oder politischer Konsens zeichnet sich nicht ab. Interessant ist in diesem Zusammenhang aber, dass die internationale Energieagentur in ihrem Nullemissionsszenario sich von der rein technologischen Machbarkeit verabschiedet und erstmals die Notwendig-keit von Verhaltensänderungen als Bedingung der Zielerreichung benennt (IEA 2021).

Angesichts dieser, zugegeben, stark vereinfachten Darstellung bestehender Möglichkeiten, mag es nicht verwundern, wenn das Ziel noch einmal genauer unter die Lupe genommen wird: Wollen wir überhaupt Klimaneutralität bis 2045 oder liegt die Wissenschaft vielleicht doch falsch, was den Klimawandel angeht? Leider sind die Botschaften der Wissenschaftler:innen des IPCC ebenso eindeutig wie anderer Wissensorganisationen – der Internationalen Energieagentur, der Vereinten Nationen, der G7-Gruppe oder der chinesischen Staatsführung, die sich zur Klimaneutralität im Jahr 2060 bekennt. Das Ziel ist nicht verhandelbar. Die Welt, wie wir sie kennen, wird nicht mehr sein, wenn wir den menschengemachten Klimawandel nicht deutlich ausbremsen. Reimer und Staud (2021) beschreiben dies anschaulich für ein Deutschland im Jahr 2050, das wir hoffentlich nie erleben werden. Die Kunst politischen Handelns besteht vor diesem Hintergrund darin, den besten Mix aus diesen Handlungsoptionen in der Klimapolitik zu finden und umzusetzen.

Auch wenn nicht alles perfekt funktioniert, lässt sich aber positiv gewendet festhalten, dass der technologische Wandel neue Wege in Form von Produkten und ihren Wertschöpfungsketten eröffnen kann. Effizienz hilft dabei, mit den uns gegebenen Dingen (Arbeitskraft, Land, Ressourcen) sinnvoll umzugehen und Suffizienz ist zwar Verzicht, aber es könnte auch Alternativen geben, sodass Verzicht das Leben nicht schlechter machen muss. Angesichts der vom BVG gestellten Aufgabe wird a priori auf keine dieser Optionen verzichtet werden können.

3 WIE KÖNNEN DIE HEBEL BEWEGT WERDEN? VON ORDNUNGSRECHT ÜBER MARKT UND FÖRDERUNG BIS ZUR NUTZUNG VON MEDIEN

Politischer Handlungswille und Mut zur Umsetzung werden in den kommenden Jahren in der Klimapolitik nötig sein. Dabei stehen den politisch Handelnden vereinfacht zusammengefasst das Ordnungsrecht, Fördermaßnahmen oder marktwirtschaftliche Instrumente als Möglichkeiten offen. Sie können zudem auf die Wirkmacht des Marktes und der Medien setzen.

Ordnungsrecht, also die Formulierung von Geboten und Verboten, ist in seiner Wirkung klar: Die Betroffenen können sich darauf einstellen, die Nichteinhaltung führt zu Ordnungswidrigkeiten oder anderen Strafen. Nur sind die Wirkungen eines Verbotes individuell sehr unterschiedlich: Tempo 130 auf Autobahnen wird von Vielfahrern anders gesehen als von solchen, die aus beruflichen Gründen nur selten bzw. gar nicht ins Auto steigen. Zudem ist die Erfüllung von Geboten ebenfalls individuell unterschiedlich schwierig. Der Ersatz einer Ölheizung ist für einkommensstarke Haushalte leichter zu schultern als von einkommensschwachen.

Die zum Einsatz kommenden regulatorischen sind Bestimmungen und Vorschriften, die den Handlungsspielraum der Wirtschaftsakteure durch technische Vorgaben, Begrenzung oder Verbote einschränken, aber auch neu formen können. Die Effektivität der Maßnahmen ist hoch, denn sie beziehen sich zugleich häufig auf Details. Beispiele sind Effizienzstandards der EU für Neuwagen, die Ökodesignrichtlinie oder das Verkaufsverbot von traditionellen Glühlampen durch die EU (Ahmann 2020). Die zeitliche Komponente ist dabei entscheidend: Je weiter die Neuregelung eines Handlungsspielraums in der Zukunft liegt, desto eher können technologischer Wandel oder Verhaltensänderungen einen bruchfreien Übergang ermöglichen.

Marktwirtschaftliche Instrumente, ob in Form von Abgaben, Subventionen oder Zertifikaten sind generell ein Mittel, um im ökonomischen Prozess Varianten zu entfernen, die sich nicht mehr lohnen und neue „marktgängig“ zu machen. So können CO₂-Preise Ersatzzeitpunkte aus Rentabilitätsüberlegungen für energieintensive Anlagen vorverlegen oder Änderungen von Verhaltensweisen zumindest ökonomisch vorteilhaft werden lassen. Der Preis wird als Regulativ eingesetzt. Auch führen Preise dazu, dass der marktwirtschaftliche Suchprozess auf CO₂-freie Produkte zielt. Preise können aber auch prohibitiv hoch sein – wenigstens für einen Teil der Bevölkerung. Wenn Preise zu stark steigen und Alternativen nicht da sind oder nicht finanzierbar sind, dann kann nur noch der Verzicht helfen.

So werden Abgaben oder Emissionshandelssysteme wie der nationale Brennstoffemissionshandel oder das europäische Emissionshandelssystem als ein probates Mittel angesehen, um Verursacher der Emissionen zu belasten und steuernde Wirkungen zu erzielen. Zu der Lenkungswirkung von z. B. Gütersteuern kommt die Einnahmeerzielung des Staates hinzu. Die Tabaksteuer soll am Rauchen hindern, liefert aber auch einen großen Beitrag zu den Steuereinnahmen. Nun können Abgaben auf CO₂-intensive Produkte erhöht werden, um den Verbrauch zu senken („Ökosteuer“). Steuern werden gern zur Finanzierung bestimmter Ziele herangezogen (z. B. die Schaumweinsteuer), aber nur ungerne wieder ab-

geschafft. Allerdings eröffnen die Steuereinnahmen auch Möglichkeiten, entstandene Härten zu lindern (Umverteilung). Eine Neuorientierung von Steuern kann selbst bei einer a priori berücksichtigten Aufkommensneutralität lenkend wirken, wenn beispielsweise die Mehrwertsteuer auf den ÖPNV abgeschafft und die Mineralölsteuer für Treibstoffe erhöht werden. Ein Nachteil von Abgaben ist, dass die gewünschte Emissionsminderung unsicher ist. Stattdessen schlagen Ökonomen gern eine absolute Emissionsmengenbeschränkung (cap) mit entsprechenden Zertifikaten vor, die Nutzungsrechte ermöglichen, welche von Unternehmen und Haushalten erworben werden müssen und frei gehandelt werden können (trade).

Ein für die Emittenten angenehmeres Mittel ist die **Förderung**: Wer ein E-Auto kauft, ein Haus dämmt oder einen Produktionsprozess energieeffizienter gestaltet, bekommt vom Staat in Form von vergünstigten Krediten, Zuschüssen oder Kostenvorteilen (degressive Abschreibung, verkürzte Abschreibungsdauer) etwas hinzu. Kosten, die für den Übergang entstehen, werden teilweise übernommen. Der Break-even-Punkt, ab dem sich eine Klimaschutzinvestition auch ökonomisch lohnt, setzt so früher ein. Das klingt gut, sofern Mitnahmeeffekte und Verteilungswirkungen von Förderungen außer Acht gelassen werden. Natürlich müssen die Ausgaben an anderer Stelle auch durch Einnahmen gedeckt werden – auch wenn eine teilweise Selbstfinanzierung über ökonomische Kreislaufwirkungen möglich ist. Die verwendeten Steuergelder mögen an solche fließen, die eh eine Ersatzinvestition getätigt hätten oder an solche, die sich auch ohne weitere Unterstützung den Ersatz leisten könnten. Je weiter der Personenkreis sein soll, der die Förderung in Anspruch nimmt, desto höher müssen die Förderquoten sein. Verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten sind z. B. nach der Wiedervereinigung für den Bau von Gebäuden eingesetzt worden. Damals war ein mittelfristig entstehender Bauboom die Folge. Der „Aufbau Ost“ war eine gesellschaftliche Aufgabe, die mit den Herausforderungen des Klimaschutzes heute vergleichbar ist.

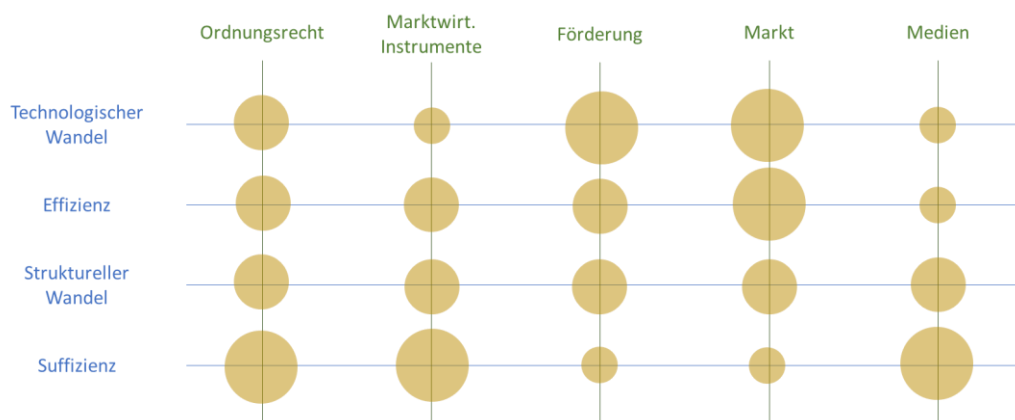
Der **Markt** selbst, also die handelnden Unternehmen, kann sich z. B. auf neue Absatzmöglichkeiten oder effizientere und damit preisgünstigere Verfahren ausrichten. Es ist angesichts der weltweiten Aufgabe „Klimaschutz“ zu erwarten, dass nicht nur in Deutschland Produkte oder Prozesse Anklang finden, die CO₂-Emissionen vermeiden. Bereits heute beginnen sich energieintensive Betriebe der Chemie auf neue Produktionsweisen einzurichten und entsprechende Erzeugung erneuerbarer Energie zu planen. Damit die Umsetzung solcher Planungsprozesse gut gelingt, sind effiziente Verwaltungen von Nöten. Beispielsweise kann der Einsatz digitaler Prozesse in der Verwaltung einen Beitrag leisten, um Genehmigungsverfahren schneller zu gestalten. Neben marktwirtschaftlichen Instrumenten und Förderungen ist es auch sinnvoll zu prüfen, ob es Hemmnisse gibt, die abgebaut werden können.

Schließlich gibt es eine Vielzahl weicher Instrumente, die letztlich darauf abzielen, Informationen zum Klimaschutz bereitzustellen und Umsetzungshürden zu senken. Da hierzu bereits vieles versucht wird, geht es zukünftig darum, erfolgreiche Zugänge massiv zu verstärken und so attraktiv und zeitgemäß wie nur möglich zu machen. So kann der Staat **Medien** kreativ einsetzen. Dazu gehören tradierte Informationsbereitstellungen und Beratungen. Es können aber auch „Challenges“ gestartet und es kann auf die Mitwirkung von Influencer:innen gesetzt werden. Die bestehende Breite an möglichen medialen Zugängen zu Bürger:innen kann genutzt werden, um emissionsmindernde Verhaltensmöglichkeiten

als Alternative sichtbar zu machen. Z. B. könnten Fernsehsender wöchentliche Sendungen zu Neuheiten und Erfolgsbeispielen im Klimaschutz anbieten. Dazu gehören Informationen und Beratung: Welche Folgen hat das aktuelle Verhalten? Welche alternativen Verhaltensweisen gibt es? Wie kann der Übergang zu neuen Verhaltensweisen vollzogen werden? Die Bereitstellung von Informationsbroschüren oder Unterrichtsmaterialien kann dabei helfen. Für einkommensschwache Haushalte waren Beratungsangebote zum Energiesparen etwa der Caritas in der Vergangenheit durchaus erfolgreich (Schneller et al. 2020). Entsprechende Angebote müssen zukünftig aber in viel größerem Umfang angeboten werden, sodass jeder Haushalt wenigstens einmal in fünf Jahren gezielt beraten wird. Genauso gehört aber auch die Überzeugung dazu – schließlich geht es darum, Verhaltensweisen zu ändern. Label (z. B. Eco Management and Audit Scheme (EMAS), Bio-Siegel), Kooperationen mit Influencer:innen oder klassische Werbung können eingesetzt werden. Entscheidend für erfolgreich angestoßene Verhaltensänderungen durch Medien, Beratungen und Informationsbreitstellung ist, dass praktikierbare und lebensnahe Alternativen benannt werden.

Aus dem vorangegangenen Kapitel konnten wir mitnehmen, welche Hebel zur Minderung der Emissionen bereitstehen (technologischer Wandel, Effizienz, struktureller Wandel und Suffizienz). Eben wurden beschrieben, was getan werden kann, um diese Hebel in Bewegung zu setzen. Es stellt sich also die Frage, welche Hebel womit bewegt werden können. Das ist nicht immer einfach zu sagen, grundsätzlich sind aber alle Kombinationen denkbar. Die Abbildung 1 gibt einen Eindruck von möglichen Wirkungsstärken je nach Verknüpfung. Dabei sind die eingetragenen „Wirkungskreise“ nicht als letztendliche Wahrheit, sondern als Ergebnis von Ad-hoc-Plausibilisierungen gestützt auf Erfahrung zu interpretieren.

Abbildung 1: Kraft und Hebel – welche Kombinationen sind denkbar?



Quelle: GWS

Bewusst wurden auch provokative Kombinationen eingetragen: Marktwirtschaftliche Instrumente bewirken bei prohibitiv hohen Preisen unfreiwillige Suffizienz. Zugleich kann aber auch dem Ordnungsrecht nicht die Wirkung auf technologischen Wandel abgesprochen werden. Häufig haben in der Vergangenheit Verbote zur Entwicklung neuer Technologien geführt (Porter 1991). Werden Hemmnisse des Marktgeschehens beseitigt, werden technologische Neuerungen und effizientere Prozesse gefördert und ein struktureller Wandel

wird begünstigt. Mögliche Wachstumsimpulse werden aber in der Regel auch eine stärkere Nachfrage nach sich ziehen.

Diese Skizze eines Dashboards der Möglichkeiten zur Verminderung der CO₂-Emissionen soll aber insbesondere zeigen, dass es ein weites Spektrum an Anknüpfungspunkten gibt. Der Blick auf ein Gesamttabelleau (dieses oder andere) ist wichtig, da angesichts der Aufgabe a priori nichts ausgeschlossen werden kann und davon auszugehen ist, dass es mehr als nur eine Option gibt, um z. B. die Effizienz im Verkehr zu steigern oder die Stahlindustrie klimaneutral zu machen.

4 WAS IST NUN EIGENTLICH DAS PROBLEM?

Wir haben viele notwendige Technologien, aber ...

Zunächst ist positiv festzuhalten, dass für Deutschland (z. B. Prognos et al. 2021) und die Welt (IEA 2021) erwartet wird, dass die Technologien für Klimaneutralität bis 2050 durch passende Politikmaßnahmen bereitgestellt werden können, wobei grob geschätzt 50 % der Technologien noch zu entwickeln sind. Das galt allerdings in den letzten Jahren auch schon, in denen die weltweiten Emissionen immer weiter gestiegen sind und in Deutschland nicht schnell genug gesunken sind, um ohne Corona-Krise das nationale Minderungsziel von -40 % gegenüber 1990 im Jahr 2020 zu erreichen. Offensichtlich reicht technische Machbarkeit allein nicht aus. Sie trifft auf weitere politische Handlungsfelder, die sich eher an kurzfristigen ökonomischen und sozialen Zielen orientieren. Zielkonflikte sind dabei nicht ausgeschlossen.

Ferner haben wir gesehen, dass es zumindest skizziert ein weites Feld an Handlungsoptionen gibt, um dem Ziel der Emissionsminderung und schließlich Klimaneutralität näher zu kommen. Es führen durch geeignete Kombinationen also viele Wege nach Rom.

Kombinationen von Instrumente können helfen ...

Welche Instrumente am besten zur Zielerreichung geeignet sind, hat oft mit dem Zeitbedarf und den finanziellen, technischen und bürokratischen Voraussetzungen und Hürden für die Umsetzung zu tun. In der politischen Umsetzung werden die grundlegenden Instrumente aus dem umweltökonomischen Lehrbuch oftmals kombiniert und an die technologischen Gegebenheiten angepasst.

Die EEG-Umlage beispielsweise hat mit **ordnungsrechtlichen** Mitteln durch die 20-jährige garantierte Einspeisevergütung finanzielle Anreize für Technologiepioniere geschaffen, die ersten Windräder und PV-Anlagen zu bauen und zu installieren. Kritiker mögen einwenden, dass die Kosten der EEG-Umlage für die Stromverbraucher:innen sehr hoch waren und sind. Zugleich ist die Photovoltaik (PV) heute eine der wenigen CO₂-freien Energietechnologien, die weltweit wirtschaftlich einsetzbar sind. Ohne sie hätte die Bundesregierung sich sicher nicht zum Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2045 bekannt, denn die PV ist u. a. die Basistechnologie für den grünen Wasserstoff. Für die Verbesserung der Lebensbedingungen vieler Menschen in der Welt hat die PV vermutlich viele positiv bewegt. Sie schafft dezentralen Zugang zu Strom und rauchfreiem Kochen für Milliarden Menschen.

Hätte eine rein **marktwirtschaftliche** CO₂-Instrumentierung des Klimaschutzes in den 2000er Jahren zu einer Entwicklung der PV geführt? Sicher nicht! Die CO₂-Vermeidungskosten der PV waren damals enorm hoch und die Erwartungen an den globalen Ausbau sehr gering, wie ein Blick in z. B. den jährlichen World Energy Outlook der IEA dieser Jahre zeigt. Grund dafür ist, dass die Kosten neuer Technologien zunächst sehr hoch sind. Erst durch die Technologieentwicklung, die dabei gemachten Erfahrungen und durch die Massenproduktion (Economies of Scale) werden neue Technologien marktfähig. Häufig wird dazu der Staat benötigt, um das Henne-Ei-Problem neuer Technologien zu lösen, wie auch die Entwicklung der Elektromobilität zeigt. Dies gilt gerade, wenn der Ausbau einer neuen Technologie mit umfassender Infrastruktur verbunden ist. Förderung von Forschung und Entwicklung ist hierbei zentral. Entwickelt werden müssen die Technologien aber von Unternehmen, wie z. B. derzeit die Nutzung von grünem Wasserstoff in der Stahlindustrie zeigt, die im Sommer erstmals in Schweden gelungen ist (Wille 2021).

Die Veränderung relativer Preise oder auch Mengenbeschränkungen durch **Zertifikatslösungen** können die Marktdurchdringung vorhandener Technologien fördern und die Suche nach Innovationen anreizen. Sie beeinflussen die Entscheidungssituation der Konsument:innen und Investoren, die sich schließlich auch aus ökonomischen Erwägungen für das Elektroauto oder die Photovoltaik entscheiden. Nicht zu unterschätzen sind dabei die Signalwirkung von Förderungen und die Irrationalität von uns Menschen. Die Förderprämie für Elektroautos, die Befreiung von der Kfz-Steuer oder vergünstigte Kredite und Zuschüsse der KfW bei der Gebäudesanierung oder Installation von erneuerbaren Energien bewegen Verbraucher zu verändertem Verhalten, ohne dass sie die Wirtschaftlichkeit berechnen können (müssen). Auch angekündigte Verbote wie das Ende der Zulassung von Verbrennungsmotoren können diesen Prozess befördern und schaffen am Ende Verlässlichkeit für Unternehmen und Haushalte.

Steuerung über die **Preise** setzt darauf, dass neue Produkte möglichst klimaneutral sind und Verbraucher:innen ihr Verhalten anpassen. In der Ökonomie beschreiben Preiselastizitäten der Energienachfrage den Zusammenhang, in welchem Ausmaß die Nachfrage nach Energie sinkt, wenn der Preis um einen bestimmten Prozentsatz steigt. Die Nachfrage nach Energie ist eher preisunelastisch in einem Bereich von -0,1 bis -0,3 in den Industrieländern (Gao et al. 2021). Das bedeutet, dass eine Verdopplung des Endverbraucherpreises zu einem Rückgang der Nachfrage in einer Größenordnung von 10 bis 30 % führt. Das ist durchaus erklärbar, weil der Energieverbrauch weitgehend durch die vorhandene Technologie (im Haus, des Fahrzeugs, der industriellen Herstellung) oder den Wohnort und die Arbeitsverhältnisse bestimmt ist und nur bei Neuinvestitionen stärker verändert werden kann. Die Entscheidungen ökonomischer Akteur:innen ist also von bereits in der Vergangenheit getroffenen Entscheidungen abhängig. Es entsteht Pfadabhängigkeit. Für den Klimaschutz sind die Kreuzpreiselastizitäten besonders spannend. Diese messen, wie sich bei einer Änderung der Preisrelationen von z. B. Gas und Strom das Einsatzverhältnis beider Energieträger ändert. Die gute Nachricht ist, dass diese Kreuzpreiselastizitäten größer sind als die oben beschriebenen (Eigen-)Preiselastizitäten der Energienachfrage insgesamt (Stern 2012). Die schlechte ist, dass die Kreuzpreiselastizitäten mit Qualitätsunterschieden zwischen den Energieträgern sinken (was besonders für den Strom im Vergleich zu fossilen Energieträgern gilt) (Stern 2012) und insgesamt das Wissen über die konkreten Zusam-

menhänge nicht nur in Deutschland sehr begrenzt ist. Die Gefahr ist somit groß, dass Energiepreise bei alleiniger Preissteuerung extrem hohe Werte erreichen könnten, was den Zusammenhalt von Gesellschaften gefährden könnte, wie z. B. die Demonstrationen der „Gelbwesten“ in Frankreich zeigen. Auch viele Unternehmen müssten ihren Standort aus Deutschland heraus verlagern. Werden sie wie derzeit bei Energiesteuern, der EEG-Umlage oder dem EU-Emissionshandelssystem aber ausgenommen, fehlt der Preisanreiz für Klimaschutz gerade dort, wo die Potenziale besonders groß sind. Problematisch ist auch, dass CO₂-Preise und Mengenbeschränkungen Unternehmen selbst einer Branche und Haushalte sehr unterschiedlich treffen können. Wer gerade ein neues Haus baut, das Dach saniert oder ein Elektroauto kauft, kann seine THG-Emissionen drastisch senken und erhält noch verschiedene Förderungen. Mieter:innen oder Eigentümer:innen eines jüngeren Gebrauchtwagens können dagegen oft gar nicht oder erst nach vielen Jahren auf höhere CO₂-Preise reagieren. Der vermögende Teil der Gesellschaft, der über ausreichend Mittel verfügt und z. B. regelmäßig einen Neuwagen kauft, wird dagegen die Förderungen in größerem Maße in Anspruch nehmen. Auch für Unternehmen ist diese Politik problematisch. Gerade energieintensive Unternehmen in der Stahl-, Zement, oder chemischen Industrie haben einen langlebigen Kapitalstock. Sie können vermutlich nur einmal in den kommenden 25 Jahren in Klimaneutralität investieren. Wenn sie davor für den CO₂-Ausstoß bezahlen müssen, fehlt am Ende das Geld für die Investitionen. Aber auch Gebote und Verbote können Haushalte und Industrie überfordern und aus ähnlichen Gründen sehr ungerecht sein, weil einige reagieren können und andere nicht. Besser sind hier neue Ideen wie „Carbon Contracts for Difference“ (CO₂-Differenzverträge), in denen der Staat Mehrkosten für Unternehmen bei Investitionen in Klimaschutz langfristig übernimmt. Letztlich handelt es sich um eine Transformation, die im gesellschaftlichen Interesse ist und nur von den spezialisierten Unternehmen umgesetzt werden kann.

Die Zeit wird knapp, die Ansprüche steigen

Das eigentliche Problem ist, dass in kurzer Zeit die gesamte Volkswirtschaft klimaneutral umgestaltet werden muss, wobei die bisherigen Konzepte und Maßnahmen deutlich zu kurz greifen, Preisinstrumente ebenso wie eine überwiegende Gebots- und Verbotspolitik den Zusammenhalt der Gesellschaft lange vor der Zielerreichung sprengen würden, ein Hochskalieren bisheriger Förderungen auch den deutschen Staat finanziell überfordern würde und die Klimaschutzmaßnahmen in den einzelnen Bereichen nicht isoliert betrachtet werden können, weil jede Entscheidung und Entwicklung in einem Bereich Auswirkungen auf andere hat. So bietet die Umstellung auf Wasserstoff für den Teil der Stahlindustrie, der bisher über die Hochofenroute produziert, zumindest bis 2030 die einzige Möglichkeit, die großtechnisch umgesetzt werden kann. Im Personenverkehr könnten Wasserstoffantriebe eine von mehreren Optionen sein. Letztlich muss der Staat somit bestimmte Anwendungen priorisieren.

So gibt es Wünsche der Industrie nach einer Verdopplung der Stromerzeugung bzw. der Bereitstellung von Wasserstoff bei international wettbewerbsfähigen Preisen, welche die eh schon vorhandene Ausbaulücke bei den erneuerbaren Energien mit allen Schwierigkeiten der Planungsverfahren, der Umsetzung, der gesellschaftlichen Akzeptanz und nicht zuletzt der Flächeninanspruchnahme und den Wirkungen auf die Natur nochmals drastisch vergrößern würde (DECHEMA 2019). Ein hoher Import von Wasserstoff wäre auch denkbar,

setzt aber umfassende Investitionen im Ausland und in die Infrastruktur mit langen Vorlaufzeiten voraus. Ähnliches gilt für den wachsenden Stromverbrauch von Fahrzeugen und Heizungen (Wärmepumpen). Raum für Strompreissenkungen dürfte es vor diesem Hintergrund nicht geben. Im Gegenteil, angesichts der niedrigen Preiselastizitäten der Stromnachfrage und möglicher Rebound-Effekte sollten die Strompreise vermutlich eher deutlich steigen, um den Energieverbrauch absolut zu begrenzen. (Der Preisanstieg muss natürlich schwächer sein als der für fossiler Energieträger, um die Elektrifizierung nicht zu gefährden). Es besteht somit ein enormer Abstimmungsbedarf auch zwischen den einzelnen Bereichen, zumal diese durch die jährlichen CO₂-Höchstmengen spätestens ab dem Jahr 2022 unter kurzfristigem Handlungsdruck stehen werden. Angesichts aktueller Lieferprobleme auf dem Weltmarkt, Unsicherheiten über die Entwicklung einzelner Technologien, lange Planungs- und Umsetzungszeiträume, notwendige Infrastrukturmaßnahmen, Knappheiten auf dem Arbeitsmarkt, neuer Lerninhalte und breiten Weiterbildungsmaßnahmen ist die erfolgreiche Gesamtkoordination dieses Prozesses eine Aufgabe, die von der Dimension durchaus mit der Arbeit der zentralen Planungskommission der DDR zu vergleichen ist, die bekanntlich nicht erfolgreich war.

5 WIE MAN DAS ZIEL NICHT VERFEHLT: PERMANENTE EVALUATION UND SZENARIEN MIT PUFFER

In Szenarien die offene Zukunft vorausdenken

Die Politik könnte zur erfolgreichen Bewältigung dieser Herausforderungen einen Prozess etablieren, der permanent die Emissionsentwicklung verfolgt und zukünftige Entwicklungen und Potenziale abschätzt. Die Bundesregierung hat dazu einen Expertenrat für Klimafragen eingerichtet (<https://expertenrat-klima.de>). Dieser Prozess darf nicht auf einzelne Bereiche begrenzt bleiben, sondern muss die Auswirkungen auf die gesamte Emissionsentwicklung inklusive der über Güter indirekt importierten Emissionen im Blick behalten und Optionen immer wieder neu bewerten. Die Zielkriterien müssen neben ökonomischen und sozialen Zielen auch weitere Umweltziele wie die begrenzte Flächenverfügbarkeit, die begrenzte Biomassekapazität der Land- und Forstwirtschaft und Nutzungskonkurrenzen berücksichtigen. Investitionszyklen und auf den Wohnungs- und Fahrzeugbeständen, Industrieanlagen sowie auf der Infrastruktur liegende zukünftige Emissionslasten müssen ebenso mit betrachtet werden wie knappe Finanzmittel, Konkurrenz um Investitionen, die Verfügbarkeit von Vorprodukten, Effekte auf dem Arbeitsmarkt und die Verfügbarkeit gut ausgebildeter Arbeitskräfte, um z. B. zukünftig sehr viel mehr Windräder bauen, installieren und instand halten zu können.

Hier reicht ein wissenschaftlicher Expertenrat nicht aus. Es geht bei der Erreichung der Klimaneutralität um ein „Man-on-the-moon“-Projekt, das wie die Reise des Kolumbus 1492 in ein neues, noch unbekanntes Land über einen noch unbekannten Ozean führen wird. Dafür braucht es Lotsen und Kartographen, damit die Kapitäne in der Politik den besten Weg finden und nicht zu überrascht sind, wenn das Ziel am Ende nicht Westindien, sondern Amerika ist. Im Sinne einer erfolgreichen Politikgestaltung könnte dieser Prozess von Institutionen vorangetrieben werden, die letztlich den handelnden Akteur:innen Empfehlungen

geben, wie sie kurzfristig im laufenden und kommenden Jahr sowie mittel- und langfristig Klimaschutzpolitik betreiben können. Es handelt sich dabei um ein Pendant zur Finanzpolitik, mit dem das knappe Emissionsbudget bestmöglich gesteuert wird. Diese Institutionen brauchen verschiedene Instrumente, die die einzelnen Informationen und Pläne sammeln, Widersprüche und Synergien aufzeigen und letztlich einen Gesamtrahmen vorgeben, der zur jährlichen Zielerreichung führt. Dabei sind Schnelligkeit und Vollständigkeit wichtige Kriterien.

Dazu muss die Emissionsentwicklung mit der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung und dem Arbeitseinsatz der Bevölkerung gemeinsam, quasi simultan quantitativ erfasst und umfassend modelliert werden, um die Zusammenhänge zu verstehen und Alternativen zeitnah bewerten zu können. Es bedarf eine permanente und strukturierte Bestandsaufnahme: Wieviel Energie verbrauchen die Haushalte, Staat und Unternehmen heute und welche absehbaren Veränderungen sehen die drei Handlungsträger:innen in naher (5 Jahre) und ferner (10+ Jahre) Zukunft? Welche Anforderungen und Qualifikationen auf dem Arbeitsmarkt sind damit verbunden und wie können sie durch Aus- und Weiterbildung verfügbar gemacht werden? Die Zukunft muss in verschiedenen Szenarien offen vorausgedacht werden, damit mögliche Restriktionen wie fehlende Fachkräfte, Genehmigungen oder Infrastrukturen vermieden und das Zusammenspiel verschiedener Teile auf dem Weg zur Klimaneutralität sichergestellt wird. Hier müssen auch Modelle, die Energie, Wirtschaft und Beschäftigung gemeinsam abbilden, regelmäßig eingesetzt und gepflegt werden, die auf verschiedenen Ebenen diese Zusammenhänge simultan erfassen.

Welche Modelle stehen zur Verfügung?

Ohne **Klimamodelle**, die z. B. vom Potsdam Institut für Klimaforschung (Walkenhorst 2009) oder dem Deutschen Wetterdienst betrieben werden, wird es nicht gehen (DWD 2021). Der deutsche Klaus Hasselmann wird zusammen mit zwei Kollegen für wichtige Entwicklungen hierbei in diesem Jahr mit dem Physiknobelpreis geehrt. Die Modelle bilden die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge zwischen Emissionsentwicklung und Temperaturanstieg ab. Sie zeichnen den Klimapfad voraus, der aufgrund unserer Verhaltensweisen wahrscheinlich ist und geben somit die Eckpunkte für die Entscheidungsnotwendigkeiten. Es sind Modelle auf Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten, die als Exogene die ökonomische Entwicklung brauchen, um die CO₂-Emissionen regional und in Dynamik abschätzen zu können.

Integrierte Bewertungsmodelle (Integrated Assessment Models, IAMs) kombinieren die biophysikalischen Informationen aus Klimamodellen mit ökonomischen Systemen, um die Wechselwirkungen beider Systeme, d. h. die Rückkopplungen zwischen Temperaturanstieg, Emissionen und ökonomischen Treibergrößen, verständlich und nachvollziehbar zu machen (Mathias 2020). Der ökonomische Teil basiert meist auf einem CGE-Ansatz (Allgemeines Gleichgewichtsmodell). IAMs unterscheiden sich merklich im Detailgrad, in der Komplexität und in den berücksichtigten Verflechtungen (Weyant 2017): Einige Modelle stellen mit einer kleinen Anzahl relativ einfacher Gleichungen das vollständige Erdsystem dar (z. B. DICE, Nordhaus 2014), während andere aus tausenden physikalischen, chemischen, biologischen und ökonomischen Gleichungen bestehen (z. B. MIT IGSM Modell, Reilly et al. 2012). Das Problem dieser Modelle ist, dass sie bisher auf der Ebene einzelner Länder nicht differenziert genug sind, um konkrete Klimaschutzmaßnahmen abzubilden

und zu evaluieren (Glanemann 2020). Zudem werden IAMs zunehmend sowohl aus theoretischer als auch empirischer Sicht kritisiert (u. a. Pindyck 2013; Stern 2013, Weitzman 2013; Balint et al. 2017), wobei sich die Kritik vor allem auf die eher willkürlich gesetzten Schadensfunktionen und Diskontraten bezieht. Außerdem kann der Eindruck von Kontrolle vermittelt werden, obwohl die Ergebnisse unsicher sind und stark von den gesetzten Annahmen abhängen (siehe u. a. Ackerman et al. 2009; Revesz et al. 2014; Farmer et al. 2015). Und es besteht das Risiko, dass IAMs sowohl die Kosten des Klimawandels als auch die Vorteile des Übergangs zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft unterschätzen (Stern 2016). Darüber hinaus berücksichtigen IAMs keine Rückkopplungsschleifen vom Klimawandel auf die Wirtschaft und das Finanzwesen sowie keine klimapolitische Reflexivität, die sich aus den Auswirkungen des Klimawandels und den Reaktionen der Akteure auf der Mikroebene ergibt (Balint et al. 2017).

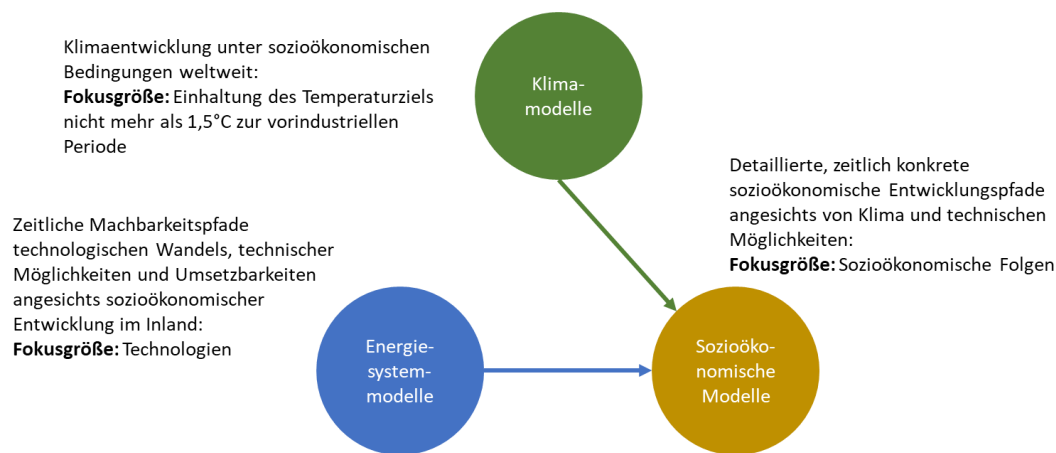
Zumindest für die energiebedingten Emissionen werden „**Energiesystem-Modelle**“ bzw. Bottom-up-Modelle eingesetzt, die im Wesentlichen die techno-ökonomischen Zusammenhänge des Energieeinsatzes und der damit verbundenen Emissionen aus einer Ingenieursicht betrachten und optimieren. Sie basieren auf exogen vorgegebenen ökonomischen Entwicklungspfaden. Ihr Können zeigen sie bei der Analyse, mit welchen existierenden und zu erwartenden Mitteln (Technologien) es möglich ist, die Emissionen zu reduzieren. Das können sie sehr detailliert und mit hohem Kenntnisstand. Diese Modelle prüfen, ob es einen potenziellen oder tatsächlichen kostenoptimalen Technikpfad gibt, der bezogen auf eine ökonomische Entwicklung die Ziele erreicht. Sie beziehen sich meist auf einzelne Sektoren bzw. abgrenzbare Systeme wie den Verkehr oder den Gebäudebereich. Übergreifende Modelle sind wiederum stark aggregiert.

Sozioökonomische Modelle berücksichtigen die Beziehungen und das Zusammenspiel zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Faktoren. Sie lassen sich grob in Allgemeine Gleichgewichtsmodelle (Computable General Equilibrium (CGE), z. B. GEM-E3, Capros et al. 2013 oder GRACE, Aaheim et al. 2009), makroökonometrische Modelle (z. B. E3ME, Cambridge Econometrics 2019; LIFT, IEC 2015 oder PANTA RHEI, Lehr et al. 2020), Stock-Flow Consistent System Dynamics (SFC, z. B. FALLSTAFF, Jackson et al. 2015) sowie agentenbasierte Modelle (Agent Based Models (ABM), z. B. DSK, Lamperti et al. 2020; ENGAGE, Gerst et al. 2013 oder eIRIN, Monasterolo & Raberto 2016) unterteilen. Die Modelle unterscheiden sich in ihrer zugrundeliegenden theoretischen Fundierung und weisen dadurch unterschiedliche Stärken und Schwächen bei der Bewertung von Politikmaßnahmen auf. Während CGE-Modelle auf mikroökonomischer Theorie basieren und Optimierungsverhalten von Unternehmen und Haushalten unterstellen, leiten makroökonometrische und SFC-System-Dynamics-Modelle das Verhalten der Akteure auf Basis von Daten der Vergangenheit empirisch geschätzt ab. Der Gleichgewichtszustand, der sich aus den optimalen Entscheidungen und dem vollständigen Wissen der Agenten ergibt, ist ein wesentlicher Nachteil der CGEs: Vor allem bei der Analyse von Extremereignissen wird der Verlust unterschätzt (Tsuchiya et al. 2007, Okuyama & Santos 2014) und Klimaschutz wirkt meist leicht negativ, weil er die optimale Allokation der Ressourcen stört. In makroökonometrischen Modellen treten eher leicht positive Wirkungen von Klimaschutz auf (EU COM 2018). Beide Modellarten sind Standardinstrumente zur Bewertung von Politikmaßnahmen. ABM können Kipppunkte sowie tiefgreifende Übergänge in sozioökonomischen Systemen berücksichtigen und dadurch vor allem katastrophale Folgen des Klimawandels sowie die

Dringlichkeit und Vorteilhaftigkeit politischen Handelns eher zeigen (Balint et al. 2017). SFC-System-Dynamics-Modelle werden überwiegend im Rahmen des Themenkomplexes „Green Growth“ und „Post-Growth“ eingesetzt und sollen mögliche Pfade/Bedingungen für eine nachhaltige Ökonomie aufzeigen (Jackson et al. 2015).

Für die Evaluation und Szenarienbildung auf nationaler Ebene sind letztlich die Energiesystemmodelle und die sozioökonomischen Modelle die zentralen Instrumente, um den technischen und sozioökonomischen Transformationsprozess in seiner zeitlichen Abfolge passend abzubilden. Die Ergebnisse der Energiesystemmodelle können in reduzierter Form in die sozioökonomischen Modelle integriert werden. Die sozioökonomischen Modelle können die Klimafolgen in Szenarien antizipieren, technische Aspekte des Transformationsprozesses aufnehmen und ihren Blick auf sozioökonomische Folgen von Maßnahmen im Detail richten.

Abbildung 2: Sozioökonomische Modelle im Zusammenspiel



Quelle: GWS

Um solche Modelle im Kontext von Klimawandel einzusetzen, ist es notwendig, dass nicht nur die ökonomische Entwicklung, sondern auch zentrale Zusammenhänge des Energiesystems, die Ökonomie nach verschiedenen Sektoren und die Bevölkerung in ihren Erscheinungsformen (Arbeitskräfte, konsumierende Haushalte sowie investierende und produzierende Unternehmen) abgebildet werden. Die in solche Modelle integrierten Energiemodule sind eine „reduzierte Form“, d. h. es werden wie bei Unternehmen und Personen Gruppen betrachtet (z. B. Sektoren wie die Eisen- und Stahlindustrie). Diese sozioökonomischen Modelle haben die Möglichkeit, über die Brücke „Geld“ Energie- und Wirtschaftsakteure miteinander quasi simultan in Beziehung zu setzen. Während die „Technikmodelle“ also prüfen und zeigen, (1) ob es die technische Möglichkeit gibt, das Ziel Klimaneutralität zu erreichen und (2) welche die günstigste ist, prüfen sozioökonomische Modelle, (1) ob die sozioökonomische Umsetzbarkeit funktioniert und (2) welche Nebenwirkungen sich durch den Instrumenteneinsatz ergeben. Die Frage der Umsetzbarkeit lässt sich leider nicht nur mit Ja beantworten. Akzeptanzprobleme einzelner Technologien wie Windräder oder CCS müssen teils über Annahmen vereinfacht berücksichtigt werden.

Ein Sicherheitspuffer kann helfen

Wenn mit modellgestützten Szenariorechnungen „Vorausschau“ betrieben wird, ist das Einplanen eines Sicherheitspuffers unabdingbar. Man könnte z. B. ein um 5 % niedrigeres Emissionsbudget pro Jahr anstreben, um auch im Fall eines Wirtschaftsbooms, bei Verzögerungen im Ausbau neuer Technologien, einer Umweltkatastrophe wie einer Überschwemmung (die Fortschritte beim Klimaschutz in einer Region verzögert), fehlenden Planungskapazitäten oder Fachkräften das jährliche Emissionsziel sicher zu erreichen. Denn eine Lehre aus der Corona-Pandemie sollte sicher sein, dass ein klimapolitisch notwendiger Lockdown im letzten Quartal eines Jahres wegen Überschreitung des Emissionsbudgets unter allen Umständen verhindert werden sollte. Und eine weitere Lehre, dass die Zusammenhänge häufig komplexer sind als gedacht, ist ebenso deutlich.

Zukunftsszenarien weit fassen

Dafür müssen Zukunftsszenarien sehr viel breiter gedacht werden als bisher. Ein Business-as-usual-Szenario kann nicht als Basis für die Ausrichtung langfristigen Handels dienen, wenn wir gleichzeitig u. a. die Art unseres Energieverbrauchs, der Fortbewegung und der Landwirtschaft revolutionieren müssen. Verschiedene Optionen müssen mit ihren Chancen, Risiken und Nebenwirkungen in anderen Bereichen sehr viel stärker thematisiert und quantifiziert werden. Können wir uns zukünftig noch ein Wirtschaftswachstum von durchschnittlich 1 % pro Jahr klimapolitisch leisten? Was hieße geringeres Wachstum für Arbeitsmarkt und soziale Sicherungssysteme? Ist unsere heutige Mobilität mit Klimaneutralität vereinbar, oder müssen wir sie reduzieren, obwohl sie aktuell trotz Pandemie höher liegt als 2019 (Statistisches Bundesamt 2021)? Wie lässt sich der gesamte Wohnungsbestand bis 2045 klimaneutral gestalten und wieviel Wohnfläche steht pro Kopf dann zur Verfügung? Was passiert, wenn kein grüner Wasserstoff in großem Umfang in den nächsten Jahrzehnten nach Deutschland importiert werden wird? Wie muss das Bildungssystem angepasst werden, damit die Gesellschaft im Jahr 2045 klimaneutral wirtschaften und leben kann? Was machen wir mit der knappen Fläche auch angesichts von Artensterben, Überdüngung und der Notwendigkeit einer Wiedervernässung von Mooren? Diese keineswegs vollständige Liste verdeutlicht, dass wir vor einer Fülle drängender Fragen stehen, die nur mit Rückkopplung zum großen Ganzen beantwortet werden sollten.

Innovationen sind unabdingbar, ... aber auch durch gezielte Förderung und Preisanreize erreichbar

Am Ende des Tages bleibt zu hoffen, dass eine globale Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungskapazitäten auf eine klimaneutrale Zukunft zu einer schnellen Entwicklung der notwendigen klimaneutralen Technologien führen wird. Was Innovationen in Form von technischem Fortschritt und Strukturwandel nicht leisten können, muss angesichts der nicht verhandelbaren Ziele (Kapitel 1) über Verhaltensänderung und am Ende auch über Verzicht von Produktion und materiellen Konsum erbracht werden. Mit Blick auf die Vergangenheit muss uns davor nicht bange sein. Kolumbus hat zwar Westindien nicht erreicht, aber auf dem Weg einen ganz neuen Kontinent entdeckt. Wir wissen vor allem, dass die Zukunft offen und gestaltbar ist. Deutschland wird im Jahr 2045 mit Sicherheit ganz anders aussehen, als wir es uns heute vorstellen. Gute Lotsen können uns sicher dorthin bringen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Aaheim, A., Amundsen, H., Dokken, T., Ericson, T. & Wei, T. (2009): A macroeconomic assessment of impacts and adaptation to climate change in Europe. Center for International Climate and Environmental Research (CICERO) Report No. 6, Oslo.
- Ackerman, F., Howarth, R. B. & Sheeran, K. (2009): Limitations of integrated assessment models of climate change. *Climatic Change* 95, pp. 297–315.
- Ahmann, L., Lutz, C., Kern, F., Lange, S. & Peuckert, J. (2020): Policy Maßnahmesets zur Eindämmung makroökonomischer Rebound-Effekte. ReCap Policy Brief 1, Berlin.
- Balint, T., Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Roventini, A. & Sapio, A. (2017): Complexity and the Economics of Climate Change: A Survey and a Look Forward. *Ecological Economics* 138, pp. 252–265.
- Cambridge Econometrics (2019): E3ME Technical Manual v6.1. Model Manual (V6.1 temporary update), Cambridge.
- Capros, P., Van Regemorter, D., Paroussos, L., Karkatsoulis, P., Fragkiadakis, C., Tsani, S., Charalampidis, I. & Revesz, T. (2013): GEM-E3 model documentation. EUR 26034. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union, JRC83177.
- Climate Action Tracker (2021): EU – Country summary. <https://climateactiontracker.org/countries/eu/>, aufgerufen am 14.06.2021.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2021): Klimaprojektionen. https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/klimaprojektionen_node.html, aufgerufen am 30.09.2021.
- DIW ECON (2021): Wie viel Klimaneutralität steckt in den Wahlprogrammen? Eine Studie für die Stiftung Klimaneutralität.
- Europäische Kommission (2018): A Clean Planet for all – a European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. In-depth analysis in support of the commission communication, COM(2018) 773.
- Europäische Kommission (2020): Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. COM(2020) 562.
- Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P. & Teytelboym, A. (2015): A Third Wave in the Economics of Climate Change. *Environmental and Resource Economics* 62, pp. 329–357.
- Fourastié, J. (1954): Die große Hoffnung des zwanzigsten Jahrhunderts. Köln-Deutz.
- Gao, J., Peng, B. & Smyth, R. (2021): On income and price elasticities for energy demand: A panel data study. *Energy Economics* 96.
- Gerst, M. D., Wang, P., Roventini, A., Fagiolo, G., Dosi, G., Howarth, R. B., Borsuk, M. E. (2013): Agent-based modeling of climate policy: An introduction to the ENGAGE multi-level model framework. *Environmental Modelling & Software* 44, pp. 62–75.

- Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), FutureCamp Climate GmbH (2019): Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Studie für den Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI).
- Glanemann, N., Willner, S. N. & Levermann A. (2020): Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test.
- Hein, F., Litz, P. & Graichen, P. (2021): Abschätzung der Klimabilanz Deutschlands für das Jahr 2021. Nature Communications 11.
- Industrial Economics Incorporated (IEC) (2015): Assessment of the Economy-wide Employment Impacts of EPA's Proposed Clean Power Plan. Cambridge.
- International Energy Agency (IEA) (2021): Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector.
- Jackson, T., Victor, P. A. & Nagvi, A. (2015): Towards a stock-flow consistent ecological macroeconomics. PASSAGE Working Paper 15/02.
- Kahlenborn, W., Linsenmeier, M., Porst, L., Voß, M., Dorsch, L., Lacombe, S., Huber, B., Zebisch, M., Bock, A., Klemm, J., Crespi, A., Renner, K., Lutz, C., Becker, L., Ulrich, P., Distelkamp, M., Behmer, J., Walter, A., Leps, N., Wehring, S., Nilson, E und Jo-chumsen, K. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 – Teilbericht 1: Grundlagen. Climate Change 20/2021, Dessau-Roßlau.
- Lamperti, F., Dosi, G., Napoletano, M., Roventini, A. & Sapio, A. (2020): Climate change and green transitions in an agent-based integrated assessment model. Technological Forecasting and Social Change 153.
- Lehr, U., Flaute., M., Ahmann, L., Nieters, A., Hirschfeld, J., Welling, M., Wolff, C., Gall, A. Kersting, J., Mahlbacher, M. & von Möllendorff, C. (2020): Vertiefte ökonomische Analyse einzelner Politikinstrumente und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht. Climate Change 43/2020, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Lehweiß-Litzmann, R., Vogel, B., Sonnenburg, A., Thobe, I., Wolter, M. I., Krebs, B., Maier, T. (2021): Arbeit für Daseinsvorsorge und Klimaschutz Ringen um Ressourcen oder Segen sozialökologischer Synergien? Impulspapier, Göttingen.
- Mathias, J., Debeljak, M., Deffuant, G., Diemer, A., Dierickx, F., Donges, J. F., Gladkykh, G., Heitzig, J., Holtz, G., Obergassel, W., Pellaud, F., Sánchez, A., Trajanov, A. & Videira, N. (2020): Grounding Social Foundations for Integrated Assessment Models of Climate Change. Earth's Future 8(7), American Geophysical Union (AGU).
- McKinsey & Company (2021): Net-Zero Deutschland. Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2045.
- Mönnig, A., Lutz, C., Becker, L., Maier, T. & Zika, G. (2021): Arbeitsmarkteffekte eines klimaneutralen Langfristpfads bis 2030 – Zusammenfassung der Ergebnisse. Kurzstudie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität, Osnabrück.
- Nordhaus, W. (2014): Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches.

- Okuyama, Y. & Santos, J. R. (2014): Disaster Impact and Input-output analysis. *Economic Systems Research* 26.
- Pindyck, R. S. (2013): Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? *Journal of economic literature* 51(3).
- Porter, M. E. (1991): America's Green Strategy. *Scientific American* 264(4), p. 168.
<http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0491-168>, aufgerufen am 07.10.2021.
- Kemmler, A., Kirchner, A., Auf der Maur, A., Ess, F., Kreidelmeyer, S., Piégsa, A., Spillmann, T., Straßburg, S., Wünsch, M., Ziegenhagen, I. (Prognos AG), Schlomann, B., Plötz, P. (Fraunhofer ISI), Lutz, C., Becker, L. (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung, GWS) & Fritsche, U. (Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, IINAS) (2021): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050 – Gesamtdokumentation der Szenarien. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Reilly, J., Paltsev, S., Strzepek, K., Selin, N. E., Cai, Y., Nam, K.-M., Monier, E., Dutkiewicz, S., Scott, J., Webster, M. & Sokolov, A. (2012): Valuing climate impacts in integrated assessment models: the MIT IGSM. *Climatic Change* 117.
- Reimer, N. & Staud, T. (2021): Deutschland 2050. Wie der Klimawandel unser Leben verändern wird. KiWi-Paperback, 8. Edition.
- Revesz, R. L., Howard, P. H., Arrow, K., Goulder, L. H., Kopp, R. E., Livermore, M. A., Oppenheimer, M. & Sterner, T. (2014): Global warming: Improve economic models of climate change. *Nature* 508.
- Schneller, A., Kahlenborn, W., Töpfer, K., Thürmer, A., Wunderlich, C., Fiedler, S., Schrems, I., Ekardt, F., Lutz, C., Großmann, A., Schmidt-De Caluwe, R., Deinert & O., Neumann, W. (2020): Sozialverträglicher Klimaschutz – sozialverträgliche Gestaltung von Klimaschutz und Energiewende in Haushalten mit geringem Einkommen. Abschlussbericht. UBA Texte 66/2020, Dessau-Roßlau.
- Settele, J. (2020): Die Triple-Krise: Artensterben, Klimawandel, Pandemien. Warum wir dringend handeln müssen. Edel Germany GmbH, Hamburg.
- Statistisches Bundesamt (StBA) (2021): Pressemitteilung Nr. 422 vom 9. September 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/09/PD21_422_12.html, aufgerufen am 30.09.2021.
- Statistisches Bundesamt (StBA) (2021): Zahl der Woche Nr. 36 vom 7. September 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_36_p002.html, aufgerufen am 30.09.2021.
- Stern, D. I. (2012): Interfuel Substitution: A Meta-analysis.
- 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. In: *Journal of Economic Literature*. 51, Nr. 3.
- Stern, N. (2016): Economics: Current climate models are grossly misleading. *Nature* 530.

- Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende & Agora Verkehrswende (2021): Das Klimaschutz-Sofortprogramm. 22 Eckpunkte für die ersten 100 Tage der neuen Bundesregierung. <https://www.stiftung-klima.de/de/politikempfehlungen/sofortprogramm/>, aufgerufen am 30.09.2021.
- Tsuchiya, S., Tatano, H. & Okada, N. (2007): Economic Loss Assessment due to Railroad and Highway Disruptions. Economic Systems Research 19.
- Walkenhorst, O. & Stock, M. (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Eine Le-seanleitung. E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung 6, Han-nover.
- Weitzman, M. L. (2013): Tail-Hedge Discounting and the Social Cost of Carbon. Journal of economic literature 51(3).
- Weyant, J. (2017): Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Cli-mate Change. Review of Environmental Economics and Policy 11(1), University of Chicago Press, pp.115–137.
- Wille, J. (2021): Grüner Stahl aus Schweden. Frankfurter Rundschau, 22.08.2021. <https://www.fr.de/wirtschaft/gruener-stahl-aus-schweden-90935139.html>, aufgerufen am 30.09.2021.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R., Maier, T. & Winnige, S. (2019): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie. Szenario-Rechnungen im Rahmen der fünften Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen; Heft-Nr. 200, Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), Bonn.
- World Weather Attribution (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021