

WACHSTUM UND KLIMASCHUTZ VEREINEN

Wachstum und Klimaschutz vereinen

Auf einen Blick

Die vorliegende Studie „Wachstum und Klimaschutz vereinen“ zeigt, dass Degrowth-Ansätze, anders als oftmals behauptet, nicht zu mehr Klimaschutz führen. Im Gegenteil: Eine Deindustrialisierung Deutschlands bzw. der Europäischen Union (EU) würde die Möglichkeiten, zum Klimaschutz beizutragen, empfindlich schmälern. Entscheidend für den Erfolg der Transformation ist, dass Klimaschutz und Wirtschaftswachstum Hand in Hand gehen. Eine wirksame Klimapolitik gelingt mithilfe geeigneter Rahmenbedingungen, insbesondere einer konsequente CO₂-Bepreisung, unterstützenden staatlichen Maßnahmen und vor allem durch internationale Zusammenarbeit.

Prof. Dr. Veronika Grimm, Dr. Christian Sölch und Johannes Wirth arbeiten folgende Zusammenhänge zwischen Wirtschaftswachstum und Klimaschutz heraus:

- › Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und CO₂-Emissionen ist möglich, gelingt aber noch nicht überall auf der Welt.
- › Wachstum und Innovation sind zentrale Treiber für den Übergang zu klimaneutralem Wirtschaften weltweit.
- › Wachstum ermöglicht es Deutschland und Europa, den globalen Klimaschutz aktiv mitzugestalten.
- › Eine Deindustrialisierung dürfte Europas Beiträge zum Klimaschutz konterkarieren sowie Wachstumspotenziale und Einfluss schwächen.
- › Wirtschaftswachstum ist eng mit den Lebensstandards der Menschen verknüpft und sichert Arbeitsplätze und Steuereinnahmen als Grundlage der sozialen Marktwirtschaft.

- › Wirtschaftswachstum eröffnet Spielräume, um soziale Härten der Klimatransformation abzufedern – eine Voraussetzung für die Akzeptanz der Transformation.

Es gilt, schnellstmöglich die richtigen Weichen für die Transformation der Wirtschaft zu stellen und eine Deindustrialisierung zu verhindern, die sowohl Wachstum als auch Klimaschutz negativ beeinträchtigen würde. Die Energiepolitik muss Rahmenbedingungen für eine bezahlbare Energieversorgung schaffen, den Ausbau zentraler Infrastrukturen (insbesondere für Strom und Wasserstoff) vorantreiben und die Verringerung kritischer Abhängigkeiten durch eine kluge Diversifizierung von Wertschöpfungsketten erreichen. Ergänzend ist eine verlässliche, transparente und langfristig angelegte Klimapolitik erforderlich, mit einer effektiven CO₂-Bepreisung als Leitinstrument. Klimaschutz wird national wie international nur gelingen, wenn Wachstum und Klimaschutz zusammen gedacht werden.

Der Schlüssel für die Verbindung von Wachstum und Klimaschutz sind Innovationen und der technologische Fortschritt. Deutschland und die EU sind in vielen Klimatechnologien führend, doch andere Regionen, allen voran China, holen auf und es gelingt ihnen oft schneller umfangreiche Produktionskapazitäten für Schlüsseltechnologien der Transformation aufzubauen. Um Europas Position bei wichtigen Technologien zu sichern und weiter auszubauen, sind Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie eine gemeinsame europäische Energie- und Klimapolitik unverzichtbar. Angesichts der geopolitischen Entwicklung ist es zudem unerlässlich, trotz möglicher klimapolitischer Differenzen – etwa mit den USA – eine engere Kooperation unter den westlichen Industrienationen anzustreben.

Klimaschutz kann letztendlich nur global gelingen. Die Transformation erfordert eine internationale Zusammenarbeit, bei der große Emittenten in Asien und ressourcenreiche Länder in Afrika und Südamerika eine zentrale Rolle spielen. Die internationale Klimapolitik muss sich weiterentwickeln – von gemeinsamen Zielen und unilateralen Verpflichtungen hin zu gemeinsamen verbindlichen Institutionen, die Klimaschutzziele umsetzen, wie beispielsweise einem CO₂-Mindestpreis oder verbindlichen sektoralen Vereinbarungen. In einem Klimaklub könnte ein Kreis engagierter Staaten zunächst gemeinsam verbindliche Standards etablieren. Der europäische Grenzausgleichsmechanismus könnte dabei als Modell dienen, um die Wettbewerbsfähigkeit klimafreundlicher Industrien in diesen Staaten zu sichern.

Die wegen der Klimatransformation notwendige Neuausrichtung von Handels- und Kooperationsbeziehungen ermöglicht Europa eine Reaktion auf aktuelle geopolitische Veränderungen. Auch viele Länder mit großem Potenzial für erneuerbare Energien können von einer Neuorganisation globaler Wertschöpfungsketten profitieren. Technologietransfer aus fortgeschrittenen Volkswirtschaften kann es ihnen ermöglichen, ihr bevorstehendes Wachstum auf klimafreundlicher Energie statt auf fossilen Ressourcen aufzubauen (Leapfrogging). Europa könnte wiederum durch die Diversifizierung der Importe von sauberer Energie und Rohstoffen gestärkt werden. Um diese Chancen zu nutzen gilt es, bei internationalen Handelsabkommen und beim Klimaschutz einen Ansatz zu verfolgen, der weniger von starren Prinzipien geprägt ist und stattdessen stärker auf die Zielerreichung abstellt. Eine flexiblere und an den globalen Realitäten orientierte Herangehensweise könnte helfen, die globalen Klimaziele wirksamer zu unterstützen und gleichzeitig wirtschaftliche Interessen der Kooperationspartner zu berücksichtigen.

Im letzten Kapitel geben die Autoren einen Überblick über die zentralen Handlungsempfehlungen, die sich aus der Studie ableiten lassen:

- › Schaffung eines verlässlichen und effektiven Rahmens für Energiemärkte und Klimaschutz
- › Begrenzte staatliche Förderung zur Sicherstellung einer bezahlbaren Energieversorgung sowie der Versorgungssicherheit
- › Abbau von unwirksamer Regulierung und Bürokratie
- › Internationale Klimaschutzkooperation durch gemeinsame und verbindliche Institutionen
- › Stärkung des Wachstumspotenzials, etwa durch Erhöhung des Arbeitsvolumens, Reformen im Sozial- und Bildungswesen und bessere Integration der Kapitalmärkte

Bereits gut informierte Leserinnen und Leser, die vor allem an konkreten Handlungsempfehlungen interessiert sind, können die Lektüre hier beginnen und dann selektiv die Details zu den einzelnen Vorschlägen in den früheren Kapiteln nachlesen, auf die in einer Überblickstabelle verwiesen wird. Ansonsten ist die Studie so aufgebaut, dass das für das Verständnis nötige Wissen in den jeweiligen Kapiteln nach und nach entwickelt wird.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Wachstum und Klimaschutz: Deutschland und die EU im globalen Kontext	12
2.1 Treibhausgasemissionen	13
2.1.1 Die Treiber von Treibhausgasemissionen weltweit	13
2.1.2 Entkopplung von Wachstum und Emissionen möglich, aber nicht überall Realität	20
2.2 Technologien	21
2.2.1 Klimaschutztechnologien: Heute verfügbar, durch Fortschritt zukünftig günstiger	22
2.2.2 Kosten der klimaneutralen Stromversorgung als entscheidender Faktor	23
2.2.3 Fehlende Produktionskapazitäten und lange Fertigstellungszeiten von Anlagen	25
2.2.4 Innovationskraft und Kapitalmärkte als wichtig(st)e Wachstumstreiber	27
2.2.5 Internationale Arbeitsteilung und Kooperation bleiben wichtig....	28
2.3 Institutionen	30
2.3.1 Globale Klimakooperation – erste Schritte sind gemacht	30
2.3.2 Der Schlüssel zum Erfolg: Gemeinsame Institutionen	33
3 Degrowth führt nicht zu mehr Klimaschutz	35
3.1 Deindustrialisierung und Carbon Leakage	36
3.1.1 Ohne Importe klimaneutraler Energie: Industrieabwanderung und Carbon Leakage	36
3.1.2 Abwanderung der energieintensiven Industrie dürfte Klimaschutz konterkarieren	39
3.2 Sozialstaat und Verteidigungsfähigkeit	41
3.2.1 Schrumpfung schafft Herausforderungen bei der Erfüllung staatlicher Aufgaben	41
3.2.2 Steigende Ausgabenbedarfe: Verteidigungsfähigkeit, Bildung, Infrastrukturen	42
3.2.3 Fehlende Abfederung von Härten gefährdet Akzeptanz von Klimaschutz	43
3.2.4 Nachhaltige Finanzpolitik als Grundlage von Wachstum und Klimaschutz	44

4 Wachstum und Klimaschutz vereinbaren: Kooperation und Wettbewerb	45
4.1 Vorbildfunktion: Imitiert wird nur, was funktioniert	46
4.1.1 Rahmenbedingungen	46
4.1.2 Technologische Umsetzung	47
4.1.3 Standards und Zertifizierung	49
4.1.4 Negative Beispiele schrecken ab	49
4.2 Internationale Kooperation und Unterstützung.....	50
4.2.1 Strategische Klimakooperation: Gemeinsame Institutionen sind der Schlüssel.....	50
4.2.2 Energieimporte: Neue Energieanbieter unterstützen, Synergieeffekte heben	52
4.2.3 Geopolitik: Verflechtungen schaffen Stabilität, aber auch Angriffspunkte	54
4.3 Günstige Energieversorgung sichern	56
4.3.1 Infrastrukturen ausbauen	56
4.3.2 Den gemeinsamen Strommarkt in Europa stärken	57
4.3.3 Die Kosten der Energieversorgung im Blick behalten	58
4.3.4 Wasserstoff und Derivate: Das Henne-Ei-Problem lösen	59
4.3.5 Die Rolle von blauem Wasserstoff und Negativemissionen.....	62
4.4 Resilienz und Wachstum stärken, Strukturwandel zulassen	62
4.4.1 Das Arbeitsvolumen erhöhen, Humankapital stärken	63
4.4.2 Investitionen dorthin lenken wo die Produktivität hoch ist	64
4.4.3 Resilienz: Strategische Industriepolitik, fokussiert und europäisch	65
4.4.4 Nicht gegen ungünstige Rahmenbedingungen anfordern	67
4.4.5 Klare Rahmenbedingungen anstatt Flickenteppich: Das Beispiel der CO ₂ -Bepreisung.....	67
4.5 Härten abfedern, den Menschen Chancen eröffnen.....	70
4.5.1 Klimageld	71
4.5.2 Investitionen.....	72
4.5.3 Kommunikation	72
5 Handlungsempfehlungen	73
5.1 Verlässlicher und effektiver Rahmen für die Energie- und Klimapolitik	75
5.2 Staatliche Förderung und spezifische Eingriffe	78
5.3 Abbau von Regulierung und Bürokratie	80
5.4 Internationale Klimakooperation	81
5.5 Das Wachstumspotenzial stärken.....	83
6 Literatur	86
Autorin und Autoren	107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einflussfaktoren von THG-Emissionen – die Kaya-Identität	14
Abbildung 2:	Einflussgrößen der Kaya-Identität	15
Abbildung 3:	Direkte und indirekte Elektrifizierung.....	18
Abbildung 4:	Entkopplung von Wachstum und Emissionen gelingt noch nicht überall	20
Abbildung 5:	Bedeutung von Technologien für erfolgreichen Klimaschutz.....	22
Abbildung 6:	Vergleich von Stromgestehungskosten	24
Abbildung 7:	Hemmnisse für die Energiewende	26
Abbildung 8:	Innovationskraft durch Patente.....	28
Abbildung 9:	Förderung und Weiterverarbeitung strategischer Rohstoffe	29
Abbildung 10:	Übersicht – Klimaziele und bestehende THG-Bepreisungssysteme	31
Abbildung 11:	Strombedarf zur Deckung des für Deutschland prognostizierten Bedarfs an grünem Wasserstoff	37
Abbildung 12:	Gestehungskosten von klimaneutralen High Value Chemicals nach Standort der einzelnen Prozessschritte (in Relation zur Produktion in Deutschland).....	38
Abbildung 13:	CO ₂ -Fußabdruck von Produktion und Konsum können auseinanderlaufen	40
Abbildung 14:	Sozialausgaben und Staatsquote	42
Abbildung 15:	Geringe Spielräume für zukunftsorientierte Ausgaben.....	43
Abbildung 16:	Blockausrichtung der Länder und Teilnahme an der neuen Seidenstraße	55
Abbildung 17:	Potenziale für die Beimischung von Wasserstoff in das Gasnetz.....	61
Abbildung 18:	Wachstum des Produktionspotenzials in Deutschland	64
Abbildung 19:	THG-Bepreisung in Deutschland	69
Abbildung 20:	Zentrale Handlungsempfehlungen der Studie	74

Abkürzungsverzeichnis

AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation	KTF	Klima- und Transformationsfonds
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz	kWh	Kilowattstunde
BIP	Bruttoinlandsprodukt	l	Liter
BMF	Bundesministerium der Finanzen	LCOE	Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Electricity)
BWS	Bruttowertschöpfung	LCOLC	Levelized Cost of Load Coverage
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism	ME	Mengeneinheit
CCMT	Climate Change Mitigation Technology	MENA	Middle East and North Africa
CCS	Carbon Capture and Storage	Mt	Megatonne
CCU	Carbon Capture and Utilization	MWh	Megawattstunde
CDR	Carbon Dioxide Removal	OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive	OWID	Our World in Data
ct	Eurocent	PV	Photovoltaik
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz	RED	Renewable Energy Directive
EEM	Expertenkommission zum Energiewende- Monitoring	RGGI	Regional Greenhouse Gas Initiative
EHS/ ETS	Emissionshandelssystem/Emissions Trading System	SVR	Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung
EJ	Exajoule	t	Tonne
EPO	Europäisches Patentamt (European Patent Office)	TFP	Totale Faktorproduktivität
EU	Europäische Union	THG	Treibhausgas
EUR	Euro	Tsd.	Tausend
GJ	Gigajoule	TTIP	Transatlantic Trade and Investment Partnership
IEA	Internationale Energieagentur	TWh	Terawattstunde
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik	UN	United Nations (Vereinte Nationen)
IPF	Internationale Patentfamilie (international patent family)	USD	US-Dollar
IRA	Inflation Reduction Act	WTO	Welthandelsorganisation (World Trade Organization)
KKP	Kaufkraftparität		

1

EINLEITUNG



Der Klimawandel zählt zu den bedeutendsten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und stellt die globale Gemeinschaft vor komplexe Aufgaben. Der anhaltende Anstieg der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), überwiegend verursacht durch die Nutzung fossiler Energieträger, führt zu tiefgreifenden Veränderungen im globalen Klimasystem und bedroht nicht nur die ökologische, sondern auch die wirtschaftliche und soziale Stabilität. In Industrieländern wie Deutschland und der Europäischen Union (EU) hat die Gestaltung wirksamer Klimapolitiken daher hohe Priorität. Dabei sind Innovationskraft und wirtschaftliche Dynamik essenziell, um die erforderlichen Veränderungen in den Sektoren Energie, Industrie und Mobilität voranzutreiben – sowohl in der EU als auch weltweit. Eine effizientere Ressourcennutzung kann zudem neue Wachstumsimpulse setzen und die Wettbewerbsfähigkeit stärken, womit der schonende Umgang mit Ressourcen nicht im Widerspruch zu wirtschaftlichem Wachstum steht, sondern dieses im Gegenteil fördern kann.

Allerdings ist die Situation in Deutschland besonders herausfordernd, da die Wirtschaft bereits vor Beginn der Coronapandemie im Jahr 2020 mit einer strukturellen Wachstumsschwäche konfrontiert war, die durch die jüngsten Krisen nun zusätzlich verschärft wurde. Vor diesem Hintergrund gilt es, das wirtschaftliche Wachstum wiederzubeleben und gleichzeitig eine führende Rolle bei der globalen Reduktion der THG-Emissionen einzunehmen. Dabei dürfte es eine Gelingensbedingung sein, dass internationale Wettbewerbsfähigkeit erhalten bleibt und soziale Ungleichheiten nicht zunehmen.

Diese Studie untersucht, wie Deutschland und die EU ihre wirtschaftlichen und klimapolitischen Ziele in Einklang bringen können. Kapitel 2 beleuchtet dazu zunächst die Ursachen und Treiber von Treibhausgasemissionen sowie die weltweite Entwicklung relevanter Technologien, Institutionen und Rahmenbedingungen, die für die Verbindung von Wachstum und Klimaschutz von zentraler Bedeutung sind. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Rolle technologischer Innovationen, geeigneten Rahmenbedingungen zu ihrer Verbreitung und internationaler Kooperationen beim Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft. Dabei werden einerseits die Verfügbarkeit von Klimaschutztechnologien, aber auch deren Kosten und Umsetzungshürden analysiert, ebenso wie die institutionellen Rahmenbedingungen, die für die Akzeptanz und den Erfolg der Transformation unerlässlich sind.

Kapitel 3 der Studie veranschaulicht an verschiedenen Beispielen, dass Wachstum und Klimaschutz nicht nur miteinander vereinbar sind, sondern sich gegenseitig bedingen. Im Gegensatz zu Degrowth-Theorien, die eine bewusste Schrumpfung der Wirtschaft als Mittel zum Klimaschutz propagieren, zeigt diese Studie auf, dass eine Abkehr von Wirtschaftswachstum kontraproduktiv sein dürfte. Besonders im Hinblick auf die Gefahr des Carbon Leakage, also der Verlagerung von Emissionen durch Produktionsauslagerung in Länder mit weniger strengen Umweltauflagen, unterstreicht die Studie die Notwendigkeit, den industriellen Strukturwandel aktiv (aber effizient) zu gestalten sowie international zu verankern. Außerdem wird beispielhaft aufgezeigt, dass ein Degrowth-Ansatz nicht mit der Erfüllung staatlicher Aufgaben in den Bereichen soziale Sicherung, Bildung und Verteidigung vereinbar wäre. Ein solcher Degrowth-Ansatz könnte daher anderen Ländern kaum als Modell für erfolgreichen Klimaschutz dienen.

In Kapitel 4 skizziert die Studie vor dem Hintergrund der aktuellen globalen Rahmenbedingungen, wie Klimaschutz und Wachstum in Einklang gebracht werden können. Es werden konkrete Empfehlungen formuliert, die unterschiedliche Ebenen und Handlungsfelder adressieren. Im Fokus stehen zum einen Optionen zur Vertiefung und Stärkung der globalen Klimakooperation vor dem Hintergrund der aktuellen geopolitischen Entwicklungen. Um gemeinsame Klimaziele effektiv zu verfolgen, ist es notwendig, statt unilateraler Zusagen gemeinsame (reziproke) Institutionen von Staatengemeinschaften zu verankern. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Transformation der Energieversorgung in Deutschland und Europa skizziert, die durch eine Stärkung institutioneller Rahmenbedingungen unterstützt werden müssen. Um die notwendigen Ressourcen und finanziellen Spielräume für die Transformation zu sichern, ist es unerlässlich, das Produktionspotenzial in Deutschland wieder zu stärken. Dafür bedarf es einer wachstumsorientierten Wirtschaftspolitik, die auf umfassenden Strukturreformen in verschiedenen Bereichen fußt. Eine nachhaltige Finanzpolitik, die die langfristige Handlungsfähigkeit des Staates sicherstellt, ist dabei ebenso entscheidend wie eine glaubwürdige Strategie zur Abmilderung sozialer Härten, um die breite gesellschaftliche Akzeptanz für eine langfristige Klimapolitik zu gewährleisten.

Kapitel 5 fasst zentrale Handlungsempfehlungen zusammen, die aufzeigen, wie eine kohärente und zukunftsorientierte Klimapolitik sowohl ökologisch als auch ökonomisch erfolgreich gestaltet werden kann. Die Studie bewegt sich aufgrund der umfassenden Themenstellung auf einem schmalen Grat. Um sinnvoll beleuchten zu können, wie sich Wachstum und effektiver Klimaschutz gegenseitig bedingen, kann die Komplexität nur bedingt reduziert werden: sowohl die globale Dimension von effektivem Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit als auch die Bedeutung wichtiger Politikbereiche, wie Finanz-, Verteidigungs- und Sozialpolitik, müssen für das Gelingen der europäischen und globalen Energiewende beleuchtet werden. Aus diesem Grund dürfte in einigen Bereichen eine vertiefte Betrachtung der Zusammenhänge angezeigt sein, die im Rahmen der Studie nicht möglich war. In diesen Fällen wird systematisch versucht, durch Verweise auf weiterführende Quellen Ansatzpunkte für eine tiefere Auseinandersetzung zu bieten. Wo keine solchen Quellen zur Verfügung stehen, sollte dies Anlass sein, die Zusammenhänge in zukünftigen Untersuchungen eingehender zu beleuchten und so der öffentlichen Diskussion zugänglich zu machen.



2
**WACHSTUM UND
KLIMASCHUTZ:**

**DEUTSCHLAND
UND DIE EU
IM GLOBALEN
KONTEXT**

Mit dem Green Deal wurde 2019 in Europa die Klimaneutralität im Jahr 2050 beschlossen. Die deutsche Bundesregierung geht sogar noch einen Schritt weiter und strebt dieses Ziel seit der Änderung des Klimaschutzgesetzes 2021 bereits für 2045 an. Während bisher vor allem in den Bereichen Fortschritte erzielt wurden, in denen die Dekarbonisierung vergleichsweise kostengünstig zu erreichen war, richten sich die kommenden Anstrengungen zunehmend auf Sektoren, in denen die Vermeidungskosten – also die Kosten, um CO₂-Emissionen zu reduzieren – höher sind und die gleichzeitig einen direkten Einfluss auf das Leben der Menschen haben. Einige dieser Handlungsfelder, wie die Umstellung der Mobilität und der Wärmeerzeugung, sind politisch herausfordernd, da sie private Haushalte vor Herausforderungen stellen. Andere, wie die Transformation der Industrie, stellen besonders große Herausforderungen dar, weil sie das Wachstumspotenzial und damit auch den Wohlstand der gesamten Volkswirtschaft entscheidend beeinflussen werden.

Für die Politik in vielen europäischen Ländern rückt der Zusammenhang zwischen ambitioniertem Klimaschutz, internationaler Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftlichem Wachstum zunehmend in den Fokus [1], [2], [3]. Die globale Verschiebung der Standortvorteile (etwa der relativen Energiekosten) im Zuge der Umstellung auf erneuerbare Energien wird einen tiefgreifenden Strukturwandel innerhalb Europas auslösen und zugleich die internationalen Handelsbeziehungen verändern. Deutschland und die EU sind stark in globale Lieferketten eingebunden, und Energie- sowie Rohstoffimporte werden weiterhin eine zentrale Rolle spielen, müssen jedoch zunehmend nachhaltiger und resilienter gestaltet werden. Schwellenländer, von denen viele auf einen deutlichen Zugewinn an Wohlstand in diesem Jahrhundert hoffen, werden aus eigenem Antrieb, aber auch unter dem Druck der Weltgemeinschaft ihre Wachstumsziele mit nachhaltigem Wirtschaften in Einklang bringen müssen. Für Entwicklungsländer eröffnen sich in diesem Wandel potenziell weitreichende Chancen, von den Veränderungen zu profitieren.

2.1 Treibhausgasemissionen

2.1.1 Die Treiber von Treibhausgasemissionen weltweit

Um das Zusammenspiel von Wachstum und Klimaschutz umfassend zu beleuchten, ist es zunächst wichtig, die globale Perspektive und die verschiedenen Rollen der EU im globalen Kontext in den Blick zu nehmen. Eine anschauliche Methode zur Analyse der THG-Emissionen ist ihre Zerlegung mit Hilfe der Kaya-Identität, die die verschiedenen Einflussfaktoren menschlichen Handelns auf die globalen Emissionen veranschaulicht. Abbildung 1 stellt die Kaya-Identität dar und ordnet die einzelnen Einflussfaktoren den Bereichen „Konsum“ und „Technologie“ zu.

Konsumseitig wirken sich das Bevölkerungswachstum und der weltweit steigende Wohlstand (in der Kaya-Identität ausgedrückt durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf) auf die THG-Emissionen aus (die ersten beiden Terme der Kaya-Identität). Diese Entwicklungen, die sich überwiegend außerhalb Europas abspielen, stellen erhebliche Herausforderungen dar, da sie sowohl die Zielerreichung im Klimaschutz als auch die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Staaten im internationalen Kontext beeinflussen (vgl. z. B. [7]). Zudem tragen globale Megatrends, wie der stark

Abbildung 1: Einflussfaktoren von THG-Emissionen – die Kaya-Identität

$$Emissionen = \underbrace{Bevölkerung \times \frac{BIP}{Bevölkerung}}_{\text{Konsum}} \times \underbrace{\frac{Energieverbrauch}{BIP} \times \frac{Emissionen}{Energieverbrauch}}_{\text{Technologie}}$$

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [4], [5], [6].

zunehmende Energieverbrauch durch Rechenzentren und die Entwicklung im Bereich Künstlicher Intelligenz, zur Verschärfung dieser Herausforderungen bei [8], [9], [10], [11]. Es gilt daher, genau zu analysieren, in welchen Regionen der Welt Bevölkerungswachstum und dynamisches Wirtschaftswachstum zu erwarten sind, ob dort weiterhin Renten (Erlöse) aus der Nutzung und dem Handel fossiler Energieträger eine wichtige Rolle spielen werden und welche politischen Ziele und Regulierungen die Entwicklungen beeinflussen. Außerdem ist es entscheidend, genau zu analysieren, welche Hebel Deutschland und Europa nutzen können, um ein effizientes Zusammenspiel von Wachstum und Klimaschutz weltweit zu ermöglichen und wer mögliche Kooperationspartner auf diesem Weg sind.

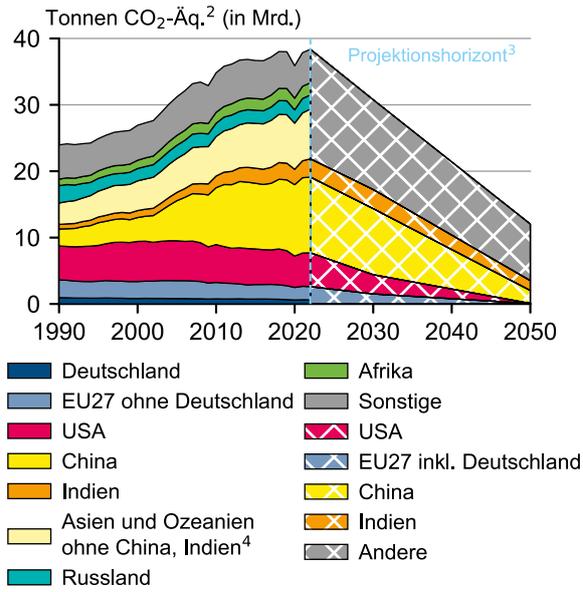
Der dritte und der vierte Term der Kaya-Identität zeigen die Chancen, die sich durch technologischen Fortschritt bieten. Sowohl die Reduktion der Energieintensität in der Produktion (etwa durch Energieeffizienzmaßnahmen), als auch die Senkung der Emissionen in der Energieerzeugung (zum Beispiel durch den Umstieg auf erneuerbare Energien) bieten Potenziale für den Klimaschutz und die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Staaten. Dabei ist es wichtig, zu verstehen, welche Regionen führend bei der Entwicklung und Umsetzung von Energiewendetechnologien sind und wie klimafreundliche Verfahren gegenüber herkömmlichen Produktionsprozessen wettbewerbsfähig gemacht werden können. Auch hier muss die globale Perspektive berücksichtigt werden, um die Chancen und Risiken für Europa richtig einzuschätzen.

Abbildung 2 erlaubt eine Einordnung der verschiedenen Komponenten der Kaya-Identität (Emissionen auf der einen Seite und andererseits Bevölkerungswachstum, BIP, Energieintensität der Produktion, sowie die Verfügbarkeit erneuerbar und fossiler Energie) im internationalen Vergleich. Abbildung 2 a) illustriert die Entwicklung der Anteile an den energiebedingten THG-Emissionen. Auf die EU27 entfallen heute etwa 7 % (Deutschland 2 %), auf Indien ebenfalls 7 %, auf die USA 13 % und auf China 30 % der weltweiten Emissionen. Im „Announced Pledges“-Szenario der Internationalen Energieagentur (IEA), in welchem angenommen wird, dass alle von Regierungen und Industrien weltweit eingegangenen Klimaschutzverpflichtungen vollständig und pünktlich erfüllt werden, wird bis 2030 ein Rückgang der Emissionen in der EU, den USA und China prognostiziert, während Indien einen moderaten Anstieg um 5 % im Vergleich zu 2022 verzeichnen könnte [12], [13].

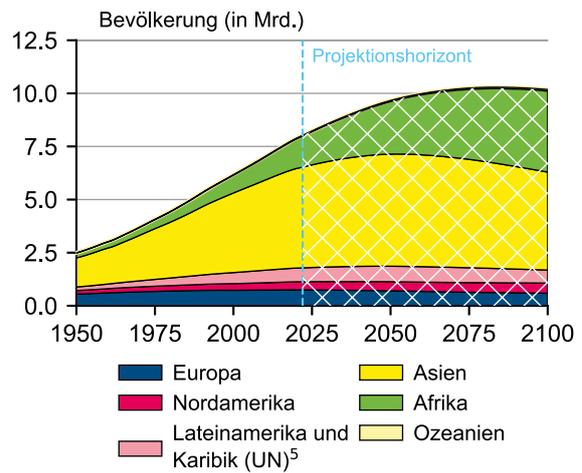
Abbildung 2 b) zeigt die zu erwartende Bevölkerungsentwicklung als wichtigen Einflussfaktor. Nicht nur hinsichtlich der THG-Emissionen, sondern auch mit Blick auf die Größe der Märkte (für CleanTech oder allgemein als Handelspartner) zeigt sich, dass Asien und perspektivisch auch Afrika eine wichtige Rolle einnehmen werden. Europas Fokus als Technologielieferant sollte sich nicht nur aufgrund des Marktpotenzials, son-

Abbildung 2: Einflussgrößen der Kaya-Identität

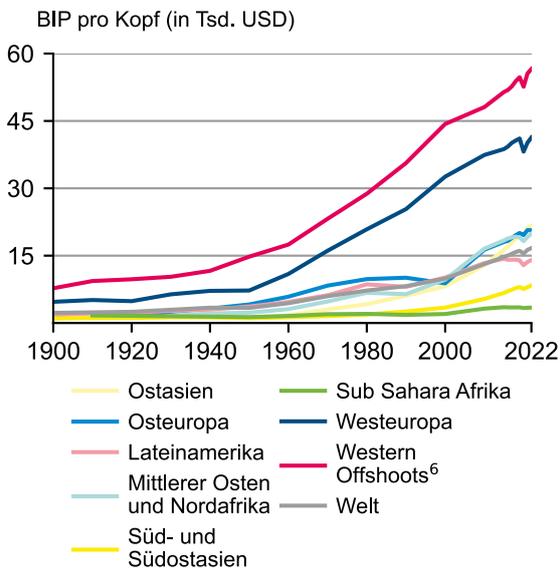
a) Energiebedingte¹ THG-Emissionen von 1990 bis 2050 (Prognose: IEA Announced Pledges)



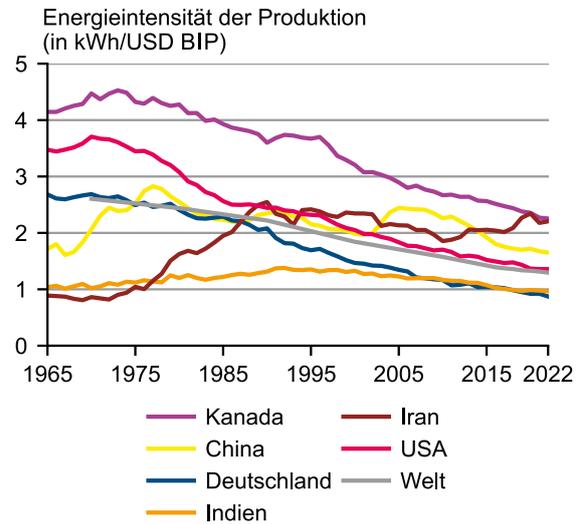
b) Historische Entwicklung und Prognosen der Weltbevölkerung nach Region



c) Entwicklung BIP pro Kopf nach Weltregionen



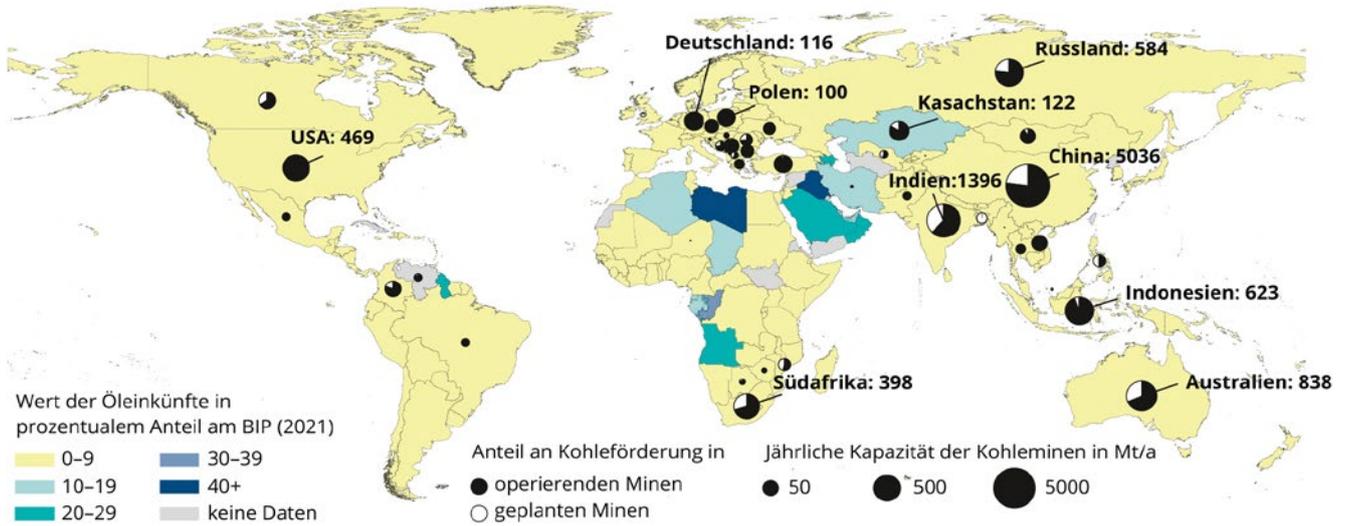
d) Energieintensität der Produktion (ausgewählte Länder)



Anmerkungen: 1 – Enthalten sind die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Nicht enthalten sind Emissionen aus dem LULUCF-Sektor („Land Use, Land Use-Change and Forestry“). 2 – Zur besseren Vergleichbarkeit werden andere THG-Emissionen als CO₂ in CO₂-Äquivalente umgerechnet, die über einen gegebenen Zeitraum dieselbe Erderwärmung bewirken. 3 – Prognosen basierend auf linearer Interpolation des „Announced Pledges“ Szenario der IEA [12]. 4 – umfasst die Regionen „OECD Asia Oceania“ und „Asia (excl. China)“ aus [13]. 5 – Einteilung der Regionen nach den United Nations (UN). 6 – „Western Offshoots“ umfasst die Länder USA, Kanada, Australien und Neuseeland.

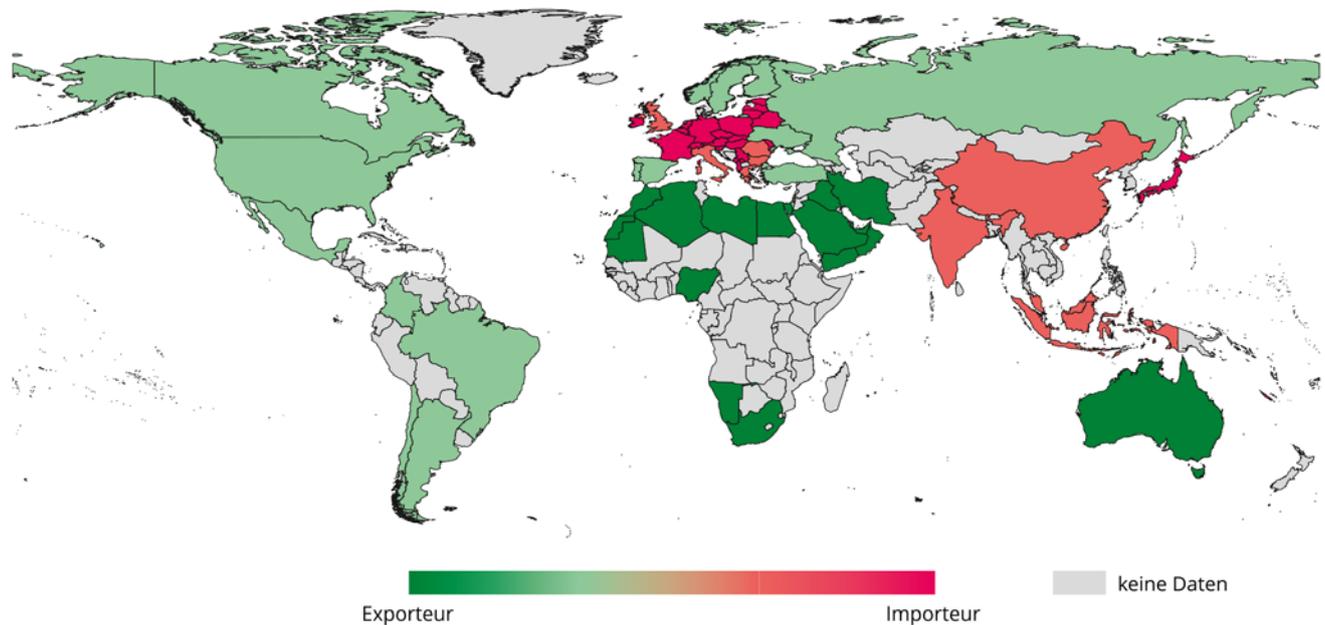
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf **a)** [12], [13] und eigenen Berechnungen; **b)** [14] – bearbeitet durch OWID; **c)** [15] – bearbeitet durch OWID. Die Datenbank des Maddison Projekts basiert auf der Arbeit vieler Forscher, die Schätzungen des Wirtschaftswachstums und der Bevölkerung für einzelne Länder erstellt haben. Die vollständige Liste der Quellen für diese historischen Daten ist in [15] zu finden; und **d)** [15], [16], [17] – bearbeitet durch OWID.

e) Fossile Energieträger: Öl-Renten und Kohleförderkapazitäten nach Ländern



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [18], [19], [20]. Ländergrenzen basierend auf [21].

f) Erneuerbare Energieträger: Potenzial für Import und Export von grünem Wasserstoff und Derivaten



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [22], [23], [24] und eigenen Einschätzungen. Ländergrenzen basierend auf [21].

dem auch im Hinblick auf die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen auf diese Regionen richten.

Abbildung 2 c) zeigt die Entwicklung des BIP pro Kopf in den verschiedenen Weltregionen. Während die USA und Westeuropa seit dem zweiten Weltkrieg ihren Wohlstand deutlich steigern konnten, befinden sich die übrigen Regionen der Welt noch in einem Aufholprozess. Mit zunehmendem BIP pro Kopf dürfte somit auch die Dringlichkeit von wirksamem Klimaschutz in diesen Regionen wachsen.

In Abbildung 2 d) wird der dritte Term der Kaya-Identität – die Energieintensität der Produktion – für verschiedene Weltregionen in den Blick genommen und so gleichsam die Chancen der Emissionsvermeidung aufgezeigt. In den fortgeschrittenen Volkswirtschaften konnte die Energieintensität in den letzten Jahrzehnten deutlich gesenkt werden. In Schwellen- und Entwicklungsländern hingegen kann sie mit zunehmender Industrialisierung zunächst steigen. Hier wird entscheidend sein, wie schnell der Technologietransfer erfolgt und ob im Zuge der Aufholprozesse der aktuelle Stand der Technologie übersprungen werden kann („Leapfrogging“ ↘ **Hintergrund 2** in Abschnitt 2.2.1).

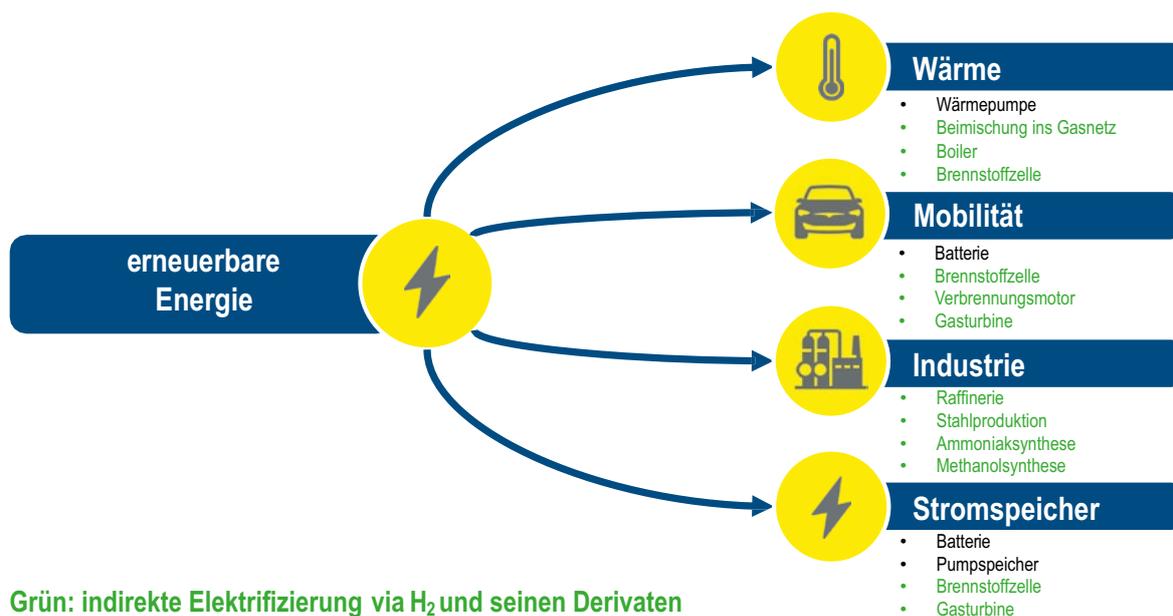
Abbildung 2 e) und Abbildung 2 f) beleuchten den letzten Term der Kaya-Identität, der sich auf die Emissionen der Energieerzeugung bezieht. Abbildung 2 e) zeigt die Herausforderungen auf: Viele Länder, in denen ein starkes Wachstum zu erwarten ist, erzielen heute hohe Einnahmen aus dem Verkauf fossiler Energieträger. Oft sind politische Entscheidungsträgerinnen und -träger eng mit dem Energiesektor verbunden, und neue fossile Projekte werden weiterhin in großem Umfang vorangetrieben. Europa, heute ein bedeutender Importeur fossiler Energieträger, strebt an, diese Importe durch klimafreundliche Energieträger zu ersetzen. Doch mit abnehmender Nachfrage aus den Industrienationen werden die fossilen Energieträger zunehmend den Entwicklungs- und Schwellenländern zur Verfügung stehen. Klimaschutz kann nur gelingen, wenn auch für diese Länder der Umstieg auf erneuerbare Energien attraktiver wird als die Nutzung fossiler Brennstoffe, oder wenn Technologien wie Carbon Capture and Storage (CCS) die CO₂-Intensität fossiler Energien senken.

Das globale Potenzial für erneuerbare Energien und die damit verbundene Produktion von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten ↘ **Hintergrund 1** ist weltweit groß, wie in Abbildung 2 f) beispielhaft illustriert wird (vgl. auch z. B. [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]). In der Abbildung sind Länder grün bzw. dunkelgrün dargestellt, die zukünftig ein beträchtliches Potenzial haben, Wasserstoff zu exportieren. Auffällig ist, dass viele Länder, die über fossile Ressourcen verfügen, auch gute Voraussetzungen zum Export von Wasserstoff und grünen Energieträgern haben. Dies könnten die fortgeschrittenen Volkswirtschaften in ihrer Klima-, Handels- und Wirtschaftspolitik berücksichtigen. Pink bzw. hellrot sind Länder dargestellt, die zukünftig einen signifikanten Anteil ihres Bedarfs an stofflichen Energieträgern (Wasserstoff und Derivate) durch Importe decken müssen. Europa, ebenso wie Japan und Korea, gehört zu den Regionen, die ihren Bedarf nicht selbst decken können, anders als beispielsweise die USA. Das muss bei allen klima-, energie- und handelspolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden.

Hintergrund 1: Die Rolle von Wasserstoff und seinen Derivaten im zukünftigen Energiesystem

Um ein vollständig klimaneutrales Energiesystem zu erreichen, ist die direkte und die indirekte Elektrifizierung entscheidend. Alle Verbrauchssektoren – Wärme, Mobilität, Industrie und Stromerzeugung – müssen durch klimafreundliche Energie versorgt werden, wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Am Anfang der Energieprozesskette stehen hier erneuerbare Energien, wie z. B. Photovoltaik (PV), Wind, Wasserkraft oder Geothermie. In einigen Staaten soll auch Atomkraft zur Defossilisierung eingesetzt werden. Viele heute durch die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas versorgte Anwendungen lassen sich in Zukunft direkt elektrifizieren, wie z. B. der Wärmesektor durch den Einbau von Wärmepumpen, oder der Individualverkehr durch den Einsatz batterieelektrischer Fahrzeuge. Andere Anwendungen, etwa in der Chemieindustrie oder im Schwerlastverkehr können aus technischen oder auch ökonomischen Gesichtspunkten nicht vollumfänglich direkt elektrifiziert werden. Darüber hinaus gestaltet es sich (technisch und auch ökonomisch) schwierig, (erneuerbaren) Strom in großen Mengen und für längere Zeiträume zu speichern, bzw. diesen über große Distanzen zu transportieren. Ist eine direkte Elektrifizierung energieintensiver Prozesse nicht möglich oder nicht wirtschaftlich, so gewinnen klimaneutral hergestellte stoffliche Energieträger an Bedeutung. Diese Energieträger basieren auf klimafreundlichem Wasserstoff, der entweder direkt oder in der Form von Derivaten wie Ammoniak, Methanol oder auch synthetischen Kraftstoffen zur Anwendung kommt. Wird der Wasserstoff (direkt oder als Ausgangsprodukt für Derivate) durch erneuerbaren Strom mittels Elektrolyse von Wasser hergestellt, so spricht man in diesem Zusammenhang von „grünem“ Wasserstoff. Regionen, die abzüglich ihres eigenen Bedarfs an erneuerbarer Energie aufgrund besonders guter Bedingungen für die erneuerbare Stromerzeugung Überschüsse generieren, können diese Überschüsse

Abbildung 3: Direkte und indirekte Elektrifizierung



Grün: indirekte Elektrifizierung via H₂ und seinen Derivaten

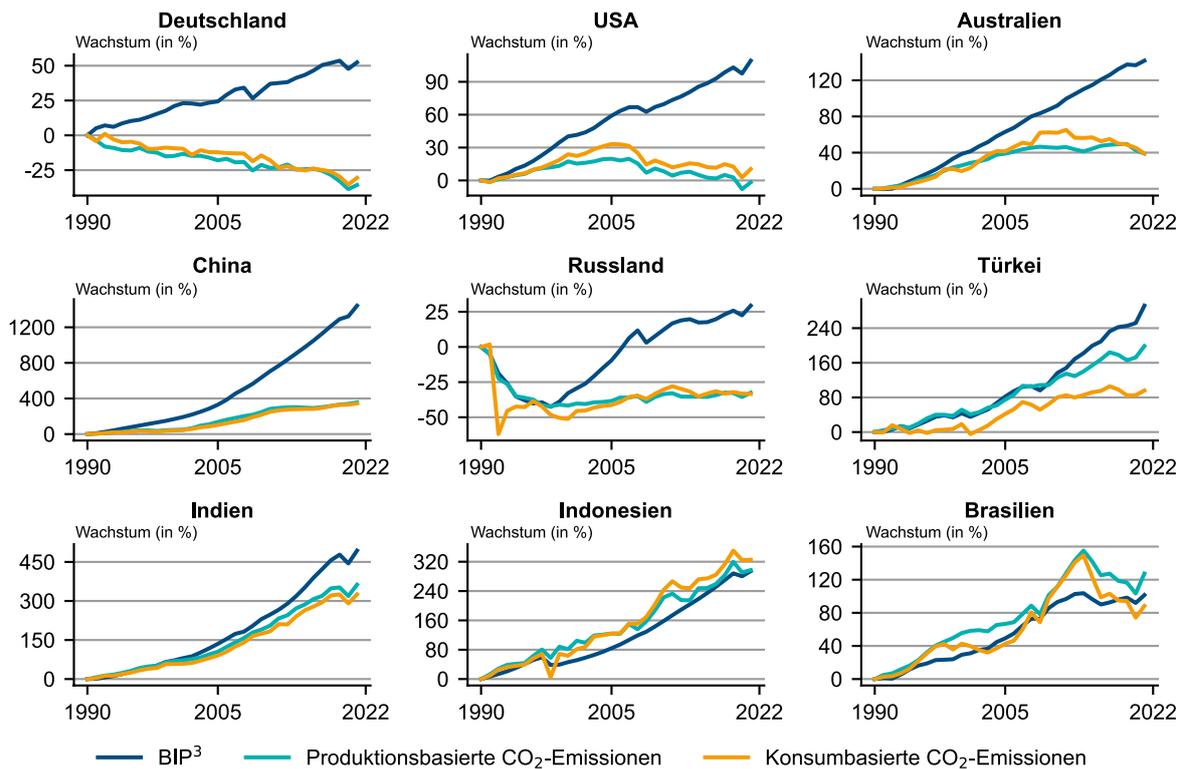
Quelle: Eigene Darstellung.

zukünftig in Form von grünem Wasserstoff oder Wasserstoffderivaten in Regionen exportieren, in denen weniger gute Bedingungen für die erneuerbare Strom- und damit auch die Wasserstoffproduktion vorherrschen.

Wird Atomkraft für die Elektrolyse verwendet, so wird von „rotem Wasserstoff“ gesprochen. Eine weitere Möglichkeit der Erzeugung von Wasserstoff besteht in der Dampfreformierung von Erdgas, wobei signifikante Mengen CO₂ entstehen. Das entstehende CO₂ lässt sich durch technische Anlagen während des Prozesses auffangen und in geeigneten Lagerstätten unterirdisch verpressen (CCS), wodurch eine signifikante Reduzierung des THG-Ausstoßes erreicht werden kann [31]. Wird der Wasserstoff durch diesen Prozessweg hergestellt, so spricht man von blauem Wasserstoff. Studien haben gezeigt, dass blauer Wasserstoff aufgrund finanzieller Attraktivität und schnellerer Verfügbarkeit gegenüber grünem Wasserstoff insbesondere in der Hochlaufphase einer globalen Wasserstoffwirtschaft eine wichtige Rolle spielen kann [32], [33], [34], [35], [36]. Essentiell für die klimafreundliche Transformation ist im Zusammenhang mit blauem Wasserstoff allerdings das wirkungsvolle Auffangen und sichere Verpressen des entstehenden CO₂ [31].

Abbildung 4: Entkopplung von Wachstum und Emissionen gelingt noch nicht überall

a) Entwicklung von Wirtschaftswachstum und CO₂-Emissionen (Fußabdruck von Produktion¹ vs. Konsum²) in ausgewählten Ländern



Anmerkungen: 1 – CO₂-Emissionen, die ein Land auf seinem Territorium durch seine Produktion verursacht – entspricht den in Abbildung 2 a) ausgewiesenen Emissionen. 2 – Gesamtheit der direkten und indirekten CO₂-Emissionen weltweit, die durch den Konsum von Waren und Dienstleistungen im betrachteten Land verursacht werden. 3 – in internationalen Dollar (Kaufkraftparitäten, KKP, Basisjahr 2017)

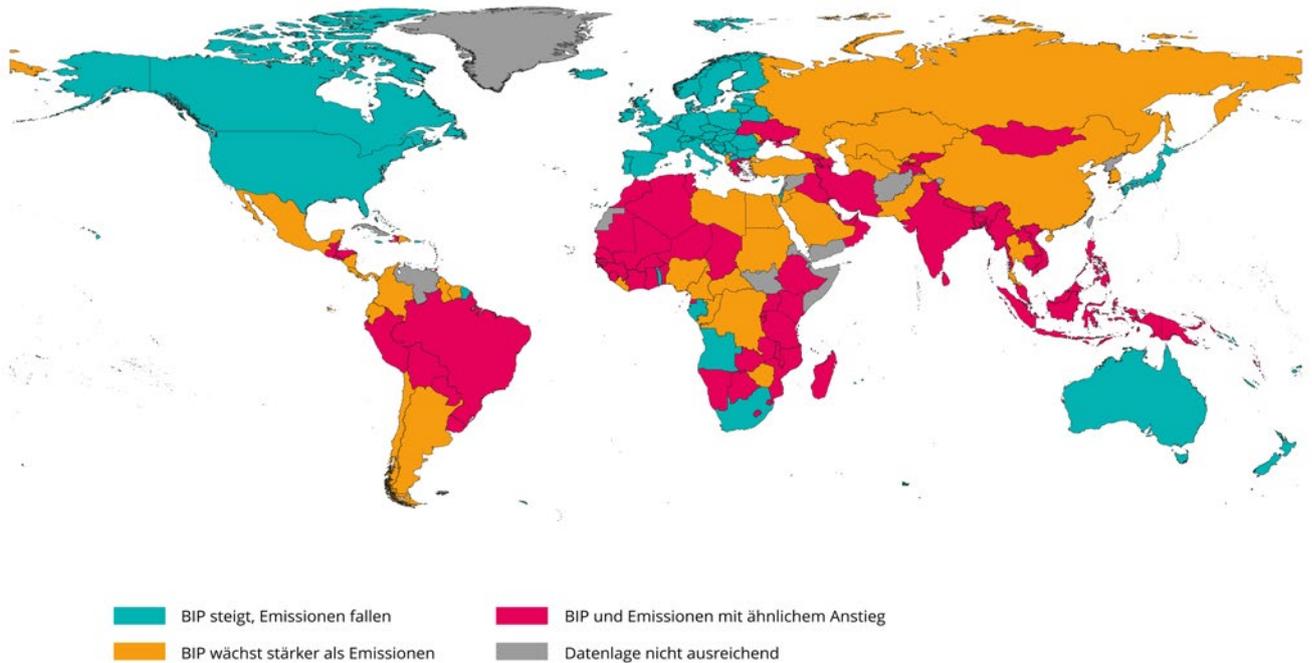
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [37], einer Aktualisierung von [38], [39] – bearbeitet durch OWID.

2.1.2 Entkopplung von Wachstum und Emissionen möglich, aber nicht überall Realität

Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte zeigt: Die Entkopplung von Wachstum und THG-Emissionen ist möglich. Insbesondere in den entwickelten Volkswirtschaften sieht man seit den 1990er Jahren sinkende Emissionen bei gleichzeitigem Wirtschaftswachstum. Andere Länder wie etwa China, Russland oder Australien zeichnen sich dadurch aus, dass die Emissionen mit einer deutlich niedrigeren Rate als das BIP wachsen. Eine dritte Gruppe an Staaten verzeichnet ein ähnlich starkes Wachstum von Emissionen und BIP.

Abbildung 4 a) zeigt beispielhaft einige Länder aus jeder der drei Gruppen. Abbildung 4 b) nimmt eine Unterteilung der Länder in die drei Kategorien vor und zeigt, dass einige entwickelte Volkswirtschaften bereits die Entkopplung umgesetzt haben

b) Entkopplung von Wachstum und CO₂-Emissionen nach Ländern



Anmerkung: Für die Einteilung wurden die relativen Änderungen des BIP und der produktionsbedingten Emissionen zwischen 2010 und 2022 betrachtet. Dunkelblau: das BIP steigt, während die Emissionen fallen; Türkis: Verhältnis zwischen dem Wachstum der Emissionen und dem Wachstum des BIP ist kleiner oder gleich 0,66; Orange: Verhältnis zwischen dem Wachstum der Emissionen und dem Wachstum des BIP ist größer als 0,66.

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [37], einer Aktualisierung von [38], [39] – bearbeitet durch OWID. Ländergrenzen basierend auf [21].

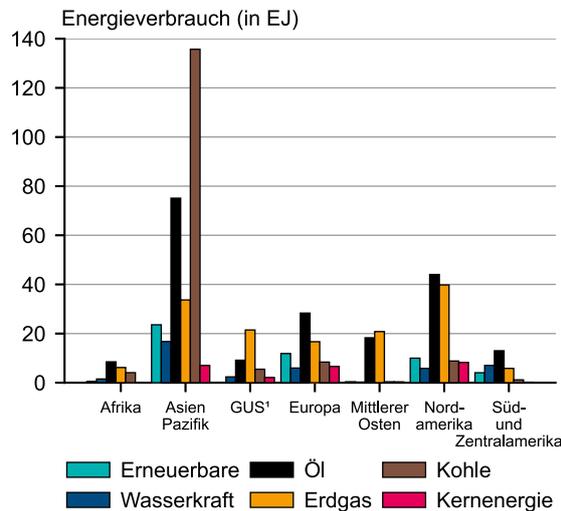
(dunkelblau). Andere Länder verzeichnen ein geringeres Wachstum der Emissionen als des Bruttoinlandsprodukts (türkis). Die orangen Länder in Abbildung 4 b) können bisher keine Entkopplung von Emissionen und Wachstum verzeichnen.

2.2 Technologien

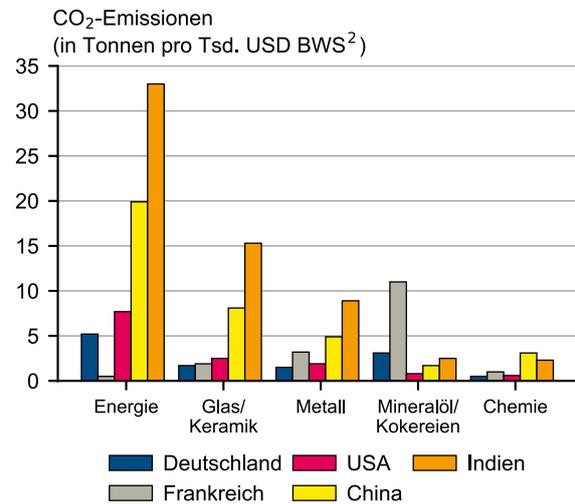
Um Wachstum und Emissionen zu entkoppeln, ist weltweit der Umstieg auf erneuerbare Energien oder zumindest eine klimafreundliche Energienutzung und die Transformation der Industrie notwendig. Heute basiert der Großteil des Energieverbrauchs weltweit noch immer auf fossilen Energieträgern. Während Öl und Gas in allen Regionen der Welt noch eine große Rolle spielen, ist Kohle vor allem in Asien von großer Bedeutung (vgl. Abbildung 2 e) und Abbildung 5 a)). Allerdings verzeichnet Asien auch den größten Zubau an erneuerbaren Energien, was insbesondere auf China zurückzuführen ist [40].

Abbildung 5: Bedeutung von Technologien für erfolgreichen Klimaschutz

a) Energiemix nach Weltregionen



b) CO₂-Intensität der Produktion



Anmerkungen: 1 – GUS: Gemeinschaft unabhängiger Staaten (Russland, Weißrussland, Kasachstan, Kirgistan, Armenien, Aserbaidschan, Moldawien, Tadschikistan, Usbekistan). 2 – BWS: Bruttowertschöpfung

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf **a)** [16] und **b)** [41], [42], [43].

2.2.1 Klimaschutztechnologien: Heute verfügbar, durch Fortschritt zukünftig günstiger

Abbildung 5 b) veranschaulicht einen wichtigen Kanal zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und THG-Emissionen. Die Abbildung zeigt für verschiedene Wirtschaftsbereiche und für ausgewählte Volkswirtschaften weltweit die spezifische Emissionsintensität, also die Menge an THG, die pro 1.000 USD an Bruttowertschöpfung anfallen. Deutlich wird, dass die Emissionen in vielen Ländern durch den Einsatz bereits heute verfügbarer Technologien erheblich gesenkt werden könnten. So könnte der Einsatz der heute in Europa schon etablierten Technologien die Emissionen in Indien um 70 % und in China um 60 % senken [41, S. 390–391]. Aktuell oder absehbar verfügbare Technologien könnten die THG-Intensität der Produktion noch darüber hinaus deutlich absenken. Dies illustriert, dass nicht so sehr die technologische Machbarkeit, sondern vielmehr die Anreize zur stetigen Weiterentwicklung und zum Einsatz der klimafreundlichen Produktionsmethoden entscheidend sind. Zudem wird es darauf ankommen, wie schnell der Ersatz emissionsintensiver Anlagen umzusetzen ist. Um die Klimaziele zu erreichen, muss es gelingen, zu erwartendes Wachstum – aufgrund des großen Bevölkerungsanteils vor allem in Asien und Afrika – auf Basis klimafreundlicher Technologien zu realisieren und dabei möglichst den heutigen Stand der Technik zu überspringen („Leapfrogging“ ↪ **Hintergrund 2**).

Hintergrund 2: Leapfrogging

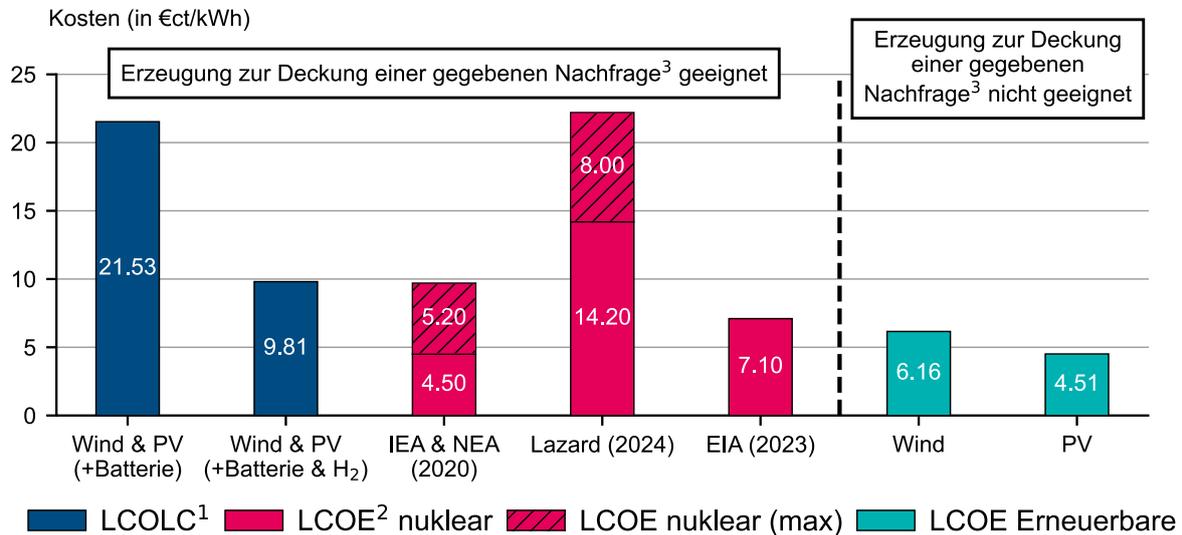
Als Leapfrogging wird es bezeichnet, wenn Länder oder Regionen technologische Entwicklungsschritte überspringen, anstatt diese in der Reihenfolge zu durchlaufen, wie es in Industrieländern historisch der Fall war. Statt beispielsweise zunächst auf fossile Technologien als Basis zukünftigen Wachstums zu setzen und diese schrittweise durch erneuerbare Energien zu ersetzen, setzen sie beim Leapfrogging direkt auf moderne, emissionsarme oder klimaneutrale Technologien, um Wachstum zu realisieren. Dies ermöglicht es, schneller und kostengünstiger nachhaltige Infrastrukturen aufzubauen. Leapfrogging ist ein entscheidender Faktor für den globalen Klimaschutz, da insbesondere Schwellen- und Entwicklungsländer ihr angestrebtes Wirtschaftswachstum mit geringeren Emissionen realisieren können. Durch den direkten Einsatz fortschrittlicher Technologien kann verhindert werden, dass sich in großem Umfang zusätzliche energieintensive und umweltschädliche Infrastrukturen etablieren. Dadurch kann der Anstieg von Emissionen durch Wachstum von Entwicklungs- und Schwellenländern beschränkt oder sogar vermieden werden.

2.2.2 Kosten der klimaneutralen Stromversorgung als entscheidender Faktor

„Leapfrogging“ der aktuell zum Teil noch fossilen Technologien gelingt umso besser, je geringer die Stromkosten sind, die mithilfe erneuerbarer Energien realisiert werden können. In diesem Zusammenhang ist es angezeigt, die Entwicklung von Stromgestehungskosten genauer zu betrachten. Die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien, insbesondere Wind und PV, ist in den vergangenen Jahren immer günstiger geworden. Aktuelle Abschätzungen der Stromgestehungskosten, also der Kosten für die Errichtung und den Betrieb eines Kraftwerks im Verhältnis zur Stromerzeugungsmenge über seine gesamte Lebensdauer, liegen für Deutschland im Jahr 2045 bei 3,1 bis 5,0 ct/kWh für PV und 3,9 bis 8,3 ct/kWh für Wind an Land [44]. Die Stromgestehungskosten unterscheiden sich vor allem für PV-Anlagen stark je nach Größe der Anlagen [44], [45]. Die Abschätzungen wurden zuletzt aufgrund der gestiegenen Zinssätze nach oben angepasst, und auch höhere Rohstoffpreise können die zu erwartenden Kosten stark beeinflussen. In besonders sonnenreichen Gegenden, etwa auf der arabischen Halbinsel, kann PV-Strom schon heute zu Kosten unter 3 ct/kWh [46] erzeugt werden.

Allerdings können Wind und PV alleine die Stromversorgung in einem Industriestaat nicht sicherstellen, da ihr Dargebot von Sonnen- und Windstunden abhängig ist. Weltweit werden verschiedene Technologien komplementär zu den Erneuerbaren eingesetzt werden, um die Versorgungslücken zu füllen, die Erzeugungsspitzen nutzbar zu machen und so den Energiemix zu vervollständigen. Es ist wichtig zu realisieren, dass diese Technologien oftmals einen größeren Anteil an den resultierenden Gestehungskosten haben werden als die erneuerbaren Energien selbst. Erzeugungsgestehungskosten werden – je nach Transformationspfad des entsprechenden Landes – Gaskraftwerke, Batteriespeicher, Flexibilitäten im Stromsystem und auch Kernkraftwerke eine wichtige Rolle für ein klimaneutrales Stromsystem spielen.

Abbildung 6: Vergleich von Stromgestehungskosten



Anmerkungen: 1 – LCOLC – Levelized Cost of Load Coverage: die minimalen Kosten (in ct/kWh) zur Deckung einer gegebenen Stromnachfrage unter Berücksichtigung der Investitions- und Betriebskosten aller im minimalen Kraftwerksmix notwendigen Technologien (z. B. Wind, PV, Batterien, Gaskraftwerke, etc). 2 – LCOE – Levelized Cost of Electricity: die durchschnittlichen Kosten der Erzeugung von Strom (in ct/kWh) durch eine spezifische Technologie, wobei die Investitions- und Betriebskosten der spezifischen Technologie (Wind, PV) auf die durchschnittlichen Kosten pro kWh heruntergebrochen werden. 3 – Zur Berechnung der ausgewiesenen LCOLC-Werte wurde eine über alle Perioden konstante Nachfrage angenommen. Die Berechnungen für die Abdeckung einer dem Standardlastprofil folgenden Nachfrage führen zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich des Vergleichs der eingesetzten Technologien, siehe [47], [48].

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [47], [49], [50], [51].

Berechnungen zeigen, dass die Kosten, um die Stromnachfrage komplett klimaneutral zu befriedigen, in Abhängigkeit des Technologiemiex extrem unterschiedlich ausfallen können. So ergeben Abschätzungen in [47] Erzeugungskosten von etwa 10 ct/kWh (ohne Netzkosten, Steuern, Abgaben und Umlagen), wenn mit Wasserstoff betriebene Gaskraftwerke als Langzeitspeicher zum Einsatz kommen und zusätzlich Batterien als Kurzzeitspeicher. Wenn die Residuallast, also die nicht aus Wind und PV gedeckte Stromnachfrage, in einem extremen Szenario ausschließlich mit zuvor gespeichertem Strom aus Batterien gedeckt wird, steigen die durchschnittlichen Kosten der Stromerzeugung deutlich (vgl. Abbildung 6).

In einigen Ländern wird Kernkraft eine wichtige Rolle für die Transformation spielen. Existierende Abschätzungen der Gestehungskosten (ohne Berücksichtigung der Endlagerungskosten für die Endlagerung des Atommülls und die nicht eingepreisten Kosten zur Versicherung gegen einen nuklearen Unfall) liegen im günstigsten Fall unter den Kosten eines Systems aus erneuerbaren Energien und mit Wasserstoff befeuerten Gaskraftwerken, im ungünstigsten Fall deutlich darüber (vgl. Abbildung 6). Kernkraftwerke werden aufgrund ihres Erzeugungsprofils nicht die Erneuerbaren ergänzen, sondern einen Anteil der Nachfrage decken, so dass ein geringerer Anteil der Nachfrage durch erneuerbare Energien und komplementäre Kraftwerke bedient werden muss.

Neben der Umstellung der Erzeugung auf klimaneutrale Erzeugungstechnologien werden umfangreiche Investitionen in Transportnetze für Strom und Wasserstoff benötigt. Die notwendigen Investitionen auf Transport- und Verteilnetzebene unterscheiden sich je nach der Ausgestaltung von Erzeugung und Verbrauch. Ein stärker dezentrales Stromsystem mit vielen kleinen Einspeisern benötigt insbesondere auf der Verteilnetzebene einen umfangreicheren Netzausbau und eine umfassende Digitalisierung, die eine Koordination der vielen dezentralen Akteure ermöglicht. Ein Ausbau von Erneuerbaren vorwiegend an besonders ertragreichen Standorten reduziert zwar deren Gesteungskosten, erhöht aber den Bedarf an Transportnetzen, die den Strom in die Verbrauchszentren befördern. Der Netzausbau könnte also geringer und somit kostengünstiger ausfallen, wenn versucht wird, den notwendigen Netzausbau beim Umbau der Erzeugung bereits zu berücksichtigen [52], [53], [54].

2.2.3 Fehlende Produktionskapazitäten und lange Fertigstellungszeiten von Anlagen

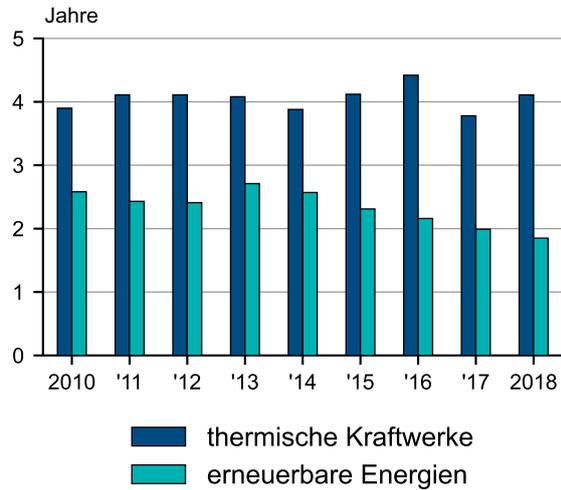
Die notwendigen Zeiten zum Aufbau von Kapazitäten mitzudenken ist nicht nur entscheidend, um unnötig hohe Kosten zu vermeiden. Es ist aufgrund der beschränkten Produktionskapazitäten für neue Anlagen und der langen Fertigstellungszeiten auch eine Gelingensbedingung.

Heute benötigt die Fertigstellung einer Anlage zur Erzeugung erneuerbarer Energien ab Baubeginn bis zur Fertigstellung etwa zwei Jahre, die Fertigstellungszeit eines thermischen Kraftwerks beträgt mehr als vier Jahre (vgl. Abbildung 7 a)). Die Bauzeiten für Kernkraftwerke und Netzkapazitäten liegen deutlich darüber. Die Projekte verzögern sich gegenüber der ursprünglichen Planung aufgrund von Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung oft um mehrere Jahre (vgl. [23, Kap. 3.4.2]). Hinzu kommen die insbesondere in Deutschland signifikanten Zeiten, die für die Beantragung und Genehmigung von Bauprojekten benötigt werden (vgl. Abbildung 7 b)). Hier wurden gerade in den letzten Jahren verschiedene Gesetze zur Beschleunigung und Vereinfachung der Verfahren auf nationaler und europäischer Ebene verabschiedet, wobei erst in den kommenden Jahren eine Bewertung der Effektivität erfolgen kann.

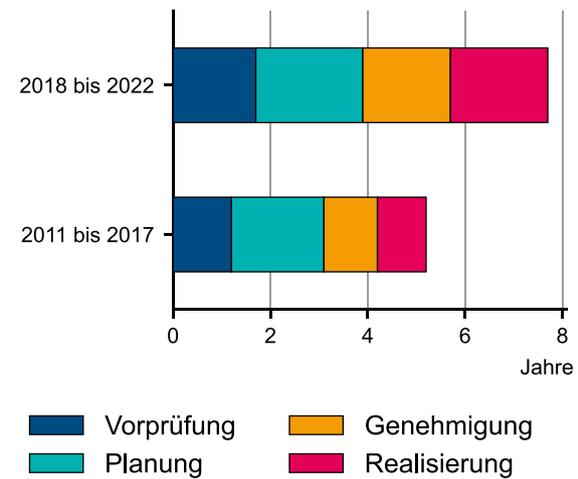
Eine Erreichung der Klimaziele erscheint daher einerseits nur möglich, wenn der Transformationspfad die realistischere verfügbaren Produktionskapazitäten für Anlagen – weltweit – nicht überfordert. Andererseits muss durch eine konsequente und berechenbare Klimapolitik gewährleistet werden, dass ausreichend zusätzliche Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Das gelingt aktuell in Asien in größerem Umfang als in Europa und den USA (vgl. Abbildung 7 c)). Will Europa hier im Wettbewerb um die Weltmärkte mitspielen und zudem in strategisch wichtigen Bereichen Produktionskapazitäten für die eigene Transformation etablieren, so gilt es, durch eine Stärkung der entsprechenden Rahmenbedingungen den Hochlauf der Produktionskapazitäten dem eigenen Ambitionsniveau anzupassen.

Abbildung 7: Hemmnisse für die Energiewende

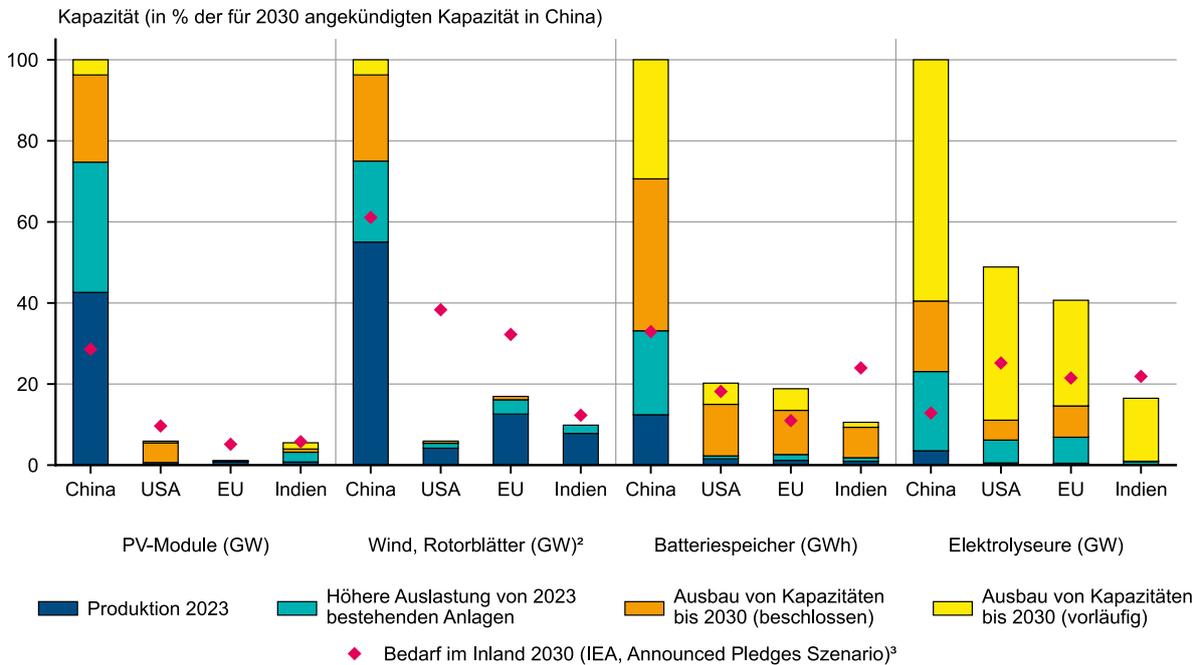
a) Durchschnittliche Bauzeit¹ der Stromerzeugung (kapazitätsgewichtet), 2010–2018



b) Dauer der Windprojektentwicklung in Deutschland



c) Installierte und geplante Produktionskapazitäten für Energiewendetechnologien



Anmerkungen: 1 - Die Bauzeit (weltweit, Daten der IEA) wird als Dauer zwischen der endgültigen Investitionsentscheidung und der Inbetriebnahme gemessen. 2 - Für Wind-Anlagen werden von der IEA separate Werte für Rotorblätter, Türme und Maschinenhäuser ausgewiesen, wobei für alle drei Komponenten vergleichbare Trends zwischen den Regionen vorliegen [55]. 3 - Die roten Punkte beziehen sich auf den prognostizierten Bedarf der jeweiligen Technologie im Inland im Jahr 2030 nach dem ‚Announced Pledges Scenario‘ der IEA.

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf a) [56]; b) [57] und c) [55].

2.2.4 Innovationskraft und Kapitalmärkte als wichtig(st)e Wachstumstreiber

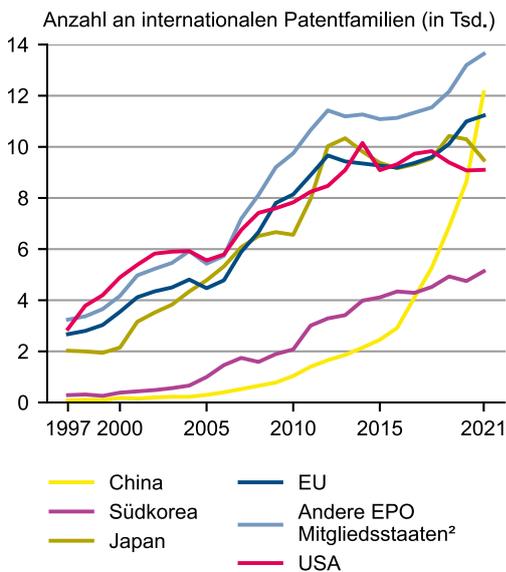
Europa und gerade Deutschland verfügen über verschiedene Standortvorteile mit Blick auf den Aufbau von Produktionskapazitäten im Bereich CleanTech. Die Forschung an den Universitäten ist weltweit führend bei vielen Energiewende-relevanten Technologien und ist eng mit den zahlreichen angewandten Forschungsinstituten und der Wirtschaft verzahnt.

Ein großer Teil der Energiewende-relevanten Patente ist somit in der Hand der heimischen Firmen (vgl. Abbildung 8 b)). Auch hier hat China in den vergangenen Jahren allerdings rasant aufgeholt (Abbildung 8 a)). Nicht nur die Zahl, sondern auch die Qualität der Patente spielt eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen oder zu bewahren. Besonders wichtig ist jedoch, ob es gelingt, die Technologien, die durch diese Patente geschützt werden, als internationale Standards zu etablieren. Denn je stärker sich ein Produkt oder eine Technologie verbreitet und etabliert, desto wertvoller wird das zugehörige Patent. Deshalb engagieren sich asiatische Unternehmen und auch die dortigen Regierungen gezielt in Standardisierungsgremien, um sicherzustellen, dass ihre Technologien global zum Maßstab werden.

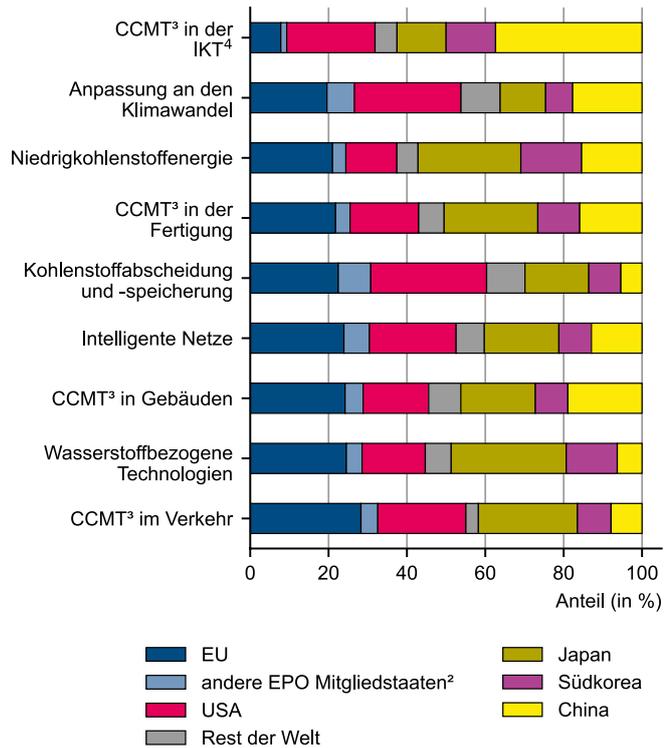
Um Forschungs- und Entwicklungsergebnisse für neue Wertschöpfung in CleanTech nutzbar zu machen, sind darüber hinaus Rahmenbedingungen notwendig, die Investitionen in Startups und die Finanzierung in der Wachstumsphase anreizen. Die Rahmenbedingungen müssen zunächst gewährleisten, dass entsprechende Geschäftsmodelle profitabel sind, so dass eine Finanzierung über Banken oder auch die Kapitalmärkte überhaupt möglich wird. Darüber hinaus sind tiefe und leistungsfähige Kapitalmärkte von großer Bedeutung. In Europa führt zum Beispiel die Vielfalt der nationalen und teils sogar regionalen Regulierungen sowie die Vielfalt der Sprachen dazu, dass verfügbares Kapital nicht der besten Verwendung zugeführt werden kann und insbesondere innovativen Akteuren im Bereich CleanTech nicht zur Verfügung steht [58].

Abbildung 8: Innovationskraft durch Patente

a) Trends bei internationalen Patentfamilien¹ im CleanTech-Bereich, 1997–2021



b) Regionenspezifischer Anteil an Patenten im Bereich „clean & sustainable Technologies“, mit Erstveröffentlichung in den Jahren 2017–2021



Anmerkung: 1 – Eine Patentfamilie (International patent family, IPF) ist eine Gruppe von Patentanmeldungen, die denselben oder ähnlichen technischen Inhalt betreffen. Die Anmeldungen einer Familie sind über Prioritätsansprüche (die es ermöglichen, den Anmeldetag einer früheren Patentanmeldung für spätere internationale Anmeldungen geltend zu machen) miteinander verbunden (vgl. [59]). 2 – Andere European Patent Office (EPO) Mitgliedstaaten umfassen die Länder Albanien, Schweiz, Island, Monaco, Montenegro, Nordmazedonien, Norwegen, Serbien, San Marino, Türkei. 3 – CCMT³: Climate change mitigation technologies. 4 – IKT: Informations- und Kommunikationstechnik.

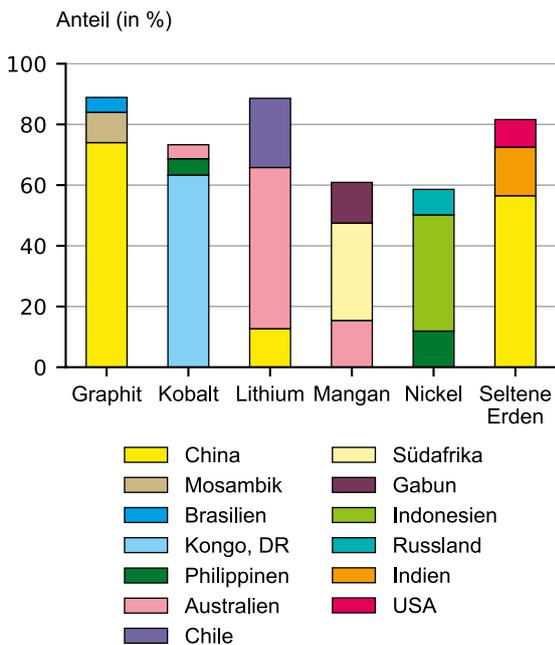
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [60].

2.2.5 Internationale Arbeitsteilung und Kooperation bleiben wichtig

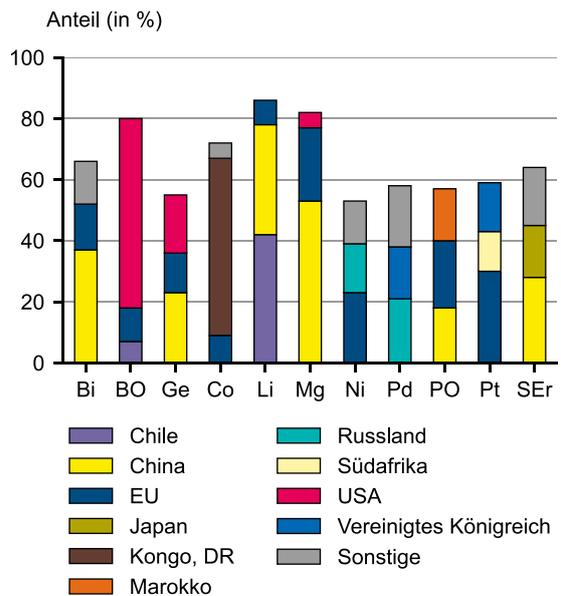
Nicht jede Technologie, die in Europa entwickelt und zunächst in kleineren Volumina produziert wird, kann letztendlich auch vor Ort in die Massenproduktion überführt werden. Je nach Produktionsprozess können andere Staaten weltweit komparative Vorteile haben, so dass die internationale Arbeitsteilung dazu führt, dass Europa letztlich zu den Netto-Importeuren der für die Energiewende wichtigen Produkte zählt. Dies beobachten wir heute bereits bei PV-Modulen, Wärmepumpen und zunehmend auch bei batterieelektrischen Fahrzeugen. Die Diskussion, ob Industriepolitik angezeigt ist, um Produktionskapazitäten in Europa zu halten oder zurückzuholen, ist allgegenwärtig. Es ist – nicht zuletzt aufgrund der zahlreichen Interessengruppen – eine Herausforderung, zu erkennen, wo es gute Argumente für staatliche Interventionen gibt und wo dies nicht der Fall ist.

Abbildung 9: Förderung und Weiterverarbeitung strategischer Rohstoffe

a) Förderanteil der jeweils größten Förderländer für kritische Rohstoffe an der globalen Nachfrage, Stand 2019



b) Anteil der drei größten Exporteure an weltweiten Exporten weiterverarbeiteter Rohstoffe¹, Stand 2020



Anmerkung: 1 – Bi-Bismut, BO-Borate, Ge-Germanium, Co-Kobalt, Li-Lithium, Mg-Magnesium, Ni-Nickel, Pd-Palladium, PO-Phosphate, Pt-Platin, SEr-Seltene Erden.

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf **a)** [62] – bearbeitet durch EEM und **b)** [7].

Um die Voraussetzungen für eine klimafreundliche industrielle Wertschöpfung in Deutschland und Europa zu schaffen, wird der Umstieg auf klimafreundliche Energieträger notwendig sein. Das notwendige Tempo des Umbaus der Energieimporte stellt dabei zugleich eine Herausforderung und eine Gelingensbedingung dar. Entscheidend wird sein, klug mit den bestehenden Exporteuren fossiler Energie ebenso wie auch den potenziellen Lieferanten erneuerbarer Energieträger zu verhandeln. Heutigen Energieexporteuren drohen empfindliche Verluste an Einnahmen aus dem Energiegeschäft, was möglicherweise die politische Stabilität gefährden und Konflikte auslösen kann. Gerade für Staaten mit Pipelineverbindungen nach Europa sind daher Verhandlungslösungen gefragt, die die Chancen und Risiken für die betroffenen Regionen berücksichtigen [61]. Andererseits ist mit Blick auf den Klimaschutz klar: Länder mit fossilen Ressourcen werden Abnehmer finden, die auch auf Basis fossiler Energieträger ihr Wachstum und ihren Wohlstand befördern wollen (vgl. [41] und Abbildung 2). Länder, die über große Potenziale für erneuerbare Energien verfügen, aber bisher aufgrund eines Mangels fossiler Ressourcen nicht zu den Energieanbietern gehörten, verfügen oft nicht über die notwendigen Infrastrukturen zum Energietransport. Oft sind sie finanziell auch nicht in der Lage, aus eigener Kraft Strukturen aufzubauen.

Neben den klassischen Energieträgern werden künftig auch nicht-energetische Rohstoffe eine zentrale Rolle bei der Transformation zu einem klimaneutralen Energie-

system spielen. Diese sogenannten kritischen Rohstoffe sind unverzichtbar für die Herstellung der Technologien, die für ein klimaneutrales Energiesystem benötigt werden, wie etwa PV-Anlagen oder Elektrolyseure. Ihre Bedeutung für die Energiewirtschaft wird in Zukunft ähnlich groß sein wie die der klassischen Energieträger. Abbildung 9 a) zeigt, welche Länder den größten Anteil an der Förderung dieser Rohstoffe haben. Auffällig ist, dass die drei größten Förderländer bei jeder Ressource mindestens 60 % der globalen Produktion auf sich vereinen. Zudem findet der Abbau hauptsächlich in Ländern des Globalen Südens und in Asien statt. Auch die Weiterverarbeitung der strategischen Rohstoffe ist von entscheidender Bedeutung (siehe Abbildung 9 b)). Hier zeigt sich ebenfalls eine starke Konzentration der Aktivitäten, insbesondere in China, das in den vergangenen Jahren bewusst in die Ansiedlung der Weiterverarbeitung investiert hat.

Die hohe Marktkonzentration und die begrenzte Verfügbarkeit strategischer Rohstoffe entlang der Wertschöpfungskette stellen ein Risiko für das Gelingen der Energiewende dar. Angesichts der erwarteten Nachfragezunahme und des daraus resultierenden Überhangs ist mit steigenden Preisen für diese Rohstoffe zu rechnen. Falls die globale Produktion kurzfristig nicht ausreichend gesteigert werden kann, könnte dies zudem zu einer Verlangsamung des Fortschritts bei der Energiewende führen [7], [23, Kap. 6.3]. Da die Relevanz dieser Thematik auch von der Politik erkannt wurde, wurden sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene Strategien bzw. Richtlinien zur Sicherung der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe verabschiedet [63], [64], welche auch einen Fokus auf die Stärkung der heimischen Förderung und Weiterverarbeitung legen. Von Seiten der Wissenschaft wird eine noch stärkere Diversifizierung der Handelsbeziehungen und Fokussierung auf Partnerschaften mit gleichgesinnten Ländern gefordert, z. B. im Bereich der Seltenen Erden, welche Deutschland bisher von nur zwei der fünf weltweit größten Exporteure bezieht [65], [66]. Dadurch kann insbesondere die Abhängigkeit von China reduziert werden.

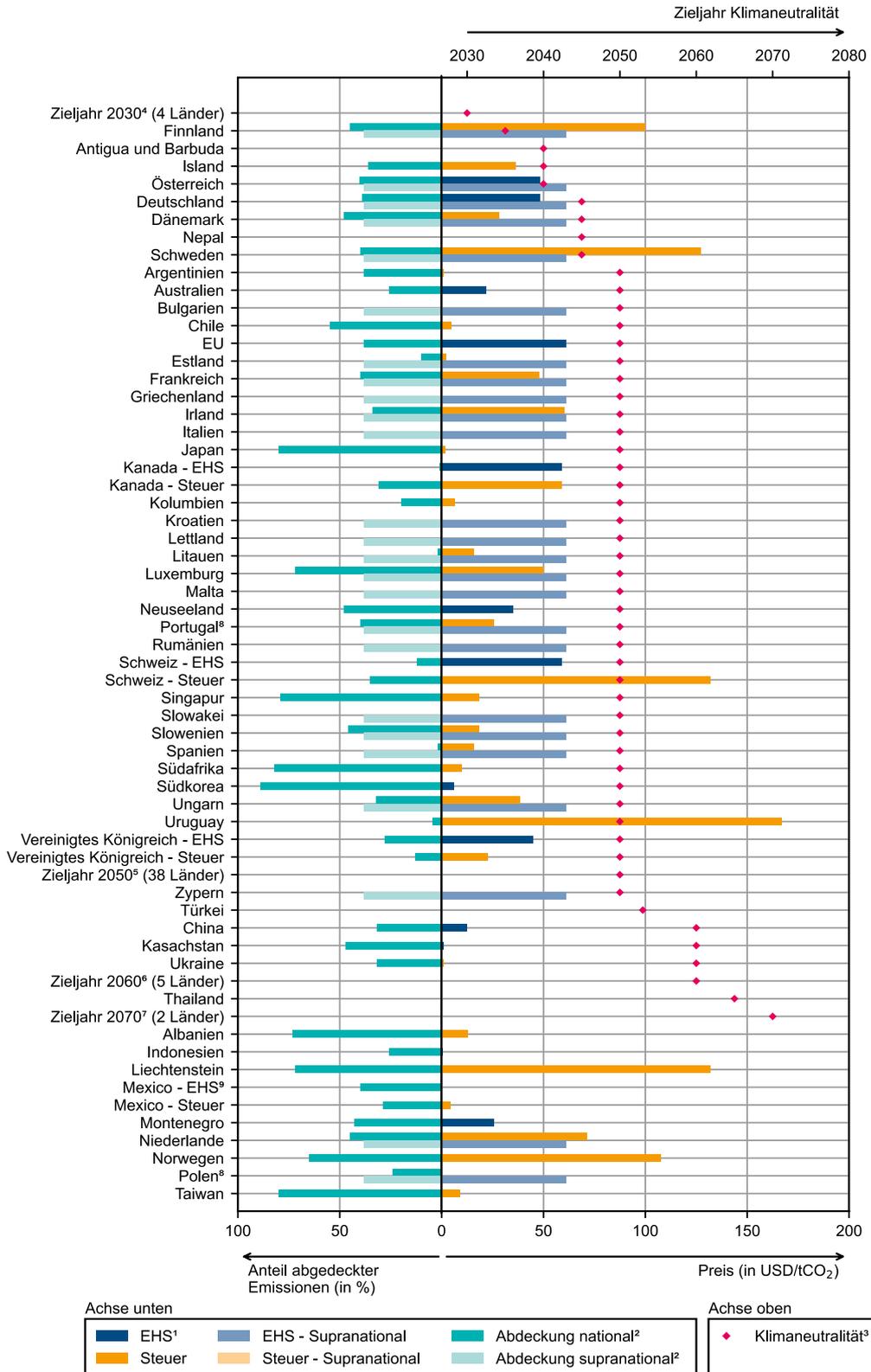
2.3 Institutionen

2.3.1 Globale Klimakooperation – erste Schritte sind gemacht

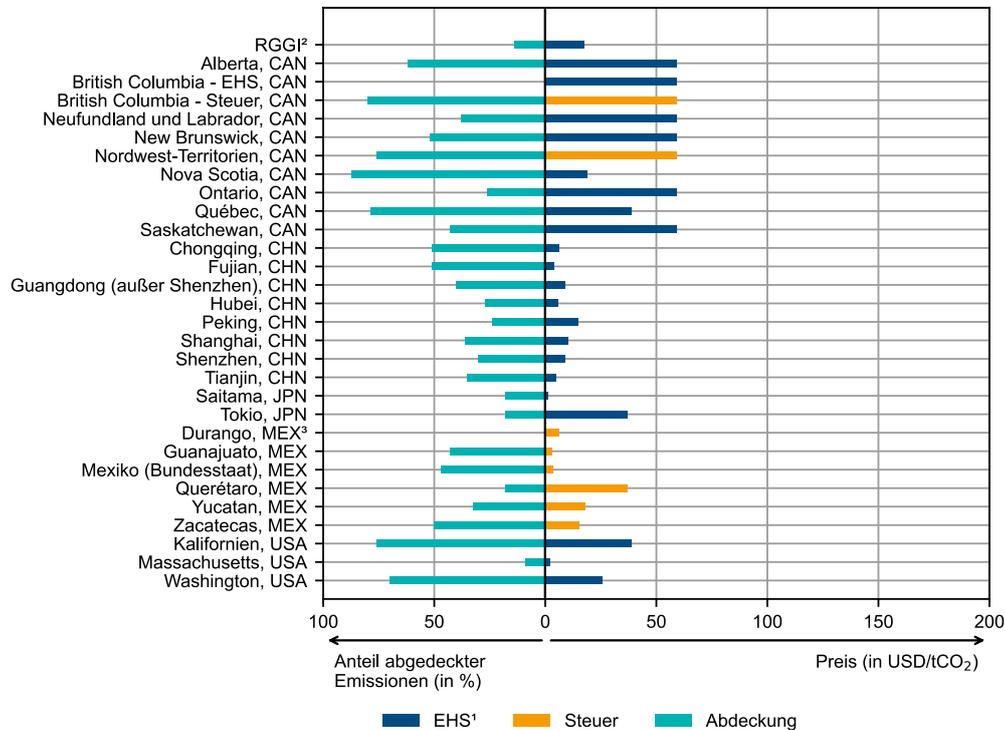
Da sowohl das zukünftige Wachstum bevölkerungsreicher Volkswirtschaften als auch Megatrends wie Künstliche Intelligenz den Energiehunger zukünftig ansteigen lassen, ist die globale Kooperation in der Klimapolitik entscheidend für den Erfolg. Seit 1992 wird in den globalen Klimakonferenzen verhandelt, immer wieder mit Durchbrüchen, die aber noch nicht ausreichend sind. Die bisherigen Verpflichtungen sind noch unzureichend, um die Erderwärmung in ausreichendem Tempo einzudämmen [67].

Da alle großen Volkswirtschaften umfangreich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein werden, gibt es ein Kooperationspotenzial, das allerdings durch die politischen Realitäten und tagesaktuellen Debatten immer wieder beschränkt wird [41]. Abbildung 10 a) illustriert, dass weltweit bereits viele Staaten Klimaneutralitätsziele definiert haben. Die meisten Staaten weltweit haben sich auf das Jahr 2050 festgelegt. Einige bevölkerungsreiche Volkswirtschaften planen die Klimaneutralität aber erst später zu erreichen, wie China (2060) oder Indien (2070).

Abbildung 10: Übersicht – Klimaziele und bestehende THG-Bepreisungssysteme
 a) THG-Bepreisung (Steuer oder Handelssystem), Abdeckung der Emissionen und Klimaziele nach Ländern, Stand 01.04.2024



10 b) Regionale CO₂-Bepreisung (Steuer oder Handelssystem) und Abdeckung der Emissionen, Stand 01.04.2024



Anmerkungen 10 a): Die Grafik enthält nur Länder oder übergeordnete Institutionen, keine Bundesstaaten, Regionen o. Ä.. Sie enthält nur Bepreisungssysteme aus [68] mit dem Status „Implemented“. Länder von oben nach unten sortiert nach Zieljahr Klimaneutralität und Name. Länder mit Zieljahr für Klimaneutralität aber keinem EHS sind in Gruppen aufgeführt.

1 – EHS: Emissionshandelssystem. Preise sind jeweils aktuelle Preise zum 01.04.2024. 2 – Anteile beziehen sich auf nationale bzw. supranationale Gesamtemissionen. 3 – Klimaneutralität umfasst folgende Ziele aus [69]: „Carbon negative“, „Carbon neutral(ity)“, „Climate neutral“, „Net Zero“, „Zero carbon“, „Zero emissions“. Grafik enthält nur Klimaneutralitätsziele mit dem Status „Achieved (self-declared)“, „Declaration / pledge“, „In law“, „In policy document“. 4 – 7 – Zieljahr 20X0: Länder mit gleichem Zieljahr ohne nationale Bepreisung von CO₂-Emissionen. 4 – Zieljahr 2030: Barbados, Bhutan, Dominica, Malediven. 5 – Zieljahr 2050: Äthiopien, Andorra, Armenien, Belize, Brasilien, Costa Rica, Dominikanische Republik, Ecuador, Fidschi, Gabun, Gambia, Georgien, Guyana, Kambodscha, Kap Verde, Komoren, Laos, Libanon, Liberia, Malaysia, Marshallinseln, Mikronesien, Monaco, Namibia, Oman, Panama, Papua-Neuguinea, Peru, Salomonen, Sri Lanka, Suriname, Tonga, Tunesien, Tuvalu, Vanuatu, Vereinigte Arabische Emirate, Vereinigte Staaten von Amerika, Vietnam. 6 – Zieljahr 2060: Bahrain, Kuwait, Nigeria, Russland, Saudi-Arabien. 7 – Zieljahr 2070: Ghana, Indien. 8 – Stand 2023. 9 – Für das EHS in Mexiko keine Daten zum Preis verfügbar.

Quellen 10 a): Eigene Darstellung basierend auf [68], [69], [70].

Anmerkungen 10 b): 1 – Emissionshandelssystem. 2 – RGGI (Regional Greenhouse Gas Initiative) ist ein Zusammenschluss der Bundesstaaten Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Rhode Island und Vermont. 3 – Für die Steuer in Durango, MEX keine Daten zur Abdeckung verfügbar.

Quellen 10 b): Eigene Darstellung basierend auf [68], [69], [70].

Positiv zu bewerten ist, dass eine große Zahl an Staaten bereits einen Emissionshandel oder die Bepreisung von CO₂ implementiert haben. Dabei sind in der Regel zwar nicht sämtliche Emissionen abgedeckt, in vielen Staaten aber ein signifikanter Anteil. Auch die Preise unterscheiden sich, in vielen Volkswirtschaften liegen sie bei ca. 50 USD/tCO₂, häufig aber auch darunter. Sowohl in China als auch in den USA haben verschiedene Bundesstaaten einen eigenen, mehr oder weniger ambitionierten Emissionshandel aufgesetzt (vgl. Abbildung 10 b)). Unabhängig davon, ob ein Emissionshandel oder eine CO₂-Bepreisung in Form einer Steuer etabliert wurde, ist durch diese Mechanismen in Aussicht, dass Emissionen in verschiedenen Sektoren der entsprechenden Länder zunehmend verlässlich erfasst werden. Das eröffnet Kooperationspotenziale, unabhängig davon, ob die Preise sich noch unterscheiden.

2.3.2 Der Schlüssel zum Erfolg: Gemeinsame Institutionen

In den letzten Jahren wurden verschiedene Initiativen ins Leben gerufen, die noch keine gemeinsamen Institutionen begründen, aber als Grundlage für einen Klimaklub **↘ Hintergrund 3** dienen könnten. Insbesondere die G7 und G20 haben das Thema zunehmend auf die Tagesordnung gesetzt. Auf Initiative der G7 wurde im Jahr 2022 eine Initiative für einen Klimaklub begründet, der inzwischen zusammen mit den G7-Staaten und der EU-Kommission (als Gründungsmitglieder) über 40 Staaten angehören [71], [72], [73], [74], [75]. Ziel des Klimaclubs ist es u. a., die Risiken einer Verlagerung von Produktion in Länder mit weniger strengen Klimaauflagen zu begrenzen. Bisher wurden im Rahmen des Klimaclubs zwar Handlungsfelder definiert, diese aber noch nicht mit gemeinsamen Verpflichtungen oder Institutionen unterlegt. Eine Harmonisierung der CO₂-Bepreisungsmechanismen steht zurzeit nicht auf der Agenda. Daher ist für die Übergangszeit, bis in allen Mitgliedstaaten des Klimaclubs für die Wirtschaftssubjekte ähnlich wirkende und verbindliche Emissionsreduktionsinstrumente etabliert sind sowie für den Handel mit Staaten außerhalb des Klimaclubs, ein Instrument für den CO₂-Grenzausgleich notwendig.

Hintergrund 3: Klimaklub

Ein Klimaklub ist eine Gruppe von Staaten, die sich freiwillig zusammenschließen, um gemeinsam ambitionierte Maßnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen umzusetzen. Ziel eines solchen Bündnisses ist es, durch die Schaffung gemeinsamer Regeln, Standards und Anreize verlässliche Emissionsreduktionspfade umzusetzen und so einen Beitrag zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs zu leisten. Die Kooperation könnte beim Emissionshandel bzw. der direkten oder indirekten CO₂-Bepreisung oder auch bei sektoralen Vereinbarungen (z. B. die Etablierung von Leitmärkten für nachhaltigen Stahl und Zement [75]) ansetzen. Im Gegensatz zu globalen Klimavereinbarungen, die oft schwächere Kompromisse darstellen, bietet ein Klimaklub die Möglichkeit, die Aktivitäten von Vorreiterstaaten zu bündeln, um ambitionierte Ziele zu verfolgen und gleichzeitig Maßnahmen gegenüber Nichtmitgliedern zu ergreifen, um die Verlagerung von THG-emittierenden Industrien in Länder mit weniger strengen Auflagen für THG-Emissionen zu vermeiden. In diesem Zusammenhang spricht man von „Carbon Leakage“, da in diesem Fall die Emissionen durch die strengen Auflagen nicht eingespart, sondern nur verlagert werden. Diese Maßnahmen

gegenüber Nicht-Mitgliedern des Klimaklubs, auch als Grenzausgleichsmechanismen (vgl. [↘ Hintergrund 4](#)) bezeichnet, sollen einerseits die Abwanderung von emissionsintensiven Industrien in Länder mit weniger strengen Klimaregeln verhindern. Andererseits können sie bei kluger Ausgestaltung einen Anreiz für Drittstaaten schaffen, sich ebenfalls an klimapolitischen Maßnahmen zu beteiligen (vgl. [76]).

Trotz dieser Fortschritte gibt es nach wie vor erhebliche Herausforderungen auf dem Weg zu einem funktionierenden Klimaklub. Eine der größten Hürden ist die faire Gestaltung von Sanktionen gegenüber Nichtmitgliedern. Staaten, die nicht Teil des Klubs sind, könnten durch Importzölle oder andere Handelsbarrieren belastet werden, was zu politischen Spannungen und wirtschaftlichen Verwerfungen führen könnte. Besonders Länder des Globalen Südens, die aufgrund begrenzter finanzieller und technologischer Ressourcen Schwierigkeiten haben, ihre Emissionen schnell zu reduzieren, könnten benachteiligt werden. Zudem ist die Vereinbarkeit mit den Regeln der Welthandelsorganisation (WTO) fraglich, insbesondere solange aufgrund einer fehlenden, einheitlichen Erfassungssystematik nicht der tatsächliche CO₂-Fußabdruck von Produkten bepreist werden kann.

Ein weiteres Problem liegt in der Harmonisierung der Klimaschutzmaßnahmen. Unterschiedliche politische und wirtschaftliche Interessen der potenziellen Mitglieder eines Klimaklubs machen es schwierig, gemeinsame Standards zu setzen. Während die EU beispielsweise einen hohen CO₂-Preis als wirksames Instrument sieht, könnte dies in anderen Staaten auf Widerstand stoßen, da sie unterschiedliche wirtschaftliche Strukturen und Energieabhängigkeiten haben. Zudem müssen die Regeln des Klubs kompatibel mit bestehenden globalen Handelsabkommen wie der WTO sein, was weitere rechtliche und diplomatische Hürden aufwirft.

Schließlich ist die globale Akzeptanz und Beteiligung entscheidend für den Erfolg eines Klimaklubs. Ein Klub, der nur aus wenigen Industrienationen besteht, könnte nicht genügend Einfluss haben, um die globalen Emissionen signifikant zu senken. Die Herausforderung besteht darin, sowohl Schwellen- als auch Entwicklungsländer an Bord zu holen und ihnen finanzielle, technische und strukturelle Unterstützung zu bieten, um ihre Klimaziele zu erreichen, ohne ihre wirtschaftliche Entwicklung zu gefährden.



3

DEGROWTH

**FÜHRT NICHT
ZU MEHR
KLIMASCHUTZ**

Immer wieder kommt die Diskussion auf, ob Emissionen nachhaltig reduziert werden können, indem (emissionsintensive) Produktion und auch der Konsum reduziert wird. Verwiesen wird gerne auf Erfahrungen der jüngeren Vergangenheit: In der Coronapandemie kam es durch die Einschränkung der Konsummöglichkeiten durch die Lockdowns etwa zu einer deutlichen Reduktion der weltweiten Emissionen (vgl. Abbildung 2 a)). In der Energiekrise führten die durch (Gas-)Knappheit ausgelösten Preisanstiege fossiler Energieträger zu gesteigerter Energieeffizienz [77], [78], [79], [80], aber auch zu einer Reduktion der energieintensiven Produktion in Europa und insbesondere in Deutschland (vgl. [81, Abb. 17]). Auch dies reduzierte die Emissionen erheblich, weswegen die Klimaziele im Jahr 2022 im Industriesektor erreicht wurden [82]. Weisen diese Entwicklungen darauf hin, dass Degrowth eine Antwort auf den Klimawandel sein könnte?

Die Analyse in Kapitel 2 der Studie verdeutlicht, dass eine solche Degrowth-Strategie vor dem Hintergrund globaler Entwicklungen evaluiert werden muss. Deutschland und Europa haben dabei lediglich auf nationale oder europäische Entscheidungen unmittelbaren Einfluss. Das Verhalten anderer Länder kann nur durch internationale Verhandlungen beeinflusst werden, deren Ergebnisse von gemeinsamen Zielen (z. B. beim Klimaschutz), Verhandlungsmacht (z. B. aufgrund wirtschaftlicher Stärke oder aufgrund von Abhängigkeiten) und dem Ausmaß unilateraler Anstrengungen beziehungsweise Angeboten einzelner Akteure (z. B. finanzielle Leistungen oder Technologietransfers) abhängt.

3.1 Deindustrialisierung und Carbon Leakage

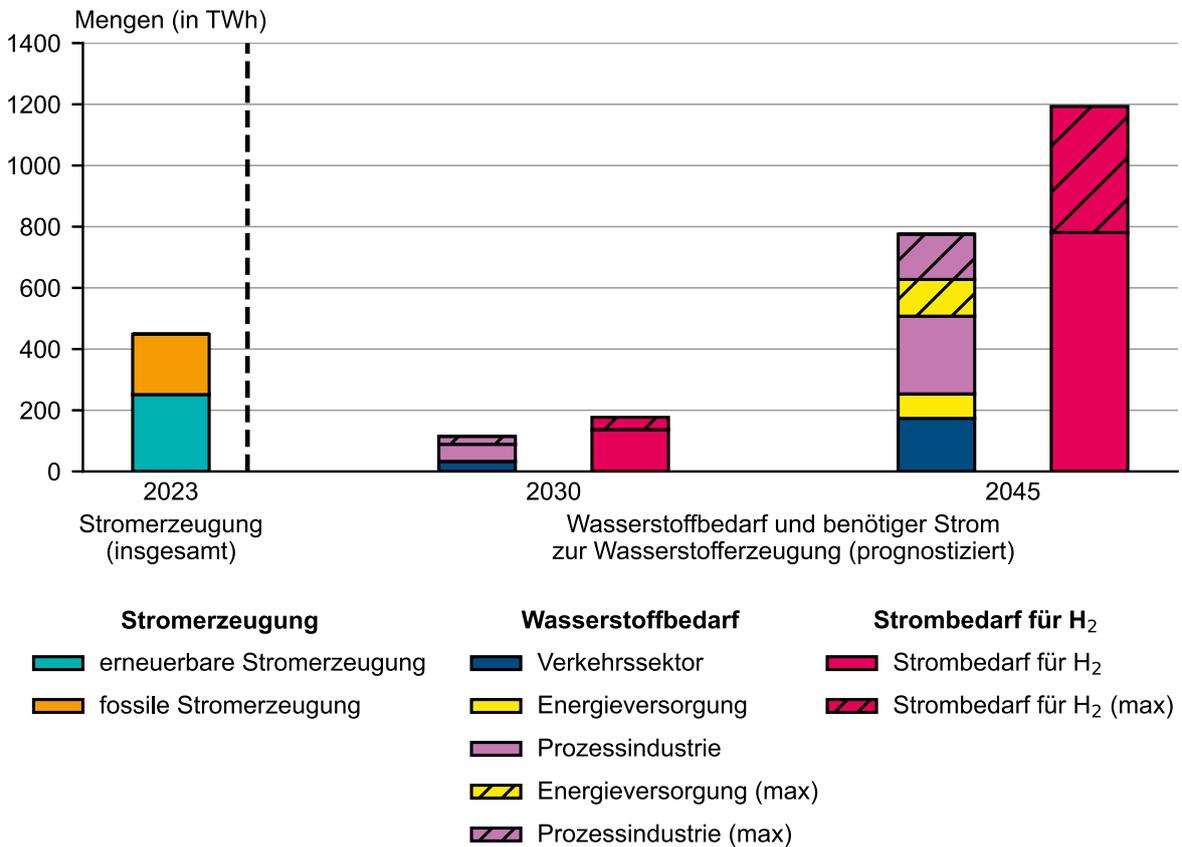
Zunächst soll an dem Beispiel der energieintensiven Industrie illustriert werden, warum die mit den Klimazielen verbundene Regulierung für den Klimaschutz kontraproduktiv sein kann, wenn die Verfügbarkeit klimafreundlicher Energie nicht zeitnah sichergestellt wird.

3.1.1 Ohne Importe klimaneutraler Energie: Industrieabwanderung und Carbon Leakage

Die besonders schwer zu transformierenden energieintensiven Industrien – Stahl, Teile der Chemieindustrie, Zement, Kalk, Glas und Papier – stehen vor großen Herausforderungen an ihren Standorten in Deutschland und Europa. Immer wieder kommt die Diskussion auf, ob und wie die Standorte erhalten werden können beziehungsweise sollen. Unter den geltenden Klimazielen der EU und Deutschlands muss die Produktion in den kommenden zwanzig Jahren auf klimaneutrale Energieträger umgestellt werden, wenn sie in der EU aufrechterhalten werden soll. Aufgrund der langen Investitionszyklen ist dies ein sehr kurzer Zeitraum.

Die Bundesregierung setzt mit ihren Wasserstoffstrategien [83], [84], [85] und weiteren wirtschaftspolitischen Maßnahmen darauf, die energieintensive Produktion zum Teil im Land zu halten. Da die energieintensiven Industrien fossile Rohstoffe nicht vollständig durch Elektrifizierung ersetzen können – etwa weil die nötigen Temperaturen

Abbildung 11: Strombedarf zur Deckung des für Deutschland prognostizierten Bedarfs an grünem Wasserstoff



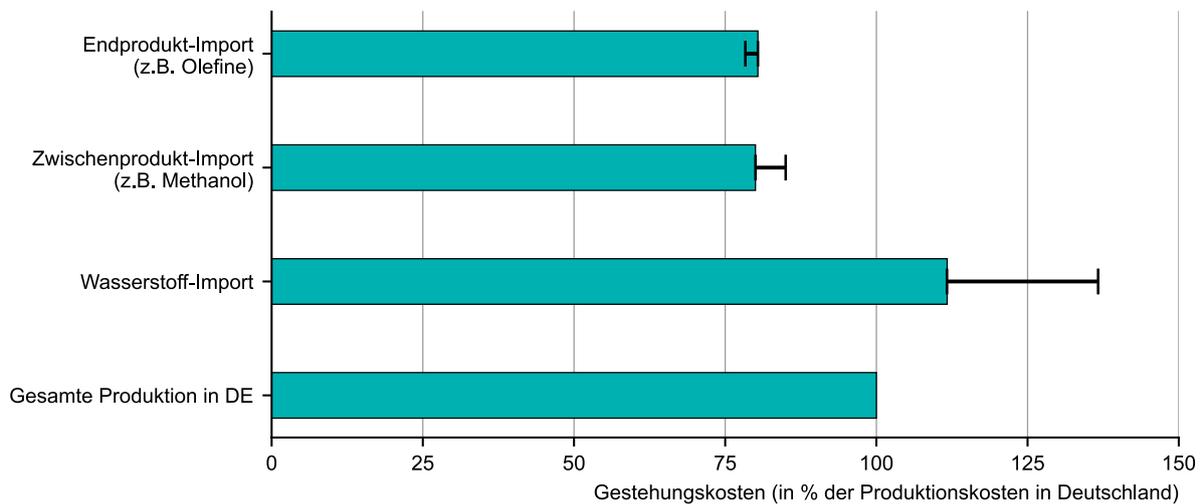
Anmerkung: Wärmeerzeugung ist nicht inkludiert. Zahlen der Bundesregierung für den gesamten Wasserstoff- und Derivatebereich liegen leicht über den aufgeführten Zahlen. Elektrolyse-Effizienz: 65 %.

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [23], [85], [86], [87].

zu hoch sind oder fossiles Gas oder Öl als Grundstoff ersetzt werden muss – werden klimafreundlicher Wasserstoff und darauf basierende Derivate benötigt [25] (vgl. **↘ Hintergrund 1**). Die Wasserstoffstrategie der Bundesregierung geht für das Jahr 2030 von einem Bedarf zwischen 95 und 130 TWh Wasserstoff jährlich aus, für das Jahr 2045 liegt die Bedarfsschätzung zwischen jährlich 360 und 500 TWh Wasserstoff, zuzüglich 200 TWh Wasserstoffderivate [85]. Abbildung 11 zeigt die benötigten Wasserstoffmengen und die dafür notwendige Stromerzeugung für den Fall, dass der Wasserstoff mittels Elektrolyse erzeugt wird (grüner Wasserstoff **↘ Hintergrund 1**). Die Abbildung zeigt außerdem (ganz links) die aktuelle Stromerzeugung in Deutschland, die etwa zur Hälfte aus erneuerbaren Energien resultiert.

Die Zahlen illustrieren eindrucksvoll, warum Deutschland (und auch große Teile der EU) mittelfristig zu den Netto-Importeuren von Wasserstoff und Derivaten gehören werden (vgl. auch Abbildung 2 f)). Der notwendige Aufwuchs der Produktion erneuerbaren Stroms wäre im Inland – aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und der im Vergleich zu anderen Ländern niedrigeren Jahresproduktion der erneuerbaren Energieanlagen – nicht leistbar. Die Bundesregierung hat daher im Juli 2024 – zurecht – eine ambitionierte Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate

Abbildung 12: Gestehungskosten von klimaneutralen High Value Chemicals nach Standort der einzelnen Prozessschritte (in Relation zur Produktion in Deutschland)



Anmerkungen: Die Grafik basiert auf zwei Studien, in denen unterschiedliche Zieljahre und Exportregionen untersucht werden [25], [88]. Für jede Betrachtung werden die Gestehungskosten normiert und als Anteil der Kosten ausgewiesen, die bei Produktion in Deutschland (= 100 %) entstünden. Im Fall von [88] werden dabei ausschließlich die Energiekosten dargestellt. Die Balken entsprechen den Ergebnissen in [25]. Die Intervalle zeigen die Spannweite der verschiedenen Ergebnisse in [88]. Das „Endprodukt Import“ Szenario unterstellt, dass sämtliche Produktionsschritte an einem Ort mit hervorragenden Bedingungen für erneuerbare Energien stattfinden und das Endprodukt nach Deutschland transportiert wird. Dem „gesamte Produktion in DE“ Szenario liegt zugrunde, dass das Endprodukt und sämtliche Zwischenprodukte, ebenso wie der (in den Berechnungen grüne) Wasserstoff, in Deutschland hergestellt werden. In den übrigen Szenarien wird unterstellt, dass entweder der Wasserstoff (schiffsbasiert, was besonders teuer ist) aus der Region mit den hervorragenden Bedingungen für erneuerbare Energien nach Deutschland exportiert wird, beziehungsweise ein wasserstoffbasiertes Zwischenprodukt wie Methanol.

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [25], [88].

verabschiedet [85]. Es wird angestrebt, klimafreundlichen Wasserstoff und Wasserstoffderivate wie Methanol, Ammoniak und Naphta zu importieren, um die Produktion energieintensiver Güter teilweise im Land aufrecht zu erhalten.

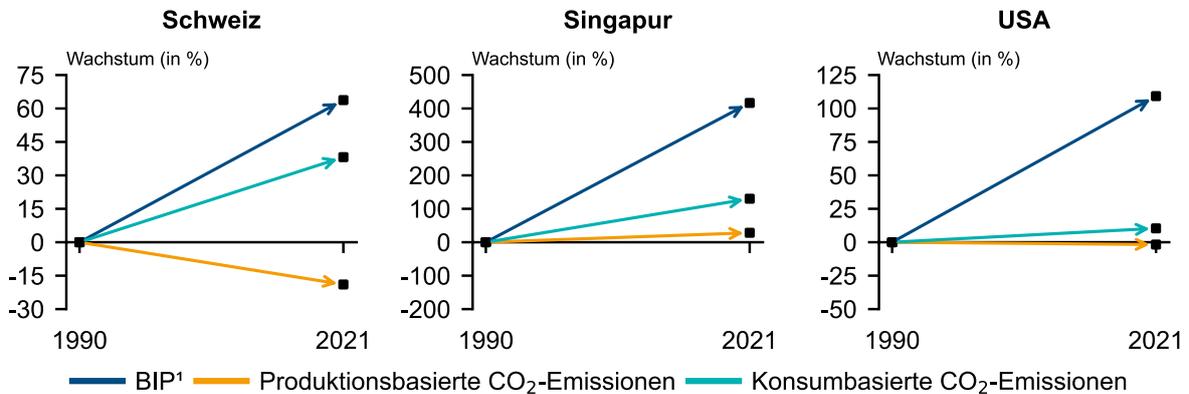
Abbildung 12 illustriert, warum dies eine sinnvolle Strategie ist. Gezeigt werden in Anlehnung an verschiedene Studien ([25], [88]) beispielhaft die Kosten der klimaneutralen Produktion hochwertiger Chemikalien für vier mögliche Fälle, von unten nach oben: (i) die gesamte Wertschöpfungskette, inklusive der Herstellung grünen Wasserstoffs, in Deutschland; (ii) der Import von grünem Wasserstoff aus Regionen mit exzellenten Produktionsbedingungen und die Umsetzung der restlichen Wertschöpfungsschritte in Deutschland; (iii) der Import von grünem Methanol aus Regionen mit exzellenten Produktionsbedingungen und die Umsetzung der restlichen Wertschöpfungsschritte in Deutschland; (iv) die Verlagerung der gesamten Wertschöpfungskette, inklusive der Spezialchemie, ins Ausland. Der in den Studien angenommene Standort für die kostengünstige Produktion von grünem Wasserstoff und möglicherweise weiterer Wertschöpfungsschritte ist ein Standort mit exzellenten Bedingungen für den Export (vgl. Abbildung 2 f)). Die Berechnungen fallen in verschiedenen Studien ([25], [88], [89], [90]) und für verschiedene energieintensive Produkte (z. B. auch Düngemittel, Stahl) strukturell sehr ähnlich aus.

Die zentrale Einsicht der Untersuchungen ist: Gelingt es nicht, Wasserstoff und Wasserstoffderivate in ausreichendem Umfang zu importieren, so verlagern sich die

gesamten Wertschöpfungsketten für die Produktion energieintensiver Produkte ins Ausland, da die Produktionskosten (für die klimafreundliche Wertschöpfungskette) im Ausland nur etwa 80 % der inländischen Produktionskosten ausmachen. Der Anstieg der Produktionskosten geht jedoch fast ausschließlich auf die höheren Kosten für die Produktion von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten zurück. Gelingt es also, diese zu importieren, so scheint es denkbar, eine wettbewerbsfähige Produktion der klimaneutralen Endprodukte im Inland aufrecht zu erhalten. Den Wasserstoff in Reinform zu importieren, ist dabei aufgrund der noch hohen Transportkosten reinen Wasserstoffs zunächst – solange noch keine Pipelineinfrastruktur für den Import verfügbar ist – zu teuer (vgl. Balken „Wasserstoff-Import“ in Abbildung 12). Daher sollte angestrebt werden, Derivate zu importieren, für die bereits heute die notwendige Transportlogistik existiert, denn dieselben Energieträger werden – aus fossilen Rohstoffen hergestellt – heute schon umfangreich eingesetzt.

3.1.2 Abwanderung der energieintensiven Industrie dürfte Klimaschutz konterkarieren

Gelingt der Import von Wasserstoffderivaten nicht in ausreichender Menge, so ist (da ja in allen EU-Mitgliedstaaten ähnliche Anforderungen an die Emissionsreduktion bestehen) mit einer Verlagerung der Produktionsstätten an Standorte außerhalb der EU zu rechnen. Allerdings ist dann nicht zu erwarten, dass die Produktion an diesen Standorten kurz- bis mittelfristig klimaneutral stattfindet. Verlagert sich die gesamte Wertschöpfungskette, so erfolgt zum Beispiel die Produktion der Spezialchemie andernorts. Zahlreiche Kuppelprodukte (also Produkte, die aus naturgesetzlichen oder technischen Gründen zwangsläufig simultan in einem Produktionsprozess entstehen), die heute in verschiedenen Wertschöpfungsketten verwendet werden, würden damit in Deutschland nicht mehr automatisch zur Verfügung stehen [91]. Darüber hinaus würde Deutschland dieses nun fehlende Produktportfolio letztendlich, als Bestandteil von importierten Zwischen- und Endprodukten, wieder importieren – und somit auch den damit verbundenen CO₂-Fußabdruck. Als Folge der Abwanderung der energieintensiven Produktion würde also einerseits der CO₂-Fußabdruck der heimischen Produktion sinken. Daher würde man durch die Deindustrialisierung scheinbar den Klimazielen näherkommen. Andererseits würde der CO₂-Fußabdruck des Konsums steigen, der sich bisher in Deutschland weitgehend gleichlaufend mit dem CO₂-Fußabdruck der Produktion entwickelt hat (siehe Abbildung 4 a)). Abbildung 13 stellt eine solche Entwicklung exemplarisch am Beispiel der Schweiz dar. Hier sind seit 1990 das BIP um 60 % gestiegen und die Emissionen der Produktion um 20 % gesunken, was zunächst eine Entkopplung der CO₂-Emissionen vom BIP suggeriert. Allerdings sind im selben Zeitraum die CO₂-Emissionen des Konsums um 40 % gestiegen. Demnach hat die Schweiz die durch ihren Konsum verursachten Emissionen in andere Regionen der Welt verlagert. Auch in anderen Ländern ist ein Auseinanderfallen des CO₂-Fußabdrucks von Produktion und Konsum zu beobachten, so etwa in Singapur und – in geringerem Umfang – in den USA.

Abbildung 13: CO₂-Fußabdruck von Produktion und Konsum können auseinanderlaufen

Anmerkungen: Die Abbildung zeigt die prozentuale Veränderung zwischen 1990 und 2021, nicht aber die Schwankungen in dem Zeitraum zwischen diesen Jahren. 1 – in internationalen Dollar (KKP, Basisjahr 2017).

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [37], einer Aktualisierung von [38], [39] – bearbeitet durch OWID.

Hintergrund 4: Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) der EU

Der CBAM der EU ist ein Instrument, das Importe bestimmter CO₂-intensiver Produkte mit einer CO₂-Abgabe belegt [92], [93]. Ziel ist es, Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden und zu verhindern, dass Produktionsstätten in Länder mit geringeren Klimaschutzanforderungen verlagert werden („Carbon Leakage“). Nach der im Oktober 2023 gestarteten Einführungsphase des CBAM zur Umsetzung der notwendigen Genehmigungs- und Berichtspflichten folgt ab 2026 der umfassende Start des Systems mit Abgabepflichten von CBAM-Zertifikaten für den Import von dem CBAM unterliegenden Gütern. Dazu gehören insbesondere Grundstoffe wie Eisen, Stahl, Zement, Aluminium, Düngemittel, Elektrizität und Wasserstoff(-derivate). Der CO₂-Grensausgleich erfolgt zunächst auf Basis von Schätzwerten für den CO₂-Fußabdruck der Importe, es sei denn, der Importeur kann den tatsächlichen mit der Produktion der Importgüter verbundenen CO₂-Ausstoß nachweisen. Im Gegensatz zu Importen ist es aktuell nicht geplant, Exporte aus der EU von den CO₂-Kosten zu entlasten. Dies könnte europäische Exporteure gegenüber globalen Wettbewerbern benachteiligen, sofern deren Produktionsländer keine vergleichbaren Klimaschutzinstrumente haben.

Die EU versucht, diese Verlagerungen von Emissionen ins Ausland („Carbon Leakage“) durch den sogenannten Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) zu adressieren. Im Rahmen des CBAM soll der CO₂-Fußabdruck der Importe mit einer CO₂-Abgabe belegt werden, die den Vorteil ausländischer Produktion gegenüber inländischer Produktion aufhebt. Allerdings geht die Umsetzung mit Problemen einher, weshalb zunächst (und vermutlich auf lange Zeit) nur die unteren Wertschöpfungsstufen betroffen sein werden. Carbon Leakage bei Abwanderung großer Teile der Wertschöpfungsketten und stattdessen dem Import von CO₂-intensiven Zwischen- und Fertigproduktion wird sich also mit dem aktuellen Instrumentarium nicht verhindern lassen (vgl. auch [23]). Daher gibt es nur dann eine Möglichkeit, den CO₂-Fußabdruck

des Konsums verlässlich niedrig zu halten, wenn klimaneutrale oder klimafreundliche Energieträger auf der Basis von Wasserstoff importiert werden. Deren CO₂-Fußabdruck kann – im Gegensatz zum CO₂-Gehalt von Zwischen- und Endprodukten – auf der Basis von Zertifizierungen kontrolliert werden. Zudem fallen diese Produkte schon heute unter den CBAM (vgl. [↘ Hintergrund 4](#)). Das Erreichen der Importziele der Importstrategie sollte daher höchste Priorität haben.

3.2 Sozialstaat und Verteidigungsfähigkeit

Neben den beschriebenen Schwierigkeiten, die eine Abwanderung energieintensiver Industriezweige für effektiven Klimaschutz mit sich bringt, dürfte eine Strategie, die auf Wirtschaftsschrumpfung setzt, mit weiteren gesellschafts- und wirtschaftspolitischen Herausforderungen einhergehen. So sind etwa viele Arbeitsplätze direkt oder indirekt vom Wirtschaftswachstum abhängig, wie auch die zu erwartenden Steuereinnahmen. Wirtschaftswachstum ist daher mit der Entwicklung des Lebensstandards der Menschen verknüpft.

3.2.1 Schrumpfung schafft Herausforderungen bei der Erfüllung staatlicher Aufgaben

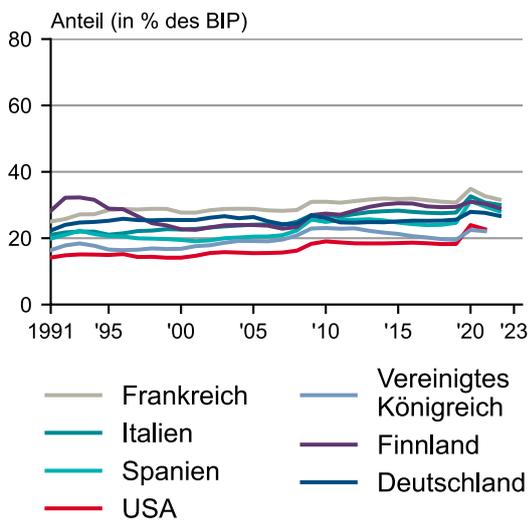
Insbesondere das Sozialversicherungssystem ist auf Steuereinnahmen und Beiträge angewiesen, deren mögliche Höhe eng mit dem Wirtschaftswachstum zusammenhängt. Eine schrumpfende Wirtschaft könnte die Finanzierung von Renten, der Gesundheitsversorgung und anderen Leistungen des Sozialstaats deutlich herausfordernder machen. In vielen fortgeschrittenen Industriestaaten ist in den vergangenen Jahrzehnten der Anteil der Sozialausgaben am BIP angestiegen (vgl. Abbildung 14 a)). Dies hat mehrere Gründe: Die alternde Bevölkerung, steigende Gesundheitskosten im Zuge der demografischen Entwicklung und der Weiterentwicklung der Medizin, die zunehmende Nutzung sogenannter automatischer Stabilisatoren (zum Beispiel das Kurzarbeitergeld) im Konjunkturzyklus sowie die Erweiterung des Sozialstaats. In fortgeschrittenen Volkswirtschaften gibt es oft eine starke Erwartung der Bevölkerung, dass der Staat soziale Sicherheit und Unterstützung gewährleistet. Diesem Wählerwillen wird immer wieder entsprochen, wobei eine Rücknahme von Leistungen naturgemäß schwieriger ist als ihre Einführung.

In Deutschland wurde in den wirtschaftlich guten Zeiten der letzten Dekaden das Leistungsspektrum des Sozialstaats ausgeweitet. So wurden etwa nicht von den Beiträgen gedeckte Leistungsansprüche in der Rentenversicherung verankert, die über einen immer weiter ansteigenden Zuschuss aus dem Bundeshaushalt finanziert werden [94]. Dazu zählen zum Beispiel die Mütterrente oder die Rente ab 63. Es ist gerade in den vergangenen Jahren immer wieder gescheitert, über Strukturreformen den Anstieg der Ausgaben für die sozialen Sicherungssysteme zu bremsen.

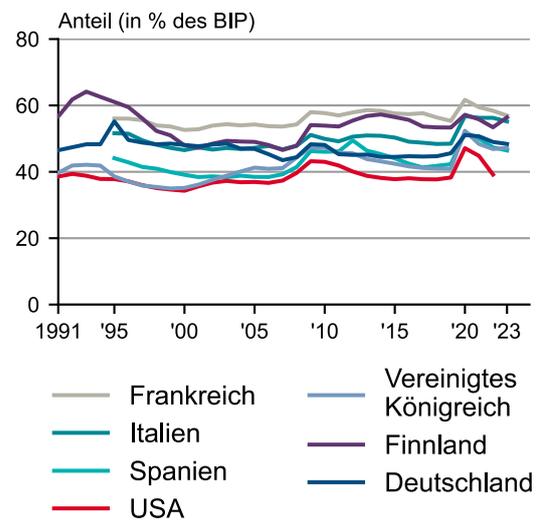
In der Coronapandemie hat sich die Staatsquote (das Verhältnis der gesamten Staatsausgaben zum BIP) in vielen fortgeschrittenen Volkswirtschaften erhöht und ist nach der Krise unterschiedlich stark zurückgegangen (vgl. Abbildung 14 b)). Deutschland

Abbildung 14: Sozialausgaben und Staatsquote

a) Anteil der Sozialausgaben am BIP



b) Staatsquote in ausgewählten Volkswirtschaften



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf a) OECD, SVR und b) BMF, OECD, SVR.

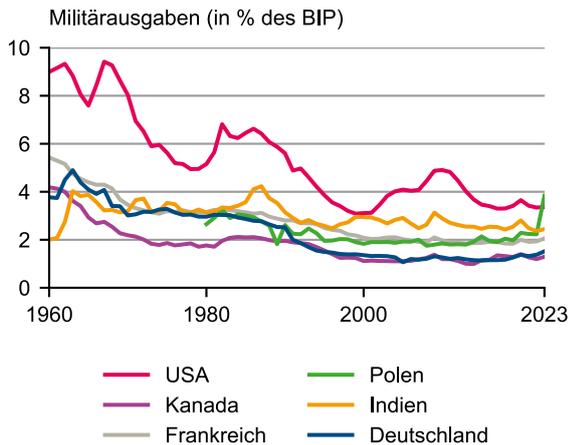
gehört (zusammen mit anderen EU-Mitgliedstaaten) zu den Ländern, in denen die Staatsquote nach wie vor auf hohem Niveau verharret – nicht zuletzt aufgrund des geringen Wirtschaftswachstums. In der wirtschaftspolitischen Debatte werden trotz der zurzeit hohen Staatsquote und der beträchtlichen Verschuldung, die aktuell in den Haushaltsaufstellungen eingeplant ist (für 2025 eine Neuverschuldung von etwa 50 Mrd. Euro [95]), umfangreiche Ausgabenbedarfe aufgerufen, die keinen Platz in den öffentlichen Haushalten finden. Diese Diskussionslage vermittelt einen Eindruck von den gesellschaftlichen Debatten, die sich im Falle einer Degrowth-Strategie ergeben würden: Die Staatsausgaben würden zwar einen immer höheren Anteil am BIP ausmachen, der Druck, mehr Verschuldung zuzulassen, würde ansteigen, aber dennoch könnten die meisten (in Teilen berechtigten) Anliegen nicht finanziert werden. Im Falle der Schrumpfung würde es nicht einmal ausreichen, den Anstieg der Sozialausgaben zu beschränken, um Spielräume im Haushalt zu schaffen. Man müsste sie deutlich zurückfahren.

3.2.2 Steigende Ausgabenbedarfe: Verteidigungsfähigkeit, Bildung, Infrastrukturen

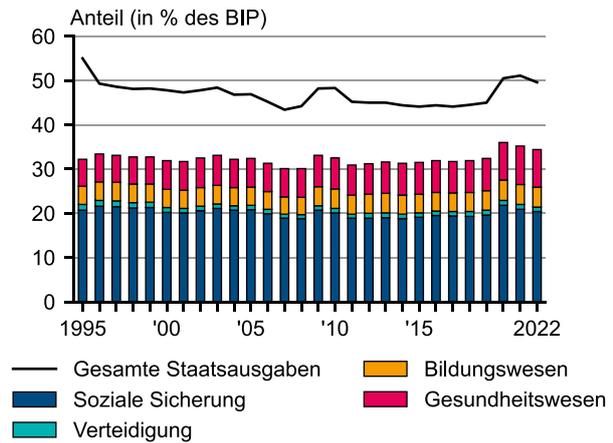
Unter den vielen Ausgabebedarfen, die politisch diskutiert werden, gibt es einige, die eindeutig in den Aufgabenbereich des Staates fallen und eine größere Priorisierung erfahren müssen. Die Verteidigungsausgaben (als Anteil am BIP) sind seit Ende des Kalten Kriegs in den westlichen Industriestaaten zurückgegangen (vgl. Abbildung 15 a)). Dieser Trend muss sich angesichts der aktuellen geopolitischen Entwicklungen und auch aufgrund des zunehmenden Drucks der USA auf Europa jedoch umkehren [96]. Eine tatsächliche Stärkung der Verteidigungsfähigkeit dürfte jedoch bei sinkender Wirtschaftskraft schwer umzusetzen sein. Zum einen werden ausreichend öffentliche

Abbildung 15: Geringe Spielräume für zukunftsorientierte Ausgaben

a) Militärausgaben in ausgewählten Volkswirtschaften



b) Sozial-, Gesundheits-, Bildungs- und Verteidigungsausgaben in Deutschland



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf a) [98] – bearbeitet durch OWID und b) Eurostat, SVR.

Gelder benötigt, um die Bundeswehr auf die Herausforderungen der neuen geopolitischen Entwicklungen vorzubereiten. Zum anderen ist die Innovationskraft der Wirtschaft eine zwingende Voraussetzung, um im Wettbewerb um die neuesten Waffensysteme mithalten zu können und sicherheitsrelevante Komponenten auch perspektivisch in Europa fertigen zu können.

Bei einer Vernachlässigung der Stärkung der Verteidigungsfähigkeit dürfte sich Europa einem größeren Risiko zukünftiger militärischer Konfrontationen aussetzen [96]. Eine weitere Verschärfung von militärischen Auseinandersetzungen würde jedoch den Fokus vom Klimaschutz auf Eskalationsherde in Europa und weltweit verschieben und effektiven Klimaschutz in den Hintergrund drängen.

Weitere staatliche Ausgabenbedarfe ergeben sich im Bereich der zukunftsorientierten Ausgaben, insbesondere bei bestimmten öffentlichen Investitionen und in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Bildung [97]. Abbildung 15 b) illustriert, dass allein die hier diskutierten Ausgabenbereiche einen großen Anteil der öffentlichen Haushalte ausmachen und aufgrund struktureller Entwicklungen wie der demografischen Alterung eher steigen werden (Gesundheit und soziale Sicherung) beziehungsweise steigen sollten (Verteidigung, Bildung, Forschung). Eine Voraussetzung dafür ist Wirtschaftswachstum.

3.2.3 Fehlende Abfederung von Härten gefährdet Akzeptanz von Klimaschutz

Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich immer mehr gezeigt, dass Klimaschutz letztendlich die Haushalte direkt in ihrem Lebensumfeld betrifft. Die Kosten der Umstellung der Wärmeversorgung wurden im Zuge der Diskussion des Heizungs-

gesetzes zu einem Politikum und führten dazu, dass umfangreiche Entlastungsmaßnahmen geplant wurden. Die steigenden Preise von Strom und Kraftstoffen, die den Haushalten im Zuge der Transformation nicht erspart werden können, werden ohne eine Abfederung der Härten für einkommensschwache Haushalte kaum durchsetzbar sein. Ein ausreichendes Potenzial des Staates für Maßnahmen zur Abfederung von Härten dürfte daher eine Voraussetzung dafür sein, dass wirksame Klimaschutzmaßnahmen beschlossen und durchgehalten werden können.

Im Rahmen einer Degrowth-Strategie dürfte die soziale Abfederung klimapolitischer Maßnahmen nur schwer finanziert werden können. Dies könnte die breite Akzeptanz für den Klimaschutz reduzieren, vor allem, wenn statt der Abfederung von Härten der Klimaschutzmaßnahmen zunehmend auch Einschnitte bei der Finanzierung von Renten, der Gesundheitsversorgung und anderen sozialen Leistungen die politische Diskussion bestimmen würden. Ohne eine generelle Akzeptanz von Klimaschutz in der Bevölkerung ist es schwer vorstellbar, verlässliche regulatorische Rahmenbedingungen zu etablieren, die für Investitionsanreize in Klimaschutzmaßnahmen bei Unternehmen und privaten Haushalten sorgen. Es sind aber gerade die privaten Investitionen, die benötigt werden, um die Transformation zu beschleunigen. In den vergangenen Jahren machten die privatwirtschaftlichen Investitionen etwa 88 % der gesamtwirtschaftlichen Investitionen in Deutschland aus [99]. Gelingt es der Politik nicht, verlässliche Rahmenbedingungen zu etablieren, die klimafreundliche Investitionen attraktiver machen als fossile Geschäftsmodelle, so wird Klimaschutz in Deutschland und auch darüber hinaus nicht gelingen. In einer Demokratie wäre daher Klimaschutz durch Schrumpfung also kaum durchhaltbar [100], [101].

3.2.4 Nachhaltige Finanzpolitik als Grundlage von Wachstum und Klimaschutz

Eine Lockerung der Schuldenbremse wird aktuell zwar vielfach als Lösung präsentiert, dürfte aber – selbst wenn Mehrheiten beschafft werden könnten – kein geeignetes Mittel sein, um die anstehenden Herausforderungen zu meistern. Wenn ein Anstieg der Schuldenquote in Deutschland vermieden werden soll, liegt der zusätzliche Spielraum nach Berechnungen des Sachverständigenrates Wirtschaft (SVR) lediglich zwischen acht und zwölf Mrd. Euro jährlich [102]. Dieser zusätzliche Spielraum reicht jedoch bei Weitem nicht aus, um Strukturreformen entbehrlich zu machen. Ein Anstieg der Verschuldung nach einer Lockerung der Schuldenbremse und daraus möglicherweise erwachsende Schuldenkrisen in Europa würden ebenfalls den Fokus vom Klimaschutz weglenken [103]. Ökologische und fiskalische Nachhaltigkeit müssen daher Hand in Hand gehen. Eine effektive Klimapolitik in den kommenden 20 Jahren setzt eine nachhaltige Finanzpolitik voraus, die garantiert, dass der Staat seine Aufgaben auch in Zukunft verlässlich erfüllen kann.

Statt einer Degrowth-Strategie dürfte eine Kombination aus nachhaltigem Wachstum, technologischem Fortschritt und strukturellen Reformen effektiver sein, um Klimaschutz und wirtschaftliche Stabilität zu gewährleisten. Deutschland und Europa werden strategisch und gemeinsam agieren müssen, um Europa und Kooperationspartner weltweit unter den sich abzeichnenden Rahmenbedingungen in eine klimaneutrale Zukunft zu führen. Einige Elemente einer solchen Strategie werden in Kapitel 4 skizziert.

The background is a solid dark blue. It features several overlapping geometric shapes: three teal-colored parallelograms pointing upwards and to the right, and a jagged, sawtooth-like line in shades of pink and purple that runs across the middle of the page. The text is white and bold.

4

**WACHSTUM UND
KLIMASCHUTZ
VEREINBAREN:**

**KOOPERATION
UND WETTBEWERB**

Europa hat sich in internationalen Klimaverhandlungen früh für die Emissionsreduktion eingesetzt (vgl. [41]), im Laufe der Jahre umfangreiche Maßnahmen zum Klimaschutz ergriffen (etwa die Einführung des europäischen Emissionshandels „EU Emissions Trading System“ (EU ETS) im Jahr 2005) und mit dem Green Deal die Klimaneutralität im Jahr 2050 beschlossen (vgl. Abbildung 10 a)). Eine Vorreiterrolle allein dürfte allerdings bei der notwendigen globalen Reduktion der THG-Emissionen nicht zum Erfolg führen. Sie könnte sogar kontraproduktiv sein, wenn eine unilaterale Transformation Europa einen Verlust an Wettbewerbsfähigkeit bringt und damit auch das Potenzial für Kooperationen und internationale Klimafinanzierung reduziert [104], [105]. Europa muss durch sein Handeln vielmehr die anderen Staaten „mit ins Boot“ bekommen (Kooperation) und zugleich bei entscheidenden Technologien die Technologieführerschaft anstreben (Wettbewerb). Es sollte daher bei allen Maßnahmen bedacht werden, ob und über welche Wirkmechanismen sie dazu beitragen, dass weltweit tatsächlich die Emissionen reduziert werden. Maßnahmen, die Europas Einfluss in der Welt schwächen, zu Carbon Leakage beitragen (vgl. Kapitel 3) oder fossile Ressourcen freisetzen, die dann andernorts Verwendung finden, sollten kritisch hinterfragt werden. Nur wenn Europa seine vielfältigen Möglichkeiten nutzt, auf dem Weg zur Erreichung der eigenen Klimaziele auch die Reduktion der weltweiten Emissionen entscheidend voranzutreiben, kann Klimaschutz gelingen. Für Deutschland und Europa gilt es, einen wachstumsorientierten Strukturwandel klug mit internationaler Kooperation zu verbinden.

4.1 Vorbildfunktion: Imitiert wird nur, was funktioniert

Europa ist in einer guten Ausgangsposition, den Klimaschutz zuhause und weltweit voranzutreiben. Eine Vorbildfunktion Europas kann im globalen Kontext zwar eine Rolle spielen, wenn es darum geht, anderen Staaten mögliche Transformationspfade aufzuzeigen. Das europäische Modell dürfte aber nur dann imitiert werden, wenn es gelingt, die international vereinbarten Klimaziele in den EU-Mitgliedstaaten möglichst kostengünstig (effizient) und ohne größere soziale Verwerfungen zu erreichen [105]. Zudem reicht es nicht aus, sich auf die Vorbildfunktion zu verlassen, sondern es ist entscheidend, die internationale Koordination von Klimaschutz in den Mittelpunkt zu stellen (vgl. [104], [106] und Abschnitt 4.2). Die erfolgreiche Umsetzung von Klimaschutz kann die internationale Kooperation beim Klimaschutz allerdings erleichtern, etwa indem für Nachahmer die Kosten der Umsetzung von Klimaschutz gesenkt werden. Eine Vorbildfunktion kann sich sowohl hinsichtlich der regulatorischen Rahmenbedingungen als auch hinsichtlich der konkreten Umsetzung von Klimaschutz mittels technologischer Lösungen ergeben.

4.1.1 Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen könnten imitiert werden, wenn ihre Effektivität demonstriert wird. Europa hat zum Beispiel bereits im Jahr 2005 den europäischen Emissionshandel im Energiesektor sowie für Teile der Industrie etabliert, der seitdem auf weitere Sektoren erweitert wurde [23, Kap. 10], [107], [108], [109], [110], [111]. Mittlerweile wurden in verschiedenen Regionen der Welt ebenfalls Emissionshandelssysteme

etabliert (vgl. Abbildung 10 a) und Abbildung 10 b)), nicht selten in Anlehnung an die europäischen Regeln, wie etwa in China, Neuseeland oder Südkorea [70], [112]. Es zeigt sich weltweit, dass der Emissionshandel erfolgreich die Emissionen reduziert [108], [113]. Allerdings können steigende CO₂-Preise zu einem Wettbewerbsnachteil der von ihnen betroffenen Unternehmen und Regionen führen [114], weshalb Bemühungen, den Emissionshandel international zu verankern, ein wichtiger Bestandteil der Weiterentwicklung dieses Instruments sein müssen. Auf dem Weg zu einer weltweiten Integration von Emissionshandelssystemen kann der CBAM **↘ Hintergrund 4** der EU eine wichtige Rolle spielen [104]. Der Emissionshandel in der EU in Verbindung mit einem Grenzausgleich kann durchaus geeignet sein, die Gründung eines Klimaklubs [23], [76] **↘ Hintergrund 3** zu erleichtern. Insbesondere erhöht er – bei geeigneter Ausgestaltung – den Anreiz von Drittstaaten, einen Emissionshandel einzuführen [115], [116], [117] und das Instrument des Grenzausgleichs an den Außengrenzen des Klimaklubs einzusetzen.

Ein weiteres Klimaschutzinstrument, das international Nachahmung findet, sind die Einspeisevergütungen im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), die seit dem Jahr 2000 zu einem massiven Ausbau von PV- und Windenergieanlagen und der entsprechenden Produktionskapazitäten für diese Anlagen geführt haben. Zuletzt wurde in den USA mit dem Inflation Reduction Act (IRA) eine ähnliche Strategie verfolgt, indem in einem vorgegebenen Zeitraum bei Aufbau von Kapazitäten bestimmter Technologien (wie beispielsweise Elektrolyseanlagen, Wind- und PV-Kapazitäten) Steuervergünstigungen gewährt werden. Derartige Instrumente haben sich zwar als effektiv herausgestellt, um den Ausbau von Anlagen möglichst schnell zu skalieren. Bei jungen Technologien führt dies im Zuge der Industrialisierung der Produktion oft zu einer Kostensenkung, von der auch weitere Anwender profitieren und die zur Ausbreitung von Technologien weltweit beitragen kann. Prominentestes Beispiel ist die Solartechnologie. Allerdings hat sich auch gezeigt, dass die Kosten für die „First Mover“ hoch sind, wenn die Programme in der Breite angenommen werden. Die Fördermaßnahmen werden deshalb oft nicht durchgehalten. Mit der Reduktion der Förderung nimmt dann meist auch der Zubau von Anlagen ab, wie es in Deutschland beim Wind- und PV-Ausbau zu beobachten war. Produktionskapazitäten für Anlagen verlagern sich zudem mittelfristig in Länder mit günstigen Standortbedingungen. So werden PV-Module heute weitestgehend in China gefertigt. Bei Fördermaßnahmen, die mit hohen Kosten für die Steuerzahler einhergehen, ist es daher nicht zwangsläufig zielführend, immer zu den Vorreitern zu gehören. Es kann im Gegenteil für den Klimaschutz hilfreich sein, wenn verschiedene Staaten sich die Aufgabe teilen, die Kostendegression bei wichtigen Technologien herbeizuführen [118].

4.1.2 Technologische Umsetzung

Technologische Lösungen für die Transformation des Energiesystems oder die Transformation in Unternehmen können ein Vorbild sein und international imitiert werden. So können etwa Energieeffizienzlösungen oder Eigenversorgungsmodelle von Unternehmen sowie auch Quartierslösungen für die Energieversorgung in Stadtvierteln interessante Vorbilder schaffen für Regionen, in denen bisher kein flächendeckendes Stromnetz existiert. Fortschritte bei der Serienfertigung von Gebäuden sowie der Kreislaufwirtschaft können ebenfalls weltweit die Standards verschieben.

Eine Vorbildfunktion Europas kann dabei mehrere Vorteile mit sich bringen. Werden Technologien, bei denen europäische Unternehmen die Technologieführerschaft haben, in Europa skaliert, so kann die Umsetzbarkeit und Attraktivität von klimaneutralen Lösungen demonstriert werden. Nachahmung in anderen Ländern weltweit geht dann für diese mit geringeren Kosten einher. Europäische Aktivitäten können daher auch dazu führen, dass die ansässigen Unternehmen zu führenden Anbietern von klugen Energiewendelösungen auf den Weltmärkten werden. Aus der frühen Skalierung können Wettbewerbsvorteile erwachsen, wenn die Technologien weltweit breite Anwendung finden und die Wertschöpfung im Inland ganz oder teilweise erhalten bleibt.

Eine besondere Vorbildfunktion kann Europa bei der Umsetzung einer klimafreundlichen Energieversorgung zukommen. Die Heterogenität europäischer Staaten mit ihren verschiedenen Lösungen für eine klimaneutrale Energieversorgung ermöglicht es den Mitgliedstaaten, viele verschiedene Transformationspfade zu demonstrieren. Denn aufgrund unterschiedlicher Präferenzen (etwa zur Atomkraft), aber auch wegen unterschiedlicher geologischer Gegebenheiten (Verfügbarkeit von Wasserkraft oder guten Wind- und Solar-Standorten) zeigt sich, dass unter ganz unterschiedlichen Voraussetzungen die Transformation der Energieversorgung gelingen kann. Es wird daher von großer Bedeutung sein, dass in Europa das Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Transformationspfade effektiv und vor allem kostengünstig gelingt.

Man kann und sollte insbesondere nicht erwarten, dass andere Länder deutsche Lösungen 1:1 imitieren. Im Gegenteil, die Akzeptanz unterschiedlicher nationaler Transformationspfade, die typischerweise in unterschiedlichen Ausgangsbedingungen oder Präferenzen der Bevölkerung begründet sind, ist eine Gelingensbedingung für den weltweiten Klimaschutz. Den geringsten Widerstand erfahren Klimaschutzbemühungen daher, wenn sich die internationale Gemeinschaft auf gemeinsame Ziele und möglichst technologieoffene institutionelle Rahmenbedingungen einigt, die Technologiepfade aber den Entwicklungen in den jeweiligen Staaten überlässt [119].

Für Deutschland bedeutet der Ausstieg aus der Atomkraft und der Kohleverstromung, dass eine möglichst kostengünstige Stromversorgung auf der Basis von erneuerbaren Energien, (langfristig mit Wasserstoff betriebenen) Gaskraftwerken, Speichern und Flexibilitäten erreicht werden muss und zudem die Einbindung in den europäischen Binnenmarkt von großer Bedeutung ist. Neben der Verfügbarkeit von Wasserstoff für die Stromerzeugung muss auch die Wasserstoffbeschaffung für die Industrie gelingen. Um in diesem Kontext eine Vorbildfunktion auszufüllen, gilt es, diese doppelte Herausforderung ohne deutliche Einbußen bei der Wettbewerbsfähigkeit zu meistern. Abbildung 6 illustriert zwar, dass bei einer kosteneffizienten Ausgestaltung des Kraftwerksmix keine substanziellen Nachteile bei den Stromkosten zu erwarten sind [47], aber aktuell befindet sich Deutschland aufgrund zahlreicher kleinteiliger Fördermaßnahmen nicht auf dem Weg zu einer effizienten Energieversorgung. So erhalten beispielsweise PV-Dachanlagen deutlich höhere Einspeisevergütungen als Freiflächenanlagen, wodurch die Kosten des Systems unnötig in die Höhe getrieben werden [45].

4.1.3 Standards und Zertifizierung

Ein weiterer Vorteil der Vorbildfunktion kann ein größerer Einfluss bei Standardisierungs- und Zertifizierungsprozessen sein. In den Standardisierungskomitees weltweit engagieren sich Firmen und zunehmend auch Staaten dafür, die internationalen Standards nahe an ihren Patentportfolios auszurichten. Bei der Erarbeitung von Standards sind zwar einerseits die technologischen Eigenschaften von Bedeutung. Die letztendlich etablierten Standards hängen allerdings ebenso von dem Engagement der Unternehmen und Staaten in den entsprechenden Komitees sowie von den bereits etablierten Anwendungen der Technologien ab.

Deutschland und Europa sollten gerade bei Energiewende-Technologien hier einen besonderen Schwerpunkt setzen [120], [121], [122]. Wenn globale Standards nahe an den Patenten und den Produktportfolios der Unternehmen in Deutschland und Europa gesetzt werden, haben diese einen wichtigen „First Mover“-Vorteil. Berechnungen ergeben für den Zeitraum 1997–2006 beispielsweise einen Nutzen der Normungsaktivitäten in Höhe von rund 17 Mrd. Euro pro Jahr, was in diesem Zeitraum 0,7 bis 0,8 % des BIP entsprach [123].

Allerdings treten deutsche und europäische Akteure in den Gremien weniger koordiniert auf als die Vertreter anderer Nationen. Insbesondere für KMUs und Startups sind finanzielle und personelle Engpässe eines der Haupthindernisse für die Beteiligung in Normungsgremien. Um die Standardisierung zu beeinflussen, ist eine bessere Koordinierung der internationalen Aktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene von zentraler Bedeutung. Dabei ist die vorwettbewerbliche Phase entscheidend, insbesondere das Antizipieren, Priorisieren und Adressieren von Standardisierungsbedarf in strategischen Bereichen. Vor diesem Hintergrund sind die Gründung des High-Level Forum on European Standardisation und des Deutschen Strategieforschums für Standardisierung im Januar 2023 zu begrüßen. In den strategischen Bereichen, in denen für Deutschland oder Europa großes Wachstumspotenzial besteht, sollten zeitnah Koordinationsplattformen aufgebaut werden, welche die Aktivitäten im Bereich der Normung und Standardisierung begleiten und eine gute Koordination zwischen öffentlichen und privaten Interessen garantieren (siehe z. B. [124] für den Bereich Wasserstofftechnologien).

4.1.4 Negative Beispiele schrecken ab

Führen klimapolitische Maßnahmen zum Erfolg, so könnten sie von anderen Regionen der Welt imitiert werden. Bei regulatorischen Rahmenbedingungen hätte dies den Vorteil, dass man bei den wirtschaftlichen Belastungen des Klimaschutzes einem „level playing field“ näherkommt. Allerdings impliziert das Gefangenendilemma bei der Bereitstellung globaler öffentlicher Güter, dass einer Übernahme von Regulatorik auch Interessen in anderen Regionen der Welt entgegenstehen. Daher müssen Klimaverhandlungen, gemeinsame Institutionen sowie finanzielle Anreize eine wichtige Rolle einnehmen (mehr dazu im folgenden Abschnitt). Bei Zertifizierungsverfahren und dem Monitoring von Aktivitäten kann die Imitation durch viele Staaten weltweit die Kosten der Umsetzung aufgrund einer stärkeren Standardisierung senken. Dasselbe kann aber auch umgekehrt gelten: haben andere die bessere Regulierung, so

sollte man erwägen, sich anzupassen, um von den Vorteilen besserer und vor allem gemeinsamer oder harmonisierter Institutionen zu profitieren.

Wer vorlegt und Regulierung beziehungsweise Technologien frühzeitig implementiert, muss auf die Attraktivität der Lösungen achten. Ineffizienzen bei der Umsetzung (z. B. Überförderung von PV-Anlagen für private Haushalte) können bei Beobachtern Vorbehalte gegen die Transformation erzeugen und die Imitation unattraktiv machen. Durch eine Vielfalt an Fördermechanismen, die die Umsetzung der Energiewende kostspielig machen, letztendlich nicht durchhaltbar sind und die Akzeptanz erodieren lassen, kann sich somit eine Vorbildfunktion ins Gegenteil verkehren.

4.2 Internationale Kooperation und Unterstützung

Internationale Kooperation ist der Schlüssel, um beim Klimaschutz erfolgreich zu sein. Zum einen werden die Emissionen zum größten Teil schon heute außerhalb Europas verursacht und zukünftiges Wachstum in Schwellen- und Entwicklungsländern dürfte – wenn es auf fossilen Energieträgern basiert – diesen Effekt noch verstärken (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Zum anderen gelingt in Europa die Transformation hin zu klimafreundlichem Wirtschaften leichter, wenn weltweit klimafreundliche Geschäftsmodelle relativ zu fossilen an Attraktivität gewinnen. Um dies zu erreichen, sind jedoch erhebliche Anstrengungen notwendig.

4.2.1 Strategische Klimakooperation: Gemeinsame Institutionen sind der Schlüssel

Beim Klimaschutz ist internationale Kooperation notwendig, auch über die Grenzen der geopolitischen Blöcke hinweg. Der größte Teil der globalen Emissionen fällt schon heute in Asien an, in Afrika dürfte aufgrund des Bevölkerungswachstums der Energieverbrauch deutlich steigen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, dass viele Länder über große Reserven fossiler Ressourcen verfügen, die durch eine Umstellung auf erneuerbare Energien entwertet würden (vgl. Abbildung 2 e)). In Autokratien sind die fossilen Ressourcen oft ein bedeutender Faktor des Machtgefüges und des Machterhalts [125]. Die daraus resultierenden Vorbehalte gegenüber einer Transformation zu erneuerbaren Energien – die typischerweise das Monopol in der Energieversorgung aufbricht – gilt es, bei Verhandlungen über gemeinschaftliche Institutionen zu berücksichtigen.

Unilaterale Klimaziele und nationale Klimaschutzbeiträge, die heute viele Staaten weltweit im Zuge der internationalen Klimaverhandlungen beschlossen haben (vgl. Abbildung 2 a) und Abbildung 10), sind ein Fortschritt, aber nicht ausreichend, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Zum einen reichen diese Selbstverpflichtungen bisher nicht aus, um die in Paris vereinbarte Eindämmung der Erderwärmung zu erreichen [67]. Zum anderen mangelt es an der Umsetzung dieser Ziele. Um effektive Klimakooperation im internationalen Kontext zu erreichen, sind auf Gegenseitigkeit beruhende (reziproke) gemeinsame Verpflichtungen notwendig [106]. Dabei handelt es sich um eine Vereinbarung, sich an Regeln zu halten, voraus-

gesetzt, andere halten sich ebenfalls an die vereinbarten Regeln. Allein die Vorbildfunktion oder gar eine Vorreiterrolle beim Klimaschutz ist nicht geeignet, die Klimaziele weltweit zu erreichen, eine Vorreiterrolle könnte sich sogar als kontraproduktiv erweisen (vgl. Abschnitt 3.1), zum Beispiel weil ein Staat so seine Verhandlungsposition für das Ringen um gemeinsame Institutionen schwächt.

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Kandidaten für eine gemeinsame Verpflichtung diskutiert, die Fortschritte beim globalen Klimaschutz ermöglichen und die Wettbewerbsbedingungen weltweit angleichen könnten. Darunter fallen sektorale Abkommen zur Emissionsreduktion sowie ein globaler CO₂-Mindestpreis. Letzterer gilt als ein besonders wirksames Mittel [106]. Generell dürften derartige Vereinbarungen beziehungsweise gemeinsame Institutionen nicht global erreichbar sein, sondern sie werden zu Beginn lediglich eine „Gemeinschaft der Willigen“ umfassen. Denkbar wäre es daher, auf eine Lösung hinzuarbeiten, die einen gemeinsamen CO₂-Mindestpreis in einigen Staaten (oder ein anderes wirksames Instrument) mit einem Klimaklub verbindet. Die Klub-Mitglieder könnten sich in diesem Fall mit einem CO₂-Grenzausgleichsmechanismus absichern, um so ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und zugleich Carbon Leakage zu vermeiden – also die Wirksamkeit der Klimaschutzmaßnahmen sicherzustellen.

Von großer Bedeutung für die internationale Kooperation bei der Emissionsreduktion sind auch Kooperationen bei der Entwicklung von Zertifizierungs- und Monitoringssystemen zur Erfassung von Emissionen. Derartige Initiativen zur Kooperation und unilaterale Maßnahmen wie der CBAM müssen zusammen gedacht werden. Idealerweise muss es gelingen, den CO₂-Fußabdruck von Gütern auszuweisen, so dass diese im CBAM anders behandelt werden können. Eine Berücksichtigung des tatsächlichen CO₂-Fußabdrucks beim Grenzausgleich impliziert, dass es attraktiv ist, diesen bei in den Klimaklub importierten Gütern gering zu halten, da es Kosten spart.

Kooperationen, die Institutionen und die regulatorischen Rahmenbedingungen betreffen, sind von besonderer Bedeutung, weil die notwendigen Investitionen zur Erreichung der Klimaziele bei weitem nicht durch die öffentliche Hand allein aufgebracht werden können. Je höher durch gemeinsame Institutionen wie dem Emissionshandel die Anreize für private Investoren sind, zum Klimaschutz weltweit beizutragen, desto schneller wird eine wirksame internationale Finanzierung von Klimaschutzaktivitäten erreichbar.

Eine Stärkung des Emissionshandels und weiterer wirksamer Institutionen, die die Nutzung fossiler Energie verteuern (beispielsweise sektorale Abkommen zur Emissionsreduktion), dürfte die Dynamik von Investitionen in klimafreundliche Geschäftsmodelle erhöhen. Allerdings werden viele Staaten weltweit zögern, fossile Energieträger unattraktiver zu machen, da sie oft günstige Wachstumsperspektiven eröffnen oder dem Land selbst Erträge aus dem fossilen Energiehandel einbringen (vgl. Abbildung 2 e)). Die internationale Klimafinanzierung kann in diesem Fall sowohl gezielt Anreize setzen als auch das Interesse steigern, wirksame Institutionen für den Klimaschutz aufzusetzen. So könnten etwa internationale Entwicklungsbanken Schwellenländer für die Stilllegung ihrer Kohlekraftwerke kompensieren [126], [127], [128]. Klimapolitik und Entwicklungspolitik sollten zu diesem Zweck eng verschränkt werden.

Die Anstrengungen, gemeinsame Institutionen zu etablieren, könnten sich zunächst auf die großen Emittenten weltweit konzentrieren. China ist zum Beispiel schon heute umfangreich von den Auswirkungen des Klimawandels und auch von lokalen Auswirkungen der Nutzung fossiler Ressourcen (wie etwa Luftverschmutzung) betroffen. Aufgrund des hohen Anteils an den weltweiten Emissionen (vgl. Abbildung 2 a)) sowie des hohen Produktionsanteils bei CleanTech (vgl. Abbildung 7 c)) hat China sowohl einen großen Hebel als auch prinzipiell ein Eigeninteresse an der Verankerung wirksamer Institutionen. Kluge Initiativen in Richtung reziproker Kooperation, die es in China ermöglichen, auch lokale Umweltbelastung zu reduzieren [129], könnten daher Aussicht auf Erfolg haben.

Darin liegt eine Chance, denn gemeinsame Initiativen im Bereich des Klimaschutzes können dabei helfen, trotz divergierender geopolitischer oder wirtschaftlicher Interessen Gesprächskanäle und Partnerschaften aufrecht zu erhalten. Dies ist von großem Wert, da die Bedeutung globaler öffentlicher Güter wie Klimaschutz, Gesundheit oder Finanzstabilität trotz der aktuellen geopolitischen Entwicklungen zunimmt. Europa kann in diesem Kontext eine wichtige Rolle einnehmen. Die Bemühungen sollten sich dabei auf die Etablierung wechselseitig kompatibler Institutionen fokussieren. Dazu zählt insbesondere das Emissionshandelssystem, das China bereits vor Jahren nach dem Vorbild des europäischen Emissionshandels entwickelt und nun implementiert hat. Nachdem zunächst nur der Stromsektor einbezogen war, wird das System nun auf Unternehmen in den Sektoren Stahl, Zement, Aluminium ausgeweitet [112].

4.2.2 Energieimporte: Neue Energieanbieter unterstützen, Synergieeffekte heben

Europa wird als einziger großer Wirtschaftsraum auch in einer klimaneutralen Welt in großem Umfang auf Importe von „Molekülen“ (also klimafreundlichem Wasserstoff beziehungsweise Wasserstoffderivaten) angewiesen sein (vgl. Abbildung 2 f)). Daher ist es notwendig, die diversifizierte Beschaffung proaktiv und zeitnah auszulösen. Gelingt dies nicht, so droht die Abwanderung signifikanter Teile der energieintensiven Industrie (vgl. Abschnitt 3.1). Verhandlungen mit einzelnen Staaten über den Wasserstoffderivate-Import zeigen, dass der potenzielle Handelspartner oft einen größeren Teil der Wertschöpfungskette zu sich holen will als nur die Produktion der Grundstoffe. Diese Verlagerungen können jedoch für die europäische Industriestruktur zum Problem werden, wenn dann wichtige Kuppelprodukte fehlen, die in den hochkomplexen industriellen Wertschöpfungsketten von Bedeutung sind.

Um möglichst schnell große Mengen an klimafreundlichen Grundstoffen und Energieträgern aus aller Welt zu beschaffen, sollten daher – möglichst seitens der EU oder zumindest durch eine Gemeinschaft williger Staaten – große Mengen weltweit ausgeschrieben werden. Ausschreibungen bieten die Möglichkeit, die Regeln so auszugestalten, dass eine Diversifizierung der Importe gelingt [130]. Zudem kann es durch Ausschreibung großer Mengen und die dadurch entstehende Konkurrenz unter den Anbietern eher gelingen, spezifische Energieträger und Grundstoffe zu beziehen, anstatt die Abwanderung von weiteren Gliedern der Wertschöpfungsketten hinnehmen zu müssen. Gleichzeitig kann der Wettbewerb unter den potenziellen Lieferanten der klimafreundlichen Energieträger die Bezugskosten für die Abnehmer in

Europa reduzieren. Die Ausschreibung großer Mengen erlaubt es zudem, Preissignale zu erzeugen, die die Überführung in einen Börsenhandel beschleunigen können [130].

Aktive Bemühungen zur Diversifizierung von Energieimporten sind wichtig, um Fehler aus der Vergangenheit nicht zu wiederholen. So haben zum Beispiel wissenschaftliche Beratungsgremien wie die Monopolkommission in den 2010er Jahren immer wieder darauf hingewiesen, dass Deutschland die Abhängigkeit von russischem Gas durch den Bau von LNG-Terminals reduzieren sollte [131], [132]. Angesichts der hohen Kosten dieser Maßnahmen ist dies jedoch weder von privaten Investoren noch von der Politik umgesetzt worden. Ist die Versorgung mit günstiger Energie durch einige wenige Anbieter also erst einmal realisiert, so ist ein Mehr an Resilienz oft nicht durchsetzbar.

Eine ähnliche Situation könnte sich bei Importen von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten ergeben, wenn die Diversifikation des Hochlaufs nicht proaktiv begleitet wird. So bringen sich schon heute Staaten aus der „Middle East and North-Africa“-Region (MENA) als Wasserstoff-Exporteure ins Spiel, welche die nötigen Investitionen aus den Einnahmen des Öl- und Gasexports der vergangenen Jahrzehnte stemmen können. Potenzielle Wettbewerber, die ähnlich gute Voraussetzungen für die Produktion von klimafreundlichem Wasserstoff, aber eine geringere Finanzkraft haben, dürften aus eigener Kraft keine Möglichkeit haben, wettbewerbsfähige Angebote zu machen. Darunter sind Demokratien wie Chile, Kolumbien und Brasilien oder auch (teils demokratische) afrikanische Staaten [22], [27]. Es dürfte im Interesse der EU sein, diese Länder – auch im Rahmen eines umfangreichen finanziellen Engagements – in die Lage zu versetzen, frühzeitig in den globalen Handel klimafreundlichen Wasserstoffs einzusteigen. So kann nicht zuletzt langfristig die Marktmacht im globalen Energiehandel reduziert werden.

Um die Finanzierung der Projekte zu erleichtern, können Investitionsschutzabkommen eine wichtige Rolle spielen. Diese waren zuletzt in Kritik geraten, da sie die Risiken fossiler Investitionen aus der Vergangenheit absichern. Nach vorne geschaut dürften sie aber vor allem die Risiken von Investitionen in Klimaschutzprojekte reduzieren, was schon heute zu beobachten ist [41, Kap. IV.2]. Die kritische Haltung gegenüber diesen Abkommen, insbesondere in der EU, sollte daher dringend überdacht werden.

Der Aufbau von Energiehandelsbeziehungen geht zwar mit substanziellen Förderbedarfen einher. Achten die Kooperationspartner darauf, die Handelsbeziehungen zum beidseitigen Vorteil auszugestalten, so können jedoch zugleich verschiedene Synergieeffekte für die beteiligten Staaten gehoben werden. Für Deutschland und die EU kann neben der Diversifizierung der Energieimporte (also dem Abbau von Abhängigkeiten) auch die Beschaffung von Rohstoffen diversifiziert werden und die Stärkung der allgemeinen Handelsbeziehungen mit den betroffenen Ländern von Vorteil sein. Beides führt indirekt zu einer Verringerung der Abhängigkeit von Ländern wie China, ohne dass man den Fokus auf eine Einschränkung der Handelsbeziehung mit ihnen legen muss. Das Konfliktpotenzial einer solchen Strategie (Abbau von Abhängigkeiten durch den Ausbau alternativer Handelskanäle) dürfte deutlich weniger konfliktbeladen sein als der aktive Rückzug aus bestehenden Partnerschaften.

Neben den positiven Effekten für die Diversifizierung von Handelsbeziehungen birgt der Aufbau neuer (klimafreundlicher) Energiehandelsbeziehungen auch signifikante Wertschöpfungspotenziale für die deutsche und europäische Industrie. Denn sowohl der Aufbau der Wertschöpfungsketten als auch die Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Wartung und Instandhaltung gehören zu den Kernkompetenzen europäischer Unternehmen. Es sind daher bei einer Beschleunigung des Hochlaufs der Energieimporte umfangreiche Technologie- und Dienstleistungsexporte zu erwarten.

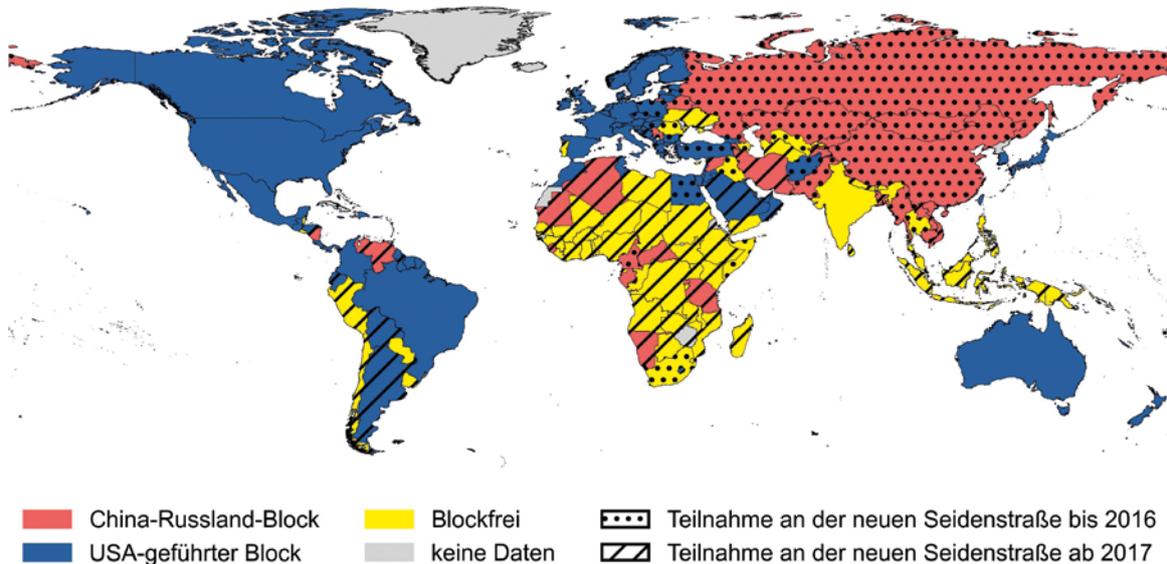
Auch die Partner können profitieren: Neben den Einnahmen aus dem Energieexport könnte bei geeigneter Ausgestaltung der Projekte die Transformation der Energieversorgung im Partnerland schneller umgestellt werden. Werden zum Beispiel größere Kapazitäten für erneuerbare Energien ausgebaut als für die Elektrolyse benötigt, so könnte Wachstum vor Ort auch stärker auf der Basis erneuerbarer Energien realisiert werden. Dies könnte gleichsam verhindern, dass mit zunehmender Wirtschaftsleistung in den Partnerländern verstärkt auf fossile Energieträger gesetzt wird. Auch der mögliche und notwendige Technologietransfer in die Partnerländer kann eine solche Entwicklung bestärken. Mit dem Aufbau der Anlagen und ihrem Betrieb ist es notwendig, umfangreiche Expertise auch in das Partnerland zu bringen und entsprechende Fachkräfte zu qualifizieren.

Neben den unmittelbaren Auswirkungen auf die Energieversorgung und den damit verbundenen Kompetenzen kann es in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten auch weitere Synergieeffekte geben. So kann etwa Wasserknappheit durch eine größere Dimensionierung von Meerwasserentsalzungsanlagen reduziert werden, welche für die Aufbereitung von Meerwasser für die Elektrolyse ohnehin gebaut werden müssen [133], [134]. Auch ist es absehbar, dass auf Basis der Erlöse aus dem Energiehandel neue Handelsbeziehungen den Wohlstand vor Ort erhöhen können.

4.2.3 Geopolitik: Verflechtungen schaffen Stabilität, aber auch Angriffspunkte

Es kann also nicht darum gehen, nur mit „Freunden“ oder nur mit anderen Demokratien zu kooperieren, da wichtige Ziele mit Blick auf Wachstum und Klimaschutz so nicht erreicht würden. Hinzu kommt, dass eine Unterteilung der Welt in Freund und Feind, oder auch nur in geopolitische Blöcke, nicht einfach möglich ist. Sowohl die Blockausrichtung der Länder als auch die Einflussphären der großen Volkswirtschaften ändern sich über die Zeit und sind oft das Ergebnis langfristiger Strategien. Es geht nicht zuletzt darum, diese Entwicklungen, etwa durch Klimaschutz-Kooperationen und Handelsabkommen, strategisch zu beeinflussen.

Abbildung 16 zeigt exemplarisch eine Zuordnung der Staaten zu geopolitischen Blöcken anhand des Anteils an Waffenimporten entweder aus den USA/Europa (blau) oder aus China/Russland (rot). Andere Indikatoren für die geopolitische Zuordnung ergeben ein ähnliches Bild [135]. Dabei fällt auf, dass viele Staaten, insbesondere in Afrika, sich in der Vergangenheit nicht klar zuordnen ließen. Allerdings verändert sich die politische Stabilität von Regionen sowie auch die geopolitische Zuordnung kontinuierlich. Sowohl auf militärischer Ebene (z. B. über Waffenexporte) als auch über strategische Handelspartnerschaften wird fortwährend Einfluss auf die Welt-

Abbildung 16: Blockausrichtung der Länder und Teilnahme an der neuen Seidenstraße

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [135], [136], [137]. Ländergrenzen basierend auf [21].

ordnung genommen. So hat China seine „Neue Seidenstraße“ seit 2017 auf viele Länder in Afrika und Südamerika ausgedehnt (vgl. Abbildung 16), die auch wesentliche Rohstoffproduzenten (vgl. Abbildung 9 a)) und potenzielle Energielieferanten (vgl. Abbildung 2 f)) für Europa sind [136], [137], [138].

Gerade Europa mit seinen Bedarfen für Importe von klimafreundlicher Energie und kritischen Rohstoffen muss den chinesischen Initiativen etwas entgegensetzen. Die auch für die Zukunft absehbare Importabhängigkeit bedeutet für Europa die Notwendigkeit, aber auch die Chance, Netzwerke und Kooperationen weltweit zu stärken und umzubauen. Dabei kann es nicht darum gehen, „Wandel durch Handel“ auszulösen. Es geht vielmehr darum, durch den Ausbau von Handelsbeziehungen mit vielen verschiedenen Partnern Abhängigkeiten zu reduzieren und weltweit Stabilität [138] sowie Resilienz zu erhöhen, sowohl beim Energiehandel als auch beim Bezug von Rohstoffen und den Handelsbeziehungen allgemein.

Die Diversifizierung der Handelsbeziehungen allein ist jedoch in Zeiten zunehmender geopolitischer Spannungen kein Garant für Stabilität. Denn Autokratien sind heute bereit und in der Lage, das komplexe Geflecht an Handelsbeziehungen direkt und indirekt als Waffe einzusetzen (weaponized interdependence) [125]. Zuletzt war dies am Beispiel von russischem Gas und der Blockade ukrainischer Getreideexporte zu beobachten. Es gelingt so, über Knappheiten etwa Inflation oder Flüchtlingsströme auszulösen und gerade Demokratien unter Druck zu setzen. Im Zuge der Diversifizierung und Neugestaltung von Handelsbeziehungen gilt es daher, auf Resilienz zu achten und wichtige Knotenpunkte im ökonomischen Netzwerk zu identifizieren und zu besetzen [139], [140], [141]. Diese Knotenpunkte reichen von kritischen Rohstoffvorkommen bis zu Plattformen zur Abwicklung von Zahlungsverkehr [125]. Zudem gilt es – idealerweise auf Ebene der EU –, kritische Produktionskapazitäten zu identi-

fizieren, bei denen es ratsam ist, Kapazitäten innerhalb der Grenzen der EU vorzuhalten. Diese Facetten der Resilienz sind bisher noch unzureichend verstanden. Die Fähigkeit, auch „ökonomische Attacken“ abzuwehren ist aber eine wichtige Grundlage von Wachstum. Die Bemühungen um eine „wehrhafte Ökonomie“ dürfen allerdings nicht über das Ziel hinausschießen, denn auch ein umfangreiches Reshoring (d. h. eine Rückverlagerung von Produktionsstätten ins Inland) dürfte das Wachstumspotenzial reduzieren und dabei nicht einmal zu mehr Resilienz führen. Es kann daher vielfach die bessere Option sein, über die Diversifizierung von Lieferbeziehungen mehr Resilienz zu schaffen. Denn in Krisen kann es durchaus hilfreich sein, über internationale Handelskanäle Zugang zu Gütern zu haben, die im Inland nicht verfügbar sind – wie etwa Masken in der Corona-Pandemie.

In vielen Regionen weltweit wird Europa als attraktiver (teilweise präferierter) Kooperationspartner wahrgenommen. Allerdings gestalten sich Kooperationen mit der EU oft kompliziert [142], während China (zunächst) meist als unkomplizierter Partner auftritt. Im Gegensatz zu den zahlreichen handelspolitischen Initiativen Chinas hat sich die EU in den vergangenen Jahren daher schwergetan, neue Handelsabkommen abzuschließen. Selbst Abkommen mit anderen Demokratien, wie das Transatlantic Trade and Investment Partnership (TTIP), Mercosur [143] oder das Abkommen mit Australien [144], sind an den hohen Erwartungen der Europäer gescheitert, die eigenen Vorstellungen (etwa beim Klimaschutz) durchzusetzen, oder auch an protektionistischen Interessen einzelner Mitgliedstaaten [7], [145]. Diese Entwicklung bedroht das Wachstumspotenzial ebenso wie den Erfolg beim Klimaschutz, wenn einerseits zu geringe Importe von Energie und kritischen Rohstoffen die Folge sind und Europa andererseits den Zugang zu wichtigen Märkten verliert.

4.3 Günstige Energieversorgung sichern

Für Europa ist eine möglichst günstige Energieversorgung ein zentraler Baustein für zukünftiges Wachstum. Im Zuge der Transformation zu Klimaneutralität gilt es daher, den Ausbau der Energieerzeugung, der Flexibilitäten und der Netzkapazitäten so zu koordinieren, dass ein möglichst günstiges und resilientes System entsteht. In der politischen Diskussion müssen dabei die Realisierungszeiten dringend berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 7 a) und b)).

4.3.1 Infrastrukturen ausbauen

Zum Erreichen der Klimaschutzziele ist ein schneller und umfangreicher Netzausbau in den Bereichen Strom (Übertragungs- und Verteilnetze), Wasserstoff (Pipelineinfrastruktur, Speicher und Hafenanlagen) und Mobilität (Lade- und Wasserstofftankstelleninfrastruktur) von zentraler Bedeutung. Besondere Herausforderungen für den Ausbau und sicheren Betrieb der Netzinfrastrukturen ergeben sich in Deutschland durch den angestrebten Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 80 % bis zum Jahr 2030 und den beschleunigten Kohleausstieg. Ein Vergleich der Zielpfade aus dem Netzausbaumonitoring und dem Stand der Fertigstellung von Leitungen zeigt eine erhebliche Verzögerung des Übertragungsnetzausbaus [23].

Auch in den Verteilnetzen ist ein umfangreicher Ausbau erforderlich. Während dieser bisher vor allem durch die Einbindung der erneuerbaren Energien getrieben war, erfordern zunehmend auch die neuen Verbraucher (v. a. Wärmepumpen und Lade-stationen für Elektrofahrzeuge) eine Verstärkung und Erweiterung der (Mittel- und Niederspannungs-)Netze. Zuletzt stiegen die Investitionen in die Verteilnetze kontinuierlich an [146]. Neuere Studien gehen von einem weiter steigenden Investitionsbedarf aus [147], [148], [149], [150]. Dies macht es insbesondere erforderlich, dass Netzbetreiber ihr Eigenkapital stärken können, um den notwendigen Anstieg der Investitionen finanzieren zu können. Dies wiederum kann in einem Zielkonflikt zu niedrigen Netzentgelten stehen. Hier müssen ausgewogene Lösungen gefunden werden, um die Finanzierung der Investitionen möglich zu machen.

Für den Wasserstoffhochlauf in Deutschland und Europa ist der Aufbau einer Pipeline-Infrastruktur notwendig. Der aktuelle Entwurf für das Wasserstoff-Kernnetz beruht vor allem auf der Anbindung der großen industriellen Wasserstoffverbraucher, der potenziellen Wasserstoffverbraucher im Bereich der Stromwirtschaft, der Wasserstoffspeicher sowie der Importkorridore [151]. Für die Finanzierung des Wasserstoff-Kernnetzes auf nationaler und europäischer Ebene kann ein Finanzierungsmodell mit intertemporaler Kostenallokation („Amortisationskonto“) einen pragmatischen Weg darstellen, robuste infrastrukturseitige Voraussetzungen für einen ambitionierten Wasserstoffhochlauf zu schaffen. Angesichts der hohen Vorleistungskosten im Bereich der Stromnetzinfrastrukturen, hält die Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring die Prüfung von Modellen zur zeitlichen Verlagerung der Überwälzung auf die Netznutzungsentgelte auch im Bereich der Stromnetze für sinnvoll [23].

Für die klimafreundliche Mobilität sieht die Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) der EU den Ausbau von Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge sowie von Wasserstoff-Tankstellen vor. Um die Umstellung auf alternative Antriebe zu beschleunigen, ist der verlässliche Aufbau dieser Infrastrukturen notwendig, sodass eine signifikante Anzahl an Fahrzeugen betrieben werden kann. Gelingt dies nicht, so ist zu erwarten, dass europäische Anbieter bei alternativen Antrieben ins Hintertreffen geraten [152, S. 125 ff.].

4.3.2 Den gemeinsamen Strommarkt in Europa stärken

Die gemeinsamen europäischen Energiemärkte sind der Schlüssel für die kostengünstige Bereitstellung von Energie in der EU. Es ist in der Energiekrise glücklicherweise gelungen, die Märkte für die effiziente Rationierung knapper Energie zu nutzen und zugleich für umfangreiche Energieeinsparungen und dauerhaft wirksame Energieeffizienzanstrengungen zu sorgen [77], [78], [79], [80]. Zugleich wurden trotz vehementer (aber oft wenig fundierter) Kritik an der Merit Order die zentralen Merkmale des europäischen Energiemarktes erhalten [153], [154]. Die Merit-Order ist das Prinzip der Grenzkostenbepreisung, bei dem die Kraftwerke entsprechend ihrer Erzeugungskosten vom günstigsten zum teuersten eingesetzt werden. Zuletzt wurde die Systematik des europäischen Energiemarktes abermals hinterfragt. Der Draghi-Report [1], [2] schlägt unter anderem die Abspaltung der Finanzierung der erneuerbaren Energien vom gemeinsamen Strommarkt vor [2, S. 35]. Es ist jedoch ein Trugschluss, dass dies den Strom günstiger machen könnte. Im Gegenteil: Durch die

geringeren Handelsvolumina und die geringere Liquidität im Stromhandel und damit auch der Terminmärkte würden die Herausforderungen deutlich ansteigen [155]. Wie in Abschnitt 2.2 und Abbildung 6 illustriert, dürfte es dann deutlich schwieriger werden, die komplementären Technologien zu installieren und zu finanzieren, die für eine verlässliche Stromversorgung zusätzlich zu den erneuerbaren Energien notwendig sind und die über die Hälfte der Erzeugungskosten ausmachen dürften (vgl. Abbildung 6). Letztendlich laufen diese Vorschläge auf ein stärkeres Engagement des Staates auch in diesen Bereichen hinaus [155]. Dies kann gerade in Zeiten von Veränderungen die Transformationsgeschwindigkeit reduzieren, da anhaltende Diskussionen über den „richtigen“ Pfad typischerweise den Fortschritt einbremsen.

Wichtige Reformschritte beinhalten im Gegenteil eine stärkere Integration der erneuerbaren Energien in den Stromhandel und eine Umsetzung regionaler Preissignale [23], [155], [156], [157]. Diese sind wichtig, um ein effizientes Zusammenspiel der vielen dezentralen Akteure sicherzustellen und Investitionsanreize an den richtigen Stellen im Gesamtsystem zu stärken. Zahlreiche vergebliche Versuche, ein System zu konzipieren, das regionale Preise zusätzlich zum bestehenden einheitlichen Großhandelsstrompreis etabliert [53], [121], [158], [159], haben in der jüngeren Vergangenheit dazu geführt, dass Preiszonen oder ein Nodalpreissystem (also „knotenscharfe“ Preise) als Lösung von zahlreichen Experten unterstützt werden (für eine umfassende Argumentation siehe [155], [156]). Ein solches Preissystem dürfte aufgrund seiner kurz- und langfristigen Lenkungswirkung die Kosteneffizienz des Stromversorgungssystems deutlich erhöhen. Daher wäre selbst in Regionen mit höheren Preisen nicht mit einem signifikanten Anstieg der Preise im Vergleich zur Beibehaltung der aktuellen Marktregeln zu rechnen [159], [160].

4.3.3 Die Kosten der Energieversorgung im Blick behalten

Bei der Stromversorgung wird es darauf ankommen, die Kosten der Stromerzeugung und des Netzausbaus möglichst gering zu halten, da diese entweder über die Strompreise oder über höhere Steuern, Abgaben und Umlagen letztendlich von den Verbrauchern getragen werden müssen. In einem Investitionsumfeld, in dem die Marktpreise für Strom die relativen Knappheiten aufgrund fehlender regional differenzierter Großhandelspreise nicht abbilden und zudem abseits des Marktes durch Einspeisevergütungen, Eigenverbrauchsregelungen und weiterer Fördermaßnahmen eingegriffen wird, ist mit einer kosteneffizienten Transformation nicht zu rechnen.

Daher kann es von Vorteil sein, „vom Ende her zu denken“. Berechnungen zeigen, dass die Erzeugungskosten in einem System, in dem die erneuerbaren Energien regional ausgewogen verteilt sind und von regional systemdienlich verteilten Gaskraftwerken flankiert werden (vgl. [53], [159], [160]) sowie in gewissem Umfang Batteriespeicher zum Einsatz kommen, besonders günstig sind (für eine einfache Darstellung von Erzeugungskosten vgl. Abbildung 6 und [47]). Gaskraftwerke, die perspektivisch mit Wasserstoff befeuert werden, werden als „Langzeitspeicher“ ohnehin benötigt – eine Aufgabe, die Batteriespeicher nicht erfüllen können. Sind sie erst einmal gebaut, ist es günstiger, sie auch in gewissem Umfang einzusetzen, um kurzfristige Versorgungslücken abzudecken. Denn für den Einsatz fallen nur die Brennstoffkosten an, die für den entsprechenden Einsatz mit den Investitionskosten von Batteriespeichern

verglichen werden müssten. Dies könnte bei zu erwartenden Kosten klimafreundlichen Wasserstoffs einen anderen kostenminimalen Erzeugungsmix ergeben, als er resultiert, wenn zunächst in großem Umfang Batteriespeicher gebaut werden und später erst zusätzliche Gaskraftwerke, so wie es sich aktuell aufgrund der Verzögerungen bei der Kraftwerksstrategie abzeichnet [161].

Verschiedene Subventionen und Preisverzerrungen führen aktuell dazu, dass ein unnötig teures Stromversorgungssystem entsteht. Der Ausbau vieler kleinteiliger PV-Dachanlagen ist zudem mit höheren Förderbedarfen verbunden als wenn man die Skaleneffekte größerer PV-Anlagen nutzen würde, die lastnah z. B. auf Industriedächern, Parkflächen oder Freiflächen installiert werden [44], [45]. Ein etwas weniger kleinteiliges System könnte somit potenziell mit geringeren Systemkosten einhergehen, insbesondere auf der Verteilnetzebene [45], [150]. Außerdem führt das starke Wachstum insbesondere bei den PV-Anlagen in Verbindungen mit den aktuellen Rahmenbedingungen, welche den Netzzustand aufgrund fehlender regionaler und zeitlicher Preissignale nicht oder nur wenig berücksichtigen, zu einem Anstieg der Stunden mit negativen Preisen an der Strombörse und damit zu einer zunehmenden Belastung des EEG-Kontos sowie zu einer Überlastung der Netze, was die Systemkosten zusätzlich in die Höhe treibt. Um diese Probleme zu adressieren und einen systemdienlichen Betrieb aller Anlagen anzureizen, müssen sowohl regional als auch zeitlich differenzierte Preise an alle Akteure weitergegeben werden (z. B. über dynamische Tarife, welche sich an – idealerweise regional differenzierten – Börsenstrompreisen orientieren) [23], [121], [156], [162].

Vor diesem Hintergrund sollte ein größerer Fokus darauf liegen, die Gaskraftwerkskapazitäten zeitnah auszubauen und die Verfügbarkeit von klimafreundlichem Wasserstoff mittelfristig sicherzustellen. Gelingt dies nicht, so ist eine Diskussion über die Erhaltung von Kohlekapazitäten absehbar, die aber voraussichtlich bei den zu erwartenden Marktpreisen nicht rentabel betrieben werden können [23]. Dies wäre eine Herausforderung, da eine polarisierte Debatte über die Verwendung staatlicher Subventionen zur Aufrechterhaltung fossiler Kapazitäten zu erwarten wäre. Auch vor dem Hintergrund der Tatsache, dass Klimaschutz nur erfolgreich sein kann, wenn man Länder weltweit vom Ausstieg aus der Kohle überzeugt, sollte dies vermieden werden (vgl. Abschnitt 4.1 und 4.2).

4.3.4 Wasserstoff und Derivate: Das Henne-Ei-Problem lösen

Insbesondere bei der Koordination von Wasserstoffangebot, -infrastruktur und -nachfrage bestehen zurzeit noch große Herausforderungen [163]. Sowohl die Produktion als auch die Nutzung von Wasserstoff sind auf eine Transportinfrastruktur angewiesen, die aber erst dann wirtschaftlich sinnvoll aufgebaut werden kann, wenn es genug Angebot und Nachfrage gibt. Auch der Aufbau von Kapazitäten zur Wasserstoffproduktion ist ohne einen verlässlichen Hochlauf der Nachfrage nicht finanzierbar. Umgekehrt werden Unternehmen nicht in die Umstellung von Industrieanlagen oder in Fahrzeuge investieren, wenn die Verfügbarkeit von Wasserstoff nicht zu erwarten ist.

Eine Möglichkeit, das multiple Henne-Ei-Problem beim Wasserstoffhochlauf zu adressieren, wäre es, die Wasserstoffverfügbarkeit durch eine gemeinsame Wasserstoff(derivate)-Beschaffung (idealerweise europäisch oder auch durch eine Koalition der Willigen, siehe Abschnitt 4.2) sicherzustellen und parallel den Infrastrukturausbau voranzutreiben, um die Lieferung an die Anwender möglich zu machen. Die Verfügbarkeit der in den Wasserstoffstrategien prognostizierten Mengen könnte somit sichergestellt werden, allerdings dürfte zumindest in den ersten Jahren die Zahlungsbereitschaft der potenziellen Abnehmer in Deutschland niedriger sein als die bei globalen Ausschreibungen entstehenden Beschaffungskosten. Der Staat müsste somit zunächst die Differenzkosten zwischen Einkaufspreis und der Zahlungsbereitschaft der Abnehmer übernehmen.

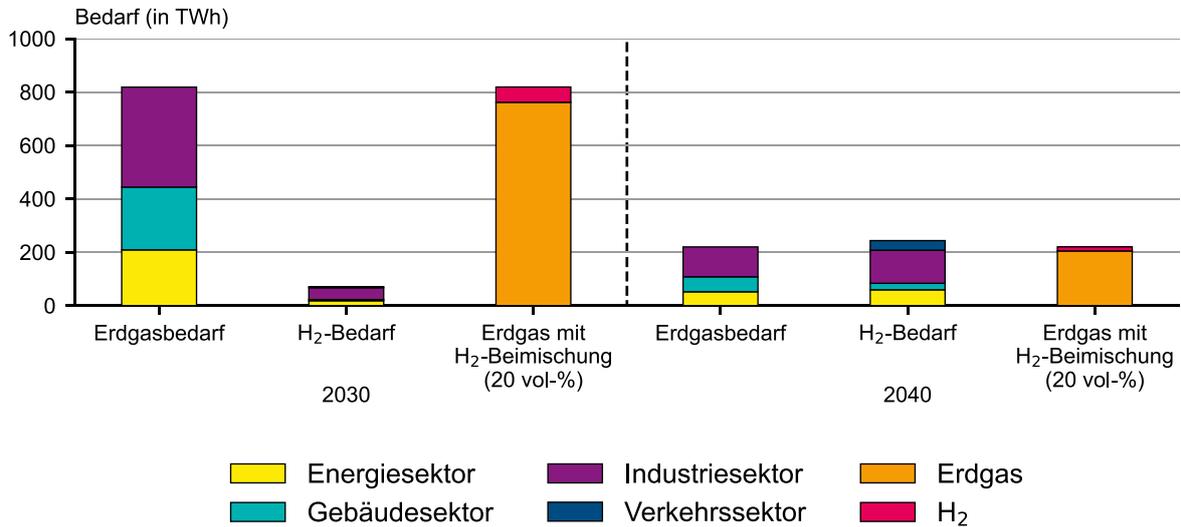
Eine Vergabe des beschafften Wasserstoffs (beziehungsweise der Derivate) an die meistbietenden Anwender mittels Auktionen mit Mindestpreis könnte sicherstellen, dass der Staat als Mittler zwar in gewissem Umfang die Differenzkosten zwischen Einkaufspreis und Zahlungsbereitschaft der Abnehmer übernimmt, aber die Höhe der Förderung nach oben abgesichert ist. Durch die verlässliche Beschaffung der angekündigten Mengen mittels globaler Ausschreibungen wäre zu erwarten, dass ein wesentliches Risiko für die Anwender entfällt, nämlich die Unsicherheit über die Verfügbarkeit von Wasserstoff. Daher wäre zu erwarten, dass potenzielle Anwender in größerem Umfang in die Umstellung von Industrieanlagen investieren.

Grüngasquoten oder Grünstahlquoten in verschiedenen Bereichen der Industrie könnten die Nachfrage zusätzlich ankurbeln und die Zahlungsbereitschaft für Wasserstoff und Wasserstoffderivate auf Seiten der Abnehmer erhöhen. Allerdings muss sorgfältig abgewogen werden, ob derartige Quoten schon während des Hochlaufs (wenn die Wasserstoffkosten noch sehr hoch sein dürften) möglicherweise die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien in einem Umfang schwächen, der zur Verlagerung oder Aufgabe von Aktivitäten führt, die langfristig ein Geschäftsmodell in Europa hätten.

Für den Staat als Garant (nicht unbedingt als Organisator) der Beschaffung der Mengen ergibt sich daraus jedoch das Risiko, die beschaffte Menge nicht ganz abzusetzen. Dieses Risiko kann in den ersten Jahren eliminiert werden, indem nicht verkaufte Mengen dem Gasnetz beigemischt werden und die Kosten (Mindestpreis in den Wasserstoff-Vergabeauktionen multipliziert mit der beigemischten Menge) auf die Gaskunden umgelegt werden. Die Beimischung in das Gasnetz ist zwar nicht die effiziente Verwendung, kann aber das Absatzrisiko vollständig eliminieren, wenn das bestehende Gasnetz als „Senke“ für Wasserstoffmengen genutzt werden kann, für die zunächst kein Abnehmer gefunden wird. Berechnungen zeigen, (i) dass das Gasnetz in der Lage ist, gerade in den ersten Jahren des Hochlaufs der Wasserstoffbeschaffung überschüssige Mengen aufzunehmen (vgl. Abbildung 17 a)), (ii) dass die zusätzlichen Kosten für die Gaskunden tragbar wären, wenn man die durch die Beimischung zusätzlich anfallenden Wasserstoffkosten über eine Umlage auf den Gaspreis finanzieren würde (vgl. Abbildung 17 b)) und (iii) dass die Emissionsreduktion durch den Einsatz von Wasserstoff in der Stromerzeugung nicht davon abhängt, ob Gaskraftwerke vollständig mit Wasserstoff betrieben werden oder zunächst eine Beimischung erfolgt (vgl. auch [166, S. 43]). Letzteres ist zunächst sogar eine günstige Option für die schrittweise Umstellung der Gaskraftwerke auf klimafreundlichere Gase, da die bestehenden Kraftwerke ohne große Anpassungskosten dieses Gasgemisch nutzen

Abbildung 17: Potenziale für die Beimischung von Wasserstoff in das Gasnetz

a) Prognostizierter Erdgas- und Wasserstoffbedarf für 2030 und 2040



b) Umlage der Mehrkosten der Wasserstoff-Beimischung (mit 10 und 20 vol-%) für das Jahr 2030

Annahmen/Ergebnisse	Einheit	Beimischung mit 10 Volumen-%			Beimischung mit 20 Volumen-%		
		4,0	6,0	8,0	4,0	6,0	8,0
Wasserstoffpreis	EUR/kg	4,0	6,0	8,0	4,0	6,0	8,0
	EUR/MWh	120,1	180,2	240,2	120,1	180,2	240,2
Erdgaspreis	EUR/MWh	30,0					
CO ₂ -Zertifikatspreis	EUR/t CO ₂	133,0					
Kosten Erdgas (inkl. CO ₂ -Kosten)	EUR/MWh	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7
Kosten Erdgas-H ₂ -Gemisch	EUR/MWh	58,8	60,7	62,7	61,2	65,4	69,6
Mehrkosten/Umlage	EUR/MWh	2,1	4,0	5,9	4,4	8,6	12,8
Anteil Umlage an Erdgaskosten	%	3,6	7,0	10,5	7,8	15,2	22,6

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf [164], [165] und eigenen Berechnungen.

können. Der Bau von vollständig wasserstofffähigen Gaskraftwerken geht anfangs mit Innovationsrisiken einher, die kosteneffizient adressiert werden können, wenn zunächst einzelne Kraftwerke im Betrieb getestet, dabei schrittweise verbessert und erst dann in größerer Zahl gebaut werden.

Der dem Gasnetz beigemischte Wasserstoff könnte zudem über ein Zertifikatssystem an Nutzer (etwa Betreiber von Gaskraftwerken oder Stahlerzeuger) verkauft werden, so dass diese ihre Grüngasquoten erfüllen könnten. Zugleich würde über die veränderte Lastenverteilung die Umlage für die Gaskunden gesenkt.

4.3.5 Die Rolle von blauem Wasserstoff und Negativemissionen

Die weltweiten Elektrolyseurproduktionskapazitäten sind bisher bei weitem nicht ausreichend, um den prognostizierten Wasserstoffbedarf global zu bedienen (vgl. Abbildung 7 c)). Bei ausschließlicherem Fokus auf grünen Wasserstoff dürften die notwendigen Mengen an Wasserstoff und Derivaten weder rechtzeitig noch kostengünstig zur Verfügung stehen. Daher wird neben grünem Wasserstoff auch vergleichsweise emissionsarmer Wasserstoff aus anderen Herstellungsrouten notwendig sein [23].

Insbesondere blauer Wasserstoff (vgl. [↘ Hintergrund 1](#)) kann einen wichtigen Baustein für die Skalierung der verfügbaren Wasserstoffmenge darstellen. Die Technologie ist bereits weit entwickelt. Die THG-Emissionen von blauem Wasserstoff können sich je nach Produktionstechnologie, den Systemgrenzen der Betrachtung sowie den Emissionen bei Erdgasförderung und -transport jedoch erheblich unterscheiden [31]. Die Erfassung als auch die Bepreisung von THG-Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind daher eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von blauem Wasserstoff. Aufgrund der THG-Emissionen, die beim Transport von Erdgas anfallen (z. B. Erdgasverbrauch der Kompressorstationen; vgl. auch [167]), kann die Produktion von blauem Wasserstoff nahe der Erdgasvorkommen zu einer größeren Reduktion der THG-Emissionen führen [31], [168]. Mögliche Lieferanten von blauem Wasserstoff sind USA, Kanada, Norwegen, Saudi-Arabien, Katar oder Australien [30]. Bei einer Abwägung, ob Lieferketten auf der Basis von klimafreundlichem blauem Wasserstoff schneller skaliert werden sollen, muss auch berücksichtigt werden, ob das Gas andernfalls in anderer Verwendung ganz ohne die Reduktion der anfallenden CO₂-Emissionen verwendet wird.

Sollte blauer Wasserstoff auch in Deutschland produziert werden, wäre dafür die Schaffung einer CO₂-Infrastruktur zur Sequestrierung und je nach Standort der Anlagen auch zum Transport des CO₂ notwendig. Der Bau einer CO₂-Infrastruktur stellt jedoch in einigen Bereichen eine No-Regret-Maßnahme dar, da eine solche Infrastruktur auch zukünftig für nicht zu dekarbonisierende Industrien wie die Produktion von Zement und Kalk oder der Müllverbrennung geplant und entwickelt werden muss [23], [169], [170]. Die Carbon-Management-Strategie der Bundesregierung [171] sowie verschiedene Stellungnahmen haben sich in der jüngeren Vergangenheit dem Thema gewidmet. Carbon Capture and Storage (CCS), Carbon Capture and Utilization (CCU) und Carbon Dioxide Removal (CDR) leisten im Vergleich zur Vermeidung der THG-Entstehung perspektivisch nur einen kleinen Beitrag. Das Risiko, ohne den Einsatz von CCS die Klimaziele zu verfehlen, überwiegt jedoch die Risiken der CCS-Anwendung [170].

4.4 Resilienz und Wachstum stärken, Strukturwandel zulassen

Wachstum und Innovationskraft sind zentrale Voraussetzungen, um die umfangreichen Herausforderungen bei der Transformation von Energieversorgung und Industrie zu meistern. Allerdings liegen Abschätzungen des Wachstums des Produktionspotenzials der deutschen Volkswirtschaft nach den Krisen der vergangenen Jahre aktuell bei durchschnittlich etwa 0,4 % für die Jahre 2024 bis 2029 (vgl. hierzu

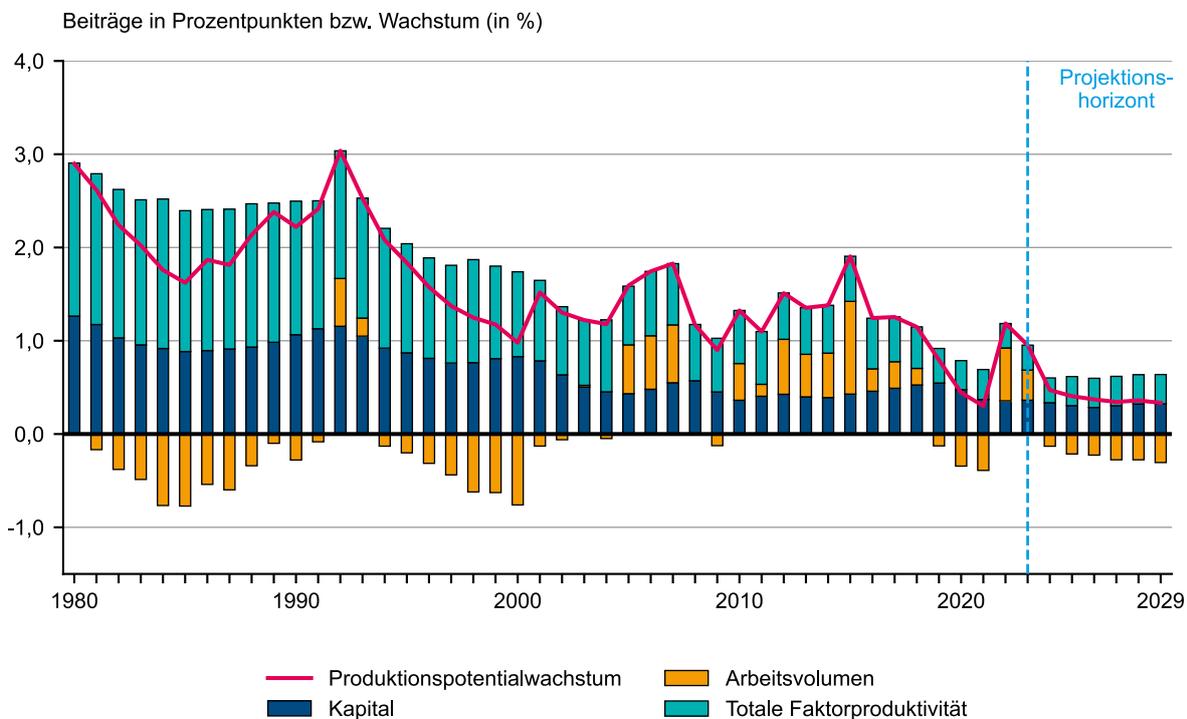
[172], [173] sowie Abbildung 18). Dies entspricht etwa einem Drittel des jahresdurchschnittlichen Potenzialwachstums der 2010er Jahre. Wesentliche Treiber sind das demografiebedingt sinkende Arbeitsvolumen sowie die aktuell niedrigen Investitionen. Eine wachstumsorientierte Transformation ist daher gerade in Deutschland von großer Bedeutung. Es gilt, die Resilienz und Widerstandsfähigkeit der deutschen und der europäischen Volkswirtschaften zu stärken und sich zugleich auf eine wachstumsorientierte Wirtschafts- und Transformationspolitik zu fokussieren.

4.4.1 Das Arbeitsvolumen erhöhen, Humankapital stärken

Das sinkende Arbeitsvolumen (vgl. Abbildung 18) stellt die Wirtschaftsbereiche in unterschiedlichem Ausmaß vor Herausforderungen [174]. Unternehmen werden versuchen, die zukünftig fehlenden Arbeitskräfte durch verstärkten Einsatz von Kapital zu substituieren. Dennoch sollte eine verstärkte Mobilisierung von Arbeitskräften (etwa aktuell in Teilzeit beschäftigte Frauen, Zugewanderte, ältere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer oder Bürgergeldempfängerinnen und -empfänger) dazu beitragen, das Arbeitsvolumen zu erhöhen [175]. Dies allein wird jedoch nicht ausreichen, um auf einen robusten Wachstumspfad zu kommen. Produktivitätssteigernde Investitionen in den Kapitalstock und die Stärkung des Humankapitals sind in großem Umfang notwendig, um das Wachstum wieder anzukurbeln und den Klimaschutz voranzubringen [175]. Die skizzierte kosteneffiziente Transformation der Energieversorgung ist dabei eine Gelingensbedingung für eine Wachstumsstrategie.

Angesichts des sich verschärfenden Fachkräftemangels dürfte weniger ein Überangebot an Arbeitskräften, als vielmehr die Veränderung der notwendigen Qualifikationsprofile eine Herausforderung für die Wirtschaftspolitik darstellen. Hochqualifizierte Fachkräfte sind traditionell ein wichtiger Standortfaktor in Deutschland, ebenso wie die Forschungs-Ökosysteme, in die Unternehmen oft eng eingebunden sind. Im Zuge der Transformation werden sich die notwendigen Qualifikationsprofile ändern. Für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer kann die Weiterbildung, Umschulung oder auch ein Wechsel des Arbeitgebers notwendig werden. Um diese Herausforderungen der Transformation zu meistern, dürfte es zielführend sein, den Strukturwandel systematisch mit Weiterbildungs- und Umschulungsangeboten zu flankieren. Es gilt, zu identifizieren, wo die betriebliche Weiterbildung nicht ausreicht, um die Anforderungen des Strukturwandels zu meistern.

Investitionen in das Bildungssystem, von der frühkindlichen Bildung bis zur Universität, bilden eine wichtige Grundlage des Wirtschaftswachstums. Die öffentlichen Ausgaben für Bildung sollten deutlich ansteigen [97] und ein größerer Fokus sollte auf die ersten Bildungsjahre gelegt werden, von der frühkindlichen Bildung bis zur Grundschule [176], [177], [178]. Eine Gesellschaft, die durch Zuwanderung vielfältiger wird, muss frühzeitig Strategien entwickeln, um Zugewanderten und ihren Kindern gleiche Chancen zu bieten. Nur so wird Deutschland zu einem attraktiven Zuwanderungsland, dem es gelingt, die Potenziale der Bevölkerung zu heben [179]. Zugleich kann durch qualitativ hochwertige Betreuungs- und Bildungsangebote das Erwerbstundenpotenzial bei den Eltern erhöht werden.

Abbildung 18: Wachstum des Produktionspotenzials in Deutschland

Anmerkungen: Werte für die Jahre 2024 und 2025 basieren auf der Kurzfristprognose des SVR. Ab dem Jahr 2026 Projektion. Die totale Faktorproduktivität (TFP) gibt an, welcher Teil des Produktionswachstums nicht durch die Zunahme der eingesetzten Arbeitskräfte oder des Kapitals erklärt werden kann, sondern auf Verbesserungen wie technologischen Fortschritt, Innovationen oder effizientere Produktionsprozesse zurückzuführen ist.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [173].

4.4.2 Investitionen dorthin lenken wo die Produktivität hoch ist

Um das Wachstum anzukurbeln, sind Investitionen in Bereichen wichtig, von denen ein besonders starker Effekt für das Produktionspotenzial ausgehen dürfte. Schon im Jahr 2019 wurde der bevorstehende Strukturwandel und die dadurch zu erwartende Verlangsamung des Wachstums in Deutschland thematisiert [180]. Durch die Veränderungen von Handelsbeziehungen aufgrund der geopolitischen Entwicklungen, die Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung und der Künstlichen Intelligenz sowie die Nebenbedingungen, die zum Beispiel aus den Klimazielen und der Umstellung der Energieversorgung resultieren, ist zu erwarten, dass der Strukturwandel sich erheblich beschleunigt. Die Krisen der vergangenen Jahre haben etwa zu höheren Energiepreisen geführt und den Druck erhöht, die Transformation der Energiesysteme sowie die digitale Transformation schneller voranzutreiben. Zugleich werden immer mehr Schwellenländer zu Produktionsstandorten für Güter, bei denen traditionell die deutsche Industrie eine starke Stellung eingenommen hat. Aufgrund der verzögerten Anpassung an diese neuen Rahmenbedingungen – sei es durch Trägheit oder auch aufgrund von Beharrungskräften und Subventionen – lässt sich aktuell eine ineffiziente Allokation von Produktionsfaktoren identifizieren, die das Produktionspotenzial unnötig dämpft [175].

Um private Investitionen zu attrahieren und die Produktionsfaktoren in die produktiveren Wirtschaftsbereiche zu lenken, ist es wichtig, die Attraktivität des Standorts zu erhöhen. Es gibt nicht die eine Maßnahme, vielmehr ist es notwendig, verschiedene Aspekte im Rahmen einer Wachstumsagenda zu adressieren, die nicht alle in diesem Gutachten vertieft werden können. Einige Handlungsfelder seien hier dennoch mit Verweisen auf ausführlichere Quellen aufgeführt: (i) Die geringe Verfügbarkeit hochqualifizierter Arbeitskräfte erfordert einen Fokus auf die Aus- und Weiterbildung, das Bemühen um qualifizierte Zuwanderung sowie die Reallokation von Arbeitskräften von den weniger produktiven zu den produktiveren Wirtschaftsbereichen [175], [179]. (ii) Die Steuer- und Abgabenlast von Unternehmen sollte adressiert werden, einerseits durch Anpassungen der Unternehmensbesteuerung und verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten, zum anderen durch eine Senkung der Lohnnebenkosten [181], [182]. (iii) Dringend notwendig ist der Abbau der regulatorischen Unsicherheit und von Bürokratie. (iv) Eine Lockerung der Schuldenbremse kann, wenn ein Anstieg der Schuldenquote vermieden werden soll, den Spielraum lediglich um etwa zehn Mrd. Euro jährlich erhöhen [102], was angesichts der Herausforderungen keinen substantziellen Lösungsbeitrag darstellt. In den öffentlichen Haushalten sollten zukunftsorientierte Ausgaben daher priorisiert und im Gegenzug der Anstieg der Sozialausgaben begrenzt werden ([97], zu Reformen der Rentenversicherung [94]). (v) Der Infrastrukturausbau in den Bereichen Energie, Digitalisierung und Mobilität sollte beschleunigt werden, um die Attraktivität des Standorts zu stärken [23], [152, S. 125 ff.]. (vi) Eine Erhöhung des Verteidigungsbudgets und seine feste Verankerung in der Haushaltsplanung sollten einhergehen mit Strategien zur effektiven Verwendung der Gelder und einer Innovationsagenda, die auf Investitionen im Bereich von Rüstungsgütern aufsetzt [96].

Um die Finanzierung von Investitionen zu ermöglichen, werden die Kapitalmärkte eine entscheidende Rolle spielen. Die europäischen Kapitalmärkte sind jedoch national fragmentiert, was die Finanzierungsmöglichkeiten von Unternehmen einschränkt. Insbesondere gibt es große nationale Unterschiede bei der Unternehmensberichterstattung und beim Insolvenzrecht, sowie steuerliche Hemmnisse für grenzüberschreitende Anlagen. Ein Schlüssel ist in diesem Zusammenhang eine Vertiefung der Kapitalmarktunion. Dies könnte dazu beitragen, Risiken zu diversifizieren und die Finanzierung von Investitionen im Zuge der Transformation zu erleichtern [183]. Denn die in Deutschland und auch anderen europäischen Staaten verbreitete Finanzierung über Kredite ist für viele Projekte im Zuge der Transformation aufgrund ihrer Risikostruktur ungeeignet [183].

4.4.3 Resilienz: Strategische Industriepolitik, fokussiert und europäisch

Die aktuellen geopolitischen Veränderungen machen es zudem erforderlich, die Resilienz der europäischen Volkswirtschaften zu stärken, sie für den Fall des Einsatzes ökonomischer Abhängigkeiten als Waffe zu wappnen (vgl. Abschnitt 4.2.3) und deren Versorgungssicherheit in einem möglichen Krisenfall zu erhöhen.

Die Gefahr ist groß, dass einzelne Mitgliedstaaten der EU nationale Interessenpolitik unter dem Deckmantel strategischer Motive betreiben. Dies ist dann besonders problematisch, wenn durch Subventionen Industrien vor Ort gehalten werden sollen, für die sich die Standortfaktoren zugunsten anderer Länder verschoben haben. Derartige

Subventionen würden den Strukturwandel aufhalten und öffentliche Mittel den wichtigen zukunftsorientierten Vorhaben entziehen. Eine große Herausforderung besteht darin, dass die Identifikation von Bereichen, in denen staatliche Eingriffe gerechtfertigt werden können und sollten, nicht einfach möglich ist.

Mit Blick auf die Versorgungssicherheit und die Resilienz der Volkswirtschaft gegenüber „ökonomischer Kriegsführung“ ist es zielführend, auf drei Kriterien zu fokussieren (vgl. die Ausführungen in [184]): (i) Die fehlende Substituierbarkeit von Gütern in der kurzen Frist, (ii) die unmittelbare Konsumrelevanz sowie (iii) externe Effekte und Ineffizienzen die bewirken, dass ein Lieferausfall einen Schaden erzeugt, der gesellschaftlich betrachtet die individuellen Einbußen übersteigt. Nur wenn alle drei Kriterien erfüllt sind, sollte der Staat Maßnahmen ergreifen, um die potenzielle Versorgungssicherheit in Krisen zu erhöhen. Dabei muss nicht die Versorgung mit eigener Produktion angestrebt werden, sondern es kann durch eine ausreichende Diversifizierung des Bezugs eine Versorgungssicherheit hergestellt werden. Dies kann zum Beispiel durch einen Konzentrationszoll erreicht werden [184] oder auch durch vorausschauende Gestaltung der (etwa im Energiehandel) auszubauenden Lieferketten (vgl. Abschnitt 4.2.2 und 4.3.4). Dabei ist immer zu beachten: Die Absicherung gegen den Krisenfall im Voraus geht mit (teilweise hohen) Kosten einher und sollte nur dort geschehen, wo ansonsten großer Schaden entstehen könnte.

Die Frage, welche „heimischen“ Produktionskapazitäten von strategischer Bedeutung sind, sollte aus ebendiesen Gründen nicht national, sondern europäisch beantwortet werden. Eine Verschiebung von Produktionsstandorten innerhalb Europas kann die Kosteneffizienz der Produktion erhöhen und sollte nicht durch nationale Interessen verhindert werden. Im Gegenteil: Europa stärkt seine Wettbewerbsfähigkeit und seine Resilienz, wenn die Vorteile der Arbeitsteilung innerhalb Europas ausgenutzt werden.

Zugleich sollte ein Augenmerk darauf gelegt werden, gegenüber Handelspartnern in eine Position der Stärke zu kommen. In diesem Zusammenhang wird etwa vorgeschlagen, exportstarke Hochtechnologiebranchen zu fördern, die schwer ersetzbare Nischenprodukte produzieren [184]. Dies kann den europäischen Volkswirtschaften perspektivisch einen Hebel verleihen, die Gefährdung der europäischen Versorgungssicherheit zu beantworten. Darüber hinaus sollte ein Fokus darauf liegen, wichtige Knotenpunkte der globalen Ökonomie (mit) zu kontrollieren, wie etwa Handelsplätze oder auch internationale Zahlungssysteme [139], [140], [141].

Im Kontext dieser Diskussion versucht Europa nicht zuletzt eine Antwort darauf zu finden, dass Regierungen weltweit ihre Industriepolitik neu ausrichten, mit unterschiedlichem Potenzial und Willen zu staatlichen Subventionen. Hier muss jedoch beachtet werden, dass – anders als die USA – Europa in wichtigen Bereichen keine Autarkie erreichen kann (vgl. Abbildung 2 f) und Abbildung 9). Daraus folgt auch, dass Ansätze aus den USA (wie zum Beispiel die Förderung im Rahmen des IRA) nicht einfach kopiert werden sollten [118]. Wenn es zum Beispiel um die Energieversorgung geht, so muss Europa den Import von Wasserstoff aus Partnerregionen in aller Welt herbeiführen, während die USA die nationale Produktion transformieren könnten (vgl. Abbildung 2 f)). Da Deutschland in besonders großem Umfang auf Importe von klimafreundlichen Energieträgern angewiesen ist, sollte die Bundesregierung – wie in

der Importstrategie [85] dargelegt – die internationale Kooperation und die Diversifizierung der Energieimporte mit einem besonderen Ambitionsniveau vorantreiben.

4.4.4 Nicht gegen ungünstige Rahmenbedingungen anfordern

Jenseits der Maßnahmen, die einerseits eine Nutzung ökonomischer Abhängigkeiten als Waffe verhindern und andererseits die Technologieführerschaft in Hochtechnologiebereichen mit Alleinstellungsmerkmalen ausbauen, sollte der Strukturwandel in Richtung einer effizienteren internationalen Arbeitsteilung nicht durch staatliche Interventionen konterkariert werden. Wo die internationale Arbeitsteilung für die EU Vorteile bringt – wie es etwa bei der Produktion von günstigen PV-Modulen in China der Fall ist – sollte die Verlagerung der Produktion nicht aktiv und kostspielig verhindert werden. Unternehmen, die Unsicherheiten einer Versorgung mit Modulen befürchten, streben heute schon eigenständig eine gewisse Diversifizierung der Bezugsländer an [185], [186], [187].

Allerdings ist es sehr wohl ratsam, die Rahmenbedingungen so zu verändern, dass Standortvorteile der EU zum Vorschein und zum letztendlich auch zum Tragen kommen. In diesem Zusammenhang ist es durchaus besorgniserregend, dass die Produktionskapazitäten in wichtigen CleanTech-Bereichen in Asien deutlich dynamischer ansteigen als in Europa (vgl. Abbildung 7 c)), obwohl Deutschland und Europa führend bei CleanTech-Patenten in vielen Wachstumsbereichen sind (vgl. Abbildung 8). Sowohl für den Aufbau der klimaneutralen Energieversorgung als auch mit Blick auf die Exportmärkte, etwa für Fahrzeuge, Brennstoffzellen und Elektrolyseure, sollte dringend ein regulatorisches Umfeld und infrastrukturelle Voraussetzungen geschaffen werden, die es den europäischen Akteuren erlauben, ihre Position im internationalen Wettbewerb zu festigen [152, S. 125 ff.].

So kann etwa bei verschiedenen Technologien (klimafreundliche Fahrzeuge, Brennstoffzellen, Windräder, ...) in großem Umfang Wachstumspotenzial und Technologiekompetenz verlorengehen, wenn aufgrund einer unnötig komplexen und kleinteiligen Regulierung, wegen fehlender Infrastrukturen oder wegen der durch das Marktdesign unnötig hohen Strompreise keine Heimatmärkte entstehen [152, S. 125 ff.]. Deutschland und die EU sollten daher – anstatt vorschnell Subventionen zu verteilen – ein möglichst attraktives Wettbewerbsumfeld schaffen, wie es weiter oben skizziert wurde. Subventionen bestehender Industrien binden dort die (knappen) Arbeitskräfte in ineffizienter Verwendung, sie binden Ressourcen in den Unternehmen für Rent Seeking, also die Suche nach Abschöpfungspotenzialen von Subventionen, und führen oftmals zu einer abwartenden Haltung in Erwartung weiterer Beihilfen.

4.4.5 Klare Rahmenbedingungen anstatt Flickenteppich: Das Beispiel der CO₂-Bepreisung

Unternehmen treffen auf der Grundlage der zu erwartenden Rahmenbedingungen im internationalen Vergleich ihre Entscheidungen über die Ausweitung bzw. Reduktion von Produktionskapazitäten und damit zusammenhängend auch Standortentscheidungen. Bei den Entscheidungen spielen zahlreiche Aspekte eine Rolle, die die

Politik beeinflussen kann: Regulierung, Rechtssicherheit, Bürokratielasten, Steuern, Verfügbarkeit und Preise von Energie, Rahmenbedingungen an den Kapitalmärkten sowie Berichtspflichten und Belastungen durch die Klimapolitik.

Der über die Jahre entstandene Flickenteppich an Regeln dürfte die Investitionen oft in die falsche Richtung lenken und zudem die Investitionsanreize reduzieren. Dies lässt sich am Beispiel der effektiven CO₂-Bepreisung illustrieren. Hier ist es in der EU gelungen, zunächst für den Energiesektor und für Teile der Industrie einen europäischen Emissionshandel zu etablieren (EU ETS I) und dann 2023 ein ähnliches System auch für die Bereiche Wärme und Verkehr (EU ETS II) zu verabschieden. Beide Systeme sollen sukzessive in einen sektorenübergreifenden Emissionshandel überführt werden. Dieses Vorgehen stellt (bei einem Festhalten an den geeigneten Emissionsreduktionspfaden) die kosteneffiziente Erreichung der Klimaziele sicher und erlaubt den Unternehmen die Antizipation der Preisentwicklung. In Deutschland werden bereits seit dem Jahr 2021 Emissionen in den Sektoren Wärme und Verkehr im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) bepreist, die vom EU ETS I nicht erfasst sind. Die Emissionszertifikate werden in den Jahren 2021 bis 2025 zu einem über die Jahre ansteigenden Festpreis vergeben, ab dem Jahr 2026 ist die Überführung in einen Emissionshandel geplant.

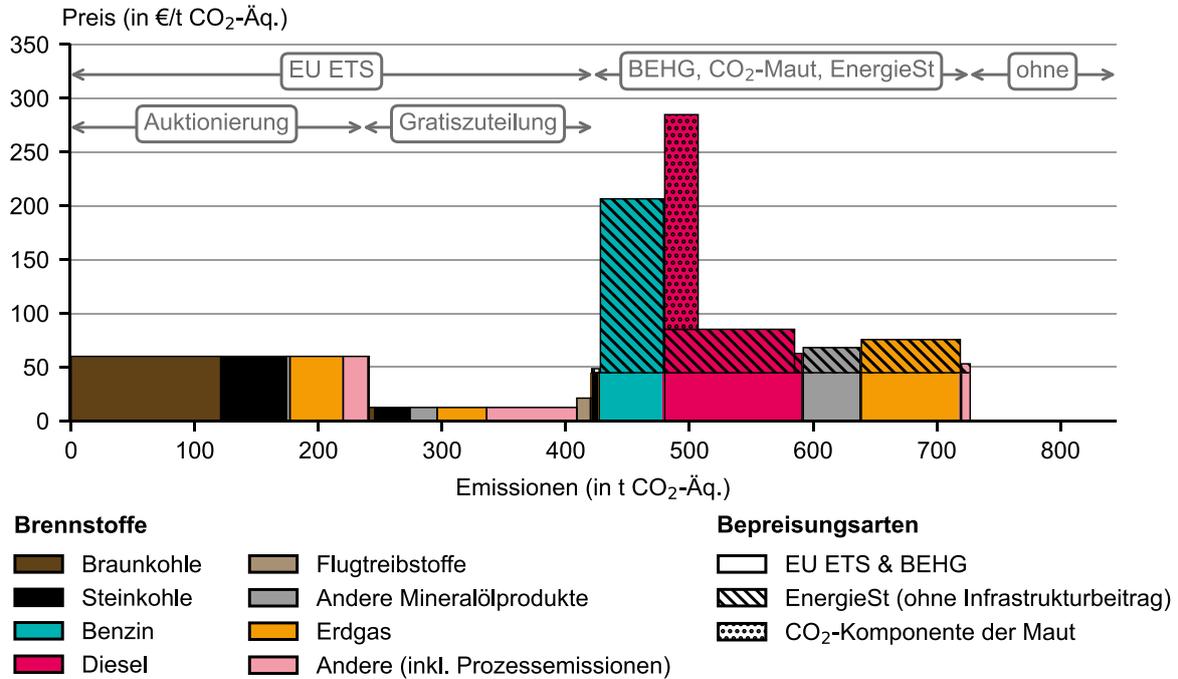
Trotz der Einführung des Emissionshandels über (fast) alle Sektoren hinweg unterscheidet sich jedoch die effektive Bepreisung einer Tonne CO₂ aufgrund zahlreicher Ausnahmen einerseits und zusätzlicher Regulierungen andererseits aktuell erheblich: sie liegt zwischen zehn und 240 Euro/t CO₂, obwohl durch den Emissionshandel eigentlich ähnliche Preise in weiten Teilen gelten sollten (vgl. Abbildung 19 und [23]). Abbildung 19 b) vermittelt einen Eindruck, wie die unterschiedlichen impliziten CO₂-Preise, insbesondere für Heizöl, Kohle, aber auch grauen Wasserstoff (für den Einsatz in Verbrennungsmotoren), zustande kommen. Die unterschiedlichen impliziten CO₂-Preise sind einerseits problematisch, weil sie dazu führen, dass nicht dort zuerst Emissionen reduziert werden, wo die Vermeidungskosten besonders günstig sind. Andererseits erhöht der Flickenteppich an Regulierung die Komplexität bei der Bewertung von Geschäftsmodellen. Dies kann zum Beispiel die Finanzierung von Projekten erschweren.

Nicht dargestellt ist in der Übersicht in Abbildung 19 b) (wohl aber in Abbildung 19 a)) die Besteuerung von Strom, für den die implizite CO₂-Bepreisung stark von der unterstellten Emissionslast der Stromerzeugung abhängt, aber aktuell in jedem Fall deutlich über der der betrachteten Heizstoffe liegt. Mit der Einpreisung der CO₂-Kosten des EU ETS im Großhandelsmarkt und der zusätzlichen Besteuerung von Strom auf der Endverbrauchsseite durch die Stromsteuer entsteht hier eine erhebliche Doppel- bzw. Überbelastung von Strom. Dadurch wird aufgrund der fehlenden Integration der Bepreisungssysteme die Elektrifizierung unnötigerweise unattraktiv gemacht, solange noch fossile Energie zur Stromproduktion eingesetzt wird – was die Transformation abbremsen dürfte.

Neben den hier dargestellten unterschiedlichen effektiven CO₂-Preisen gibt es weitere Mechanismen, die zusätzlich die möglichen Geschäftsmodelle einschränken – wie insbesondere die EU-Taxonomie ↘ **Hintergrund 5**, aber auch etwa detaillierte Vorgaben im Rahmen der Renewable Energy Directive III (RED III). Diese vielfältigen Vorgaben

Abbildung 19: THG-Bepreisung in Deutschland

a) Profil der expliziten und impliziten THG-Bepreisung in Deutschland



Anmerkungen: Erfassung der CO₂-Bepreisungssysteme zum Stand von Mitte 2024, EU ETS-Preis 60 Euro pro Emissionszertifikat, 79 % Gratiszuteilung, bei Energiesteuern nur die nicht der Infrastrukturfinanzierung zuzurechnenden Aufkommensanteile, Emissionsstrukturen 2021, bereinigt um untypische Sektoreffekte (Flugverkehr etc.).

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [23].

b) Energiesteuern und implizite CO₂-Bepreisung

		Nominaler Steuersatz (€/ME)	Impliziter Steuersatz (€/t CO ₂)	Ohne Infrastrukturbeitrag (€/t CO ₂)
Erdgas (Wärme)	EUR/MWh (H ₀)	5,50	30,23	
Heizöl Extra Leicht	EUR/1.000 l	61,35	23,03	
Heizöl Schwer (Wärme)	EUR/t	25,00	7,94	
Heizöl Schwer (Strom)	EUR/t	25,00	7,94	
Benzin unverbleit	EUR/1.000 l	654,50	286,76	161,01
Diesel	EUR/1.000 l	470,40	179,06	39,81
Kohle (Wärme)	EUR/GJ	0,33	3,47	
Wasserstoff (Verbrenner) ¹	EUR/kg	0,55	15,91	
Wasserstoff (Brennstoffzelle)	EUR/kg	0,00	0,00	

Anmerkung: 1 - Wenn Wasserstoff als Heizstoff eingesetzt wird, unterliegt er nicht der Energiebesteuerung. Der Einsatz als Kraftstoff unterliegt der Energiebesteuerung, es sei denn der Wasserstoff wird in Brennstoffzellen eingesetzt. Für die Berechnung der impliziten CO₂-Steuer für grauen Wasserstoff wurde eine Umwandlungseffizienz des Steam-Reformers von 70 % (ohne CCS) angesetzt. Weitere Vorkettenemissionen wurden nicht berücksichtigt. ME = Mengeneinheit.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf [23].

erschweren die Transformation oft, ohne einen zusätzlichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Die Politik sollte insbesondere technologiespezifische Instrumente wie die EU-Taxonomie hinterfragen, ebenso wie kleinteilige Regulierung, die ohne wesentlichen Mehrwert die relativen Preise von Emissionen verzerrt und dabei oft noch mit Kosten für den Staat einhergeht. Zugleich sollten Standards und Zertifizierungsverfahren weiterentwickelt werden, um die CO₂-Intensität von Produktion und Prozessen zu erfassen und konsequent auf Basis des CO₂-Fußabdrucks und eines sektorübergreifenden Emissionshandels THG-Emissionen bepreisen zu können. Eine CO₂-preisbasierte Energiepreisreform ist ein zentraler Bestandteil eines effektiven und effizienten Rahmens zur Erreichung der langfristigen Energiewende- und Klimaschutzziele [23].

Hintergrund 5: Die EU-Taxonomie

Die EU-Taxonomie [188], [189], [190], [191], [192] ist ein detailliertes Klassifikationssystem, das festlegt, welche wirtschaftlichen Aktivitäten als ökologisch nachhaltig gelten. Ziel ist es, Kapital in nachhaltige Projekte zu lenken und so den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft zu unterstützen. Allerdings gibt es bei der Einordnung von Technologien erhebliche Herausforderungen. Es ist oft umstritten, welche Technologien als nachhaltig gelten sollen – besonders in sensiblen Bereichen wie der Atomkraft, Erdgas [193], [194] oder auch bei der Produktion von Rüstungsgütern im Zusammenhang mit der sogenannten „sozialen“ Taxonomie [195], [196]. Diese Uneinigkeit führt zu Spannungen zwischen den Mitgliedstaaten der EU, die teils unterschiedliche wirtschaftliche Interessen und Umweltprioritäten verfolgen. Die Handreichungen zur Taxonomie sind äußerst umfangreich und umfassen derzeit über 500 Seiten technischer Kriterien und Vorgaben. Dies macht die Anwendung komplex und setzt Fachwissen voraus, um die Regelungen korrekt zu interpretieren. Darüber hinaus müssen diese Listen und Kriterien regelmäßig überarbeitet werden, um technologische Fortschritte sowie neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu integrieren. Dies stellt eine fortlaufende Herausforderung dar, da die Taxonomie ständig aktualisiert werden muss, und es dadurch zu einer Verunsicherung bei Investoren und Unternehmen kommen kann. Ein weiteres Problem besteht darin, dass es bisher keine internationale Harmonisierung der Taxonomiesysteme gibt. Andere Länder, wie Japan, Brasilien oder China, haben ihre eigenen Systeme zur Klassifikation nachhaltiger Investitionen, die teils stark von den europäischen Vorgaben abweichen. Dies erschwert die Vergleichbarkeit und Abstimmung auf globaler Ebene, was für international tätige Unternehmen zusätzlichen Aufwand bedeutet [197].

4.5 Härten abfedern, den Menschen Chancen eröffnen

Viele Menschen machen sich zurecht Sorgen über finanzielle Härten, die die Transformation für sie mit sich bringt. Die CO₂-Bepreisung erhöht die Lebenshaltungskosten. Untere Einkommensgruppen haben oft weniger Möglichkeiten, den CO₂-Kosten durch vorausschauende Investitionen auszuweichen, entweder weil sie etwa zur Miete leben oder weil sie sich einen Umstieg auf klimafreundliche Technologien (wie ein batterieelektrisches Auto oder eine Wärmepumpe) nicht leisten können [198],

[199]. Andere fürchten Arbeitslosigkeit im Zuge der Transformation, etwa weil ihr Arbeitsplatz wegfällt oder sie glauben, den Anforderungen einer neuen Beschäftigung nicht gerecht werden zu können. Die Politik sollte diese Sorgen ernst nehmen und diese sowohl in der Sache als auch kommunikativ adressieren.

4.5.1 Klimageld

Ein stärkerer Fokus auf die Bepreisung von CO₂ macht es notwendig, die Kostenbelastung auszugleichen, die bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern ankommen wird. Daher wurde im Koalitionsvertrag aus dem Jahr 2021 eine direkte Auszahlung der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung an die Bürgerinnen und Bürger in Form einer Pro-Kopf-Pauschale angekündigt, bisher aber nicht umgesetzt.

Die Umsetzung wäre ein wichtiger Schritt (vgl. auch [23]). Insbesondere haben Personen mit niedrigem Einkommen einen deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck als Personen in den höheren Einkommensgruppen. Für die unteren Einkommensgruppen würde das Klimageld daher im Durchschnitt sogar höher ausfallen als ihre Kostenbelastung durch die CO₂-Bepreisung [121], [198], [200], [201]. Die Maßnahme würde daher – wenn sie gut kommuniziert wird – sehr glaubwürdig zur sozialen Abfederung der Transformation beitragen. Außerdem zahlt sich klimafreundliches Verhalten aus, denn wer seine Emissionen reduziert, wird in geringerem Maße durch die CO₂-Bepreisung belastet, erhält aber denselben Betrag als Klimageld ausgezahlt wie alle anderen Mitbürgerinnen und Mitbürger.

Insgesamt dürfte die Akzeptanz von Klimaschutz hoch bleiben, wenn die CO₂-Bepreisung Lenkungswirkung entfaltet, aber die Einnahmen an die Menschen zurückfließen: Bei vollständiger Auszahlung der aufgelaufenen Einnahmen aus dem nationalen Emissionshandel im Sommer 2025 erhielte ein vierköpfiger Haushalt auf einen Schlag über 1.000 Euro Klimageld [202].

Noch hakt es jedoch an mindestens zwei Stellen. Erstens fließen zwar schon seit mehreren Jahren die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung in den Klima- und Transformationsfonds (KTF). Doch verplant wurde das Geld aus dem KTF bisher nicht für das Klimageld, sondern für viele andere Anliegen – von der Heizungsförderung bis zu Subventionen für den Bau von Chipfabriken. Zweitens schreitet auch die Einrichtung des Auszahlungswegs für das Klimageld nur schleppend voran. Um das pauschale Klimageld zielgenau in Deutschland auszahlen zu können, sollen in Deutschland die Steuer-ID (zur eindeutigen Identifikation) und die Kontoverbindung bei einem unabhängigen Datentreuhänder verknüpft werden. Allerdings ist die konkrete Ausgestaltung der Direktzahlungen noch immer nicht gesetzlich geregelt und die Übermittlung der Kontonummern gerade erst angelaufen [203].

Diese Verzögerungen bei der Einführung eines Klimagelds und die fehlende Konsequenz bei der Ausgestaltung marktorientierter Ansätze gefährdet zunehmend den Erfolg beim Klimaschutz.

4.5.2 Investitionen

Die Einführung eines Klimageldes sollte von Maßnahmen flankiert werden, die sicherstellen, dass auch untere Einkommensgruppen der Kostenbelastung durch die CO₂-Bepreisung mittelfristig ausweichen können. Denn anfangs ist zwar der CO₂-Fußabdruck unterer Einkommensgruppen im Vergleich niedrig, weshalb sie von der Kombination aus CO₂-Bepreisung und Klimageld netto profitieren. Mittelfristig werden aber Investitionen höherer Einkommensgruppen in klimafreundliche Mobilität und Heizungsanlagen dazu führen, dass dieser Zusammenhang nicht mehr gilt. Um zu verhindern, dass untere Einkommen als Mieter und Besitzer fossiler Fahrzeuge letztendlich einen überproportionalen Anteil an den Kosten tragen, sollte der Staat wo möglich den öffentlichen Nahverkehr ausbauen und Maßnahmen ergreifen, die zur Umstellung der Heizungsanlagen auch in Mietswohnungen führen [198], [199].

4.5.3 Kommunikation

Notwendige Maßnahmen zum Klimaschutz werden in der kommenden Phase der Transformation mit Härten für die Industrie und die Haushalte verbunden sein, die zum Erreichen der Klimaziele aber unvermeidbar sind. Es ist in diesem Zusammenhang zentral, ein konsistentes Gesamtkonzept für die Transformation zu entwickeln, dass die Belastungen für die Akteure ausgewogen verteilt und dieses offen zu kommunizieren. Insbesondere vulnerable Bevölkerungsgruppen sollten besonders geschützt und unterstützt werden. Es ist entscheidend, dass Regelungen mit ausreichend Vorlaufzeit beschlossen und kommuniziert werden, damit Unternehmen und Haushalte angemessen auf die anstehenden Änderungen reagieren und ihre Strategien und Investitionen entsprechend anpassen können. Diese Planbarkeit ist ein wichtiger Aspekt, um eine breite Akzeptanz und Unterstützung bei den betroffenen Akteuren zu gewährleisten und auch vorausschauende Investitionen zur Vermeidung von Kosten auszulösen. Im Gegensatz dazu können kurzfristig angekündigte oder umgesetzte bzw. signifikant umgestaltete oder unerwartet beendete Maßnahmen den Rückhalt in der Gesellschaft schwächen [23].

The background features a dark blue gradient. Overlaid on this are several teal-colored diagonal bars that create a sense of depth and movement. A prominent white line graph with sharp peaks and valleys is superimposed over the teal bars, extending from the bottom left towards the top right. The overall aesthetic is modern and data-oriented.

5

HANDLUNGS- EMPFEHLUNGEN

Die vorliegende Studie hat die internationalen Rahmenbedingungen dargestellt, unter denen Deutschland und Europa sowohl Wachstum als auch Klimaschutz voranbringen müssen (Kapitel 2). Anhand konkreter Beispiele wurde aufgezeigt, dass Klimaschutz ohne Wachstum nicht realisierbar ist (Kapitel 3) und es wurden zentrale Eckpunkte für die Integration von Wachstums- und einer Klimaschutzstrategien dargelegt (Kapitel 4).

Abbildung 20: Zentrale Handlungsempfehlungen der Studie

Verlässlicher und effektiver Rahmen für die Energie- und Klimapolitik	Abschnitt
Den Emissionshandel stärken	4.1.1, 4.4.5
Zertifizierung und Standardisierung stärker priorisieren	4.1.3
Zusammenspiel unterschiedlicher Transformationspfade in der EU zulassen	4.1.2
Den europäischen Strommarkt stärken	4.3.2
Regional differenzierte Strompreise einführen	4.3.2, 4.3.3
Die Ausweitung des CBAM vorbereiten	3.1.2, 4.1.1, 4.2.1
Den Infrastrukturausbau forcieren	4.3.1
Soziale Abfederung transparent implementieren	4.5
Staatliche Förderung und spezifische Eingriffe	Abschnitt
Kostengünstige klimaneutrale Stromerzeugung sicherstellen	4.3.3
Ausreichend klimaneutrale stoffliche Energieträger beschaffen	3.1.1, 4.2.2, 4.3.5
Abnahme überschüssiger Wasserstoffmengen garantieren	4.3.4
Bei strategischen Industrien europäisch denken	4.4.3, 4.4.4
Versorgungssicherheit und Resilienz gewährleisten	4.4.3
Abbau von Regulierung und Bürokratie	Abschnitt
Unnötige und widersprüchliche Regulierung abbauen	4.4.4, 4.4.5
Klimaschädliche Subventionen abbauen	4.4.5
Berichtspflichten vereinheitlichen und aufeinander abstimmen	4.4.5
Die Umsetzung von Regeln harmonisieren	4.1.3, 4.4.5
Internationale Klimakooperation	Abschnitt
Globale Klimakooperation institutionell verankern	4.2.1
Den globalen Handel klimaneutraler Energieträger aufbauen	3.1.1, 4.2.2
Handelsbeziehungen neu ausrichten	4.2.2, 4.2.3
Politikfelder verschränken	4.2
Forward Guidance in der globalen Energiepolitik nutzen	3.1, 4.2.1, 4.3.3

Das Wachstumspotenzial stärken	Abschnitt
Das Arbeitsvolumen erhöhen	4.4.1, 4.4.2
Das Bildungssystem stärken	4.4.1
Investitionen in Wachstumssektoren lenken	4.4.2, 4.4.3
Die Kapitalmarkt- und Bankenunion stärken	4.4.2
Soziale Sicherungssysteme an das Wachstumspotenzial anpassen	4.4.2
Nicht nur beim Klimaschutz nachhaltig handeln	3.2.4, 4.4.2

Dieses Kapitel fasst nun die wesentlichen Handlungsempfehlungen zusammen. Zunächst skizziert Abschnitt 5.1 einige wichtige Rahmenbedingungen für eine effektive Energie- und Klimapolitik, die den Akteuren ein berechenbares Umfeld schaffen. In Abschnitt 5.2 werden spezifische Handlungsfelder benannt, in denen gezielte staatliche Eingriffe notwendig sind, um Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit miteinander zu verbinden. Es ist wichtig, die Vorschläge in dieser Reihenfolge zu verstehen, da die Transformationsaufgaben ohne eine Stärkung der privaten Investitionsanreize durch ein verlässliches Umfeld die staatlichen Möglichkeiten übersteigen würden. Dieses verlässliche Umfeld kann jedoch nur erreicht werden, wenn die Vielzahl an sich überlagernden Regelungen reduziert wird, wozu entsprechende Vorschläge in Abschnitt 5.3 unterbreitet werden. Abschnitt 5.4 widmet sich der internationalen Klimakooperation, die eine zentrale Voraussetzung für die Verknüpfung von Klimaschutz und Wachstum darstellt. Abschließend listet Abschnitt 5.5 die wesentlichen Elemente einer Wachstumsagenda auf, in den eine effektive Energie- und Klimapolitik eingebettet sein muss. Die Handlungsempfehlungen sind in Abbildung 20 zusammengefasst, jeweils mit Verweisen auf die Abschnitte der Studie, in denen sie detaillierter behandelt und erklärt werden.

5.1 Verlässlicher und effektiver Rahmen für die Energie- und Klimapolitik

Ziel der regulatorischen Rahmenbedingungen sollte es sein, die deutschen und europäischen Klimaziele möglichst günstig und effektiv zu erreichen und gleichzeitig Anknüpfungspunkte für internationale Kooperationen aufzubauen. Wenn möglich sollten übergreifende Regelungen auf EU-Ebene verankert werden. Das erhöht die Beständigkeit der Regeln wie auch die Transparenz gegenüber den Unternehmen sowie an den Kapitalmärkten und erleichtert dadurch die Finanzierung von Geschäftsmodellen. Folgende Elemente sind zentrale Bausteine einer solchen Energie- und Klimapolitik:

- a. **Den Emissionshandel stärken.** Der europäische Emissionshandel sollte als Leitinstrument der Klimapolitik weiter gestärkt werden. Der europäische Emissionshandel im Rahmen des EU ETS I hat seine Wirksamkeit unter Beweis gestellt, nun gilt es, ambitioniert die Umsetzung des nationalen Emissionshandels im Rahmen des BEHG voranzutreiben. Die Verschärfungen des nationalen Rechts sollten so

ausgestaltet werden, dass sie problemlos im zukünftigen EU ETS II aufgehen können oder ihn ergänzen, falls übergangsweise in Deutschland ambitioniertere Klimaziele verfolgt werden als in der EU.

- b. Zertifizierung und Standardisierung stärker priorisieren.** Zertifizierung und Standardisierung sollten für wichtige Zukunftstechnologien höhere Aufmerksamkeit erhalten. Staatliche Koordinationsaktivitäten könnten insbesondere Start-ups und mittelständischen Firmen einen besseren Zugang zu den vorwettbewerblichen Aktivitäten verschaffen. Ein Zertifizierungssystem, das international anknüpfungsfähig ist und auf dem CO₂-Fußabdruck basiert, ist die Voraussetzung für die Attraktivität und Umsetzbarkeit klimaneutraler Geschäftsmodelle. Im Gegensatz zu Zertifizierungen, die technologiespezifisch sind, erhöht eine CO₂-basierte Zertifizierung die Berechenbarkeit zukünftiger Erträge.
- c. Zusammenspiel unterschiedlicher Transformationspfade in der EU zulassen.** Die Mitgliedstaaten der EU haben aufgrund unterschiedlicher geografischer Voraussetzungen, aber auch aufgrund unterschiedlicher Präferenzen ihrer Bevölkerungen verschiedene Transformationspfade. Einige setzen weiter auf die Atomkraft, andere lehnen diese ab und sind damit in großem Umfang auf wasserstofffähige Gaskraftwerke und Batteriespeicher angewiesen, wenn Wasserkraft nicht in ausreichendem Umfang verfügbar ist. Die gegenseitige Akzeptanz der verschiedenen Transformationspfade in der EU ist eine zentrale Voraussetzung, um die Klimaziele in den einzelnen Staaten und in der EU insgesamt schnell und möglichst kostengünstig zu erreichen. Da verschiedene Transformationspfade mit (unterschiedlichen) Risiken einhergehen, können die Länder sich dadurch auch gegenseitig absichern. Dies funktioniert umso besser, je weniger eine technologiespezifische europäische Regulierung die in einzelnen Mitgliedstaaten notwendigen Technologien blockiert, und desto stärker der europäische Energiemarkt integriert ist.
- d. Den europäischen Strommarkt stärken.** Eine stärkere Integration des europäischen Strommarktes ist entscheidend, um die Energieversorgung in der EU effizienter, kostengünstiger und umweltfreundlicher zu gestalten [80]. Durch einen besser integrierten Markt können Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien leichter zwischen den Mitgliedstaaten verteilt werden. Dies erhöht die Versorgungssicherheit, senkt die Stromkosten und ermöglicht eine flexiblere Anpassung an die zunehmend schwankende Energieerzeugung. Zudem reduziert eine engere Kooperation innerhalb der EU die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und fördert den Übergang zu einer klimaneutralen Energieversorgung in ganz Europa. Eine verstärkte Integration schafft darüber hinaus Anreize für Investitionen in grenzüberschreitende Infrastrukturprojekte und sorgt für eine effizientere Nutzung der bestehenden Netze.
- e. Regional differenzierte Strompreise einführen.** Die effiziente Koordination von Anbietern und Nachfragern gelingt im aktuellen Strommarktdesign schlecht. Fehlankreize der einheitlichen deutschen Preiszone führen zu ineffizienten Standortentscheidungen und zu einem ineffizienten Betrieb von Erzeugungsanlagen. Oft bleiben Investitionen sogar ganz aus oder können nur mit umfangreicher Förderung realisiert werden. Zudem gehen von einem einheitlichen deutschen Strom-

preis falsche Signale im Rahmen des grenzüberschreitenden Stromhandels aus, was die Anreize der Nachbarstaaten für eine stärkere Integration des europäischen Strommarktes reduziert [156]. Regional differenzierte Preise reduzieren den ineffizienten Betrieb erheblich und reduzieren über eine Erhöhung der zu erwartenden Erlöse an den richtigen Standorten die notwendige Förderung für den Zubau von Kapazitäten. Aufgrund der Effizienzgewinne eines regional differenzierten Preissystems dürften die Strompreise auch in Hochpreisregionen innerhalb Deutschlands relativ zu einem Szenario, in dem die Einheitspreiszone beibehalten wird, nicht signifikant steigen [155], [156], [159], [160]. Weil für Standorte innerhalb Deutschlands nicht der innerdeutsche Vergleich, sondern die Wettbewerbsfähigkeit mit dem Ausland entscheidend ist, wäre somit allen Bundesländern gedient. Schon heute gibt es zahlreiche Strommärkte mit Nodalpreissystemen oder Preiszonen, von deren Erfahrungen könnte Deutschland bei der Umsetzung profitieren.

- f. Die Ausweitung des CBAM vorbereiten.** Da der CBAM aktuell nur die unteren Wertschöpfungsstufen abdeckt, könnten Unternehmen strategisch planen, ihre Produktion derart zu verlagern, dass ihre Importe in die EU dem CBAM gerade nicht mehr unterliegen. Dies könnte zu einer Verschiebung von Wertschöpfungsstufen führen, die heute in die deutsche Industrieproduktion vielfältig integriert sind, und dadurch ungünstige Folgeeffekte nach sich ziehen. Derartige Verlagerungsstrategien gehen aber nur auf, wenn der CBAM höhere Wertschöpfungsstufen tatsächlich langfristig nicht abdeckt. Eine Vorbereitung der Ausweitung des CBAM kann daher derartige strategische Verlagerungen riskanter und dadurch auch weniger attraktiv für die betroffenen Unternehmen machen. Die Vorbereitung einer Ausweitung des CBAM impliziert nicht, dass bereits heute eine verbindliche Entscheidung für diese Ausweitung getroffen werden muss. Denn eine tatsächliche Ausweitung des Geltungsbereichs des CBAM dürfte nicht unproblematisch sein und nicht zuletzt Fragen der Kompatibilität mit dem WTO-Regelwerk aufwerfen. Eine Vorbereitung der EU auf verschiedene Handlungsoptionen kann dennoch zielführend sein, um einerseits die Abwanderung mit dem Ziel des Re-Imports der Produkte weniger attraktiv zu machen und andererseits, um die Verhandlungsposition auf dem Weg zu einem multilateralen Klimaklub auszubauen.
- g. Den Infrastrukturausbau forcieren.** Die Transformation zur Klimaneutralität erfordert in großem Umfang den Ausbau von Infrastrukturen, für Energie (Strom und Wasserstoff), Mobilität (Ladestationen und Wasserstofftankstellen), CO₂-Transport (für CCS-Optionen) sowie Digitales. Der Ausbau der verschiedenen Energie- und Mobilitätsinfrastrukturen sollte in einer gemeinsamen Netzausbauplanung vorbereitet werden, um den Interdependenzen zwischen den Infrastrukturen gerecht zu werden. Die Regulierung der Netze muss den Herausforderungen gerecht werden, die mit dem notwendigen Anstieg der Investitionen einhergehen. Insbesondere sollten die zugestandenen Renditen nicht zu gering bemessen werden, damit Eigenkapital als Basis für die Finanzierung ansteigender Investitionen aufgebaut werden kann. Gleichzeitig sollte die Regulierung darauf ausgerichtet werden, den Ersatz von Leitungsausbau durch Digitalisierung oder Flexibilisierung in den Übertragungs- und Verteilnetzen nicht zu behindern [159], [204]. Für den Ausbau gänzlich neuer Infrastrukturen (etwa für den Wasserstoff-

transport oder die Mobilität) kann eine staatliche Unterstützung im Übergang notwendig sein, solange realistischerweise Nutzergebühren die Refinanzierung der Infrastrukturen noch nicht ermöglichen. Hier ist das Konzept eines Amortisationskontos eine Option, das aktuell im Zusammenhang mit dem Aufbau des Wasserstoff-Kernnetzes angedacht ist. Eine europäische Koordination der Infrastrukturen kann den notwendigen Ausbau reduzieren, ebenso wie eine Erzeugungsstruktur, bei der dezentrale Konzepte auch hinsichtlich des notwendigen Infrastrukturausbaus evaluiert werden.

- h. Soziale Abfederung transparent implementieren.** Die sozialen Härten, die sich im Zuge des Anstiegs der CO₂-Preise ergeben, sollten thematisiert und adressiert werden. In den kommenden Jahren würde eine Rückgabe der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung in Form eines pro Kopf identischen Klimagelds die unteren Einkommen spürbar entlasten und sie im Durchschnitt sogar netto besserstellen. Spezifische Maßnahmen sollten aber zugleich dafür sorgen, dass auch untere Einkommensgruppen von Investitionen in klimafreundliche Heizungen und Mobilitätsoptionen profitieren können. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sie eine überproportionale Last bei der CO₂-Bepreisung tragen, sobald Haushalte im oberen Einkommensbereich auf klimafreundliche Anlagen umgestiegen sind. Eine institutionelle Verankerung der sozialen Abfederung ist eine Gelingensbedingung für den Klimaschutz und muss ein fester Bestandteil des Rahmenwerks sein. Eine klare Kommunikation eines transparenten Systems ist zentral für die anhaltende Akzeptanz von Klimaschutz in der Bevölkerung.

5.2 Staatliche Förderung und spezifische Eingriffe

Punktuell sind im Zuge der Transformation staatliche Maßnahmen notwendig. Dies ist insbesondere der Fall, wenn weitere Externalitäten (über den Treibhausgaseneffekt hinaus) adressiert werden müssen, etwa Netzwerkexternalitäten oder Fragen der Versorgungssicherheit im Zuge aktueller geopolitischer Entwicklungen. Zudem kann es sinnvoll sein, Forschung und Entwicklung gezielt zu fördern, um bestimmte Entwicklungen zu beschleunigen. Bei allen Maßnahmen gilt es, auf Kosteneffizienz zu achten, damit staatliche Aktivitäten nicht unerwartet aufgrund fehlender Mittel eingestellt werden müssen. Die zu erwartenden Kosten, wenn eine Fördermaßnahme verfängt, sollten daher schon beim Aufsetzen von Maßnahmen antizipiert werden.

- a. Kostengünstige klimaneutrale Stromerzeugung sicherstellen.** Der Zubau von Gaskraftwerken, die beim Ausstieg aus Kohle und Kernkraft dringend notwendig sind, wurde durch das Marktdesign (etwa aufgrund fehlender regional differenzierter Preise) nicht ausgelöst und bisher immer wieder zeitlich aufgeschoben. Da Gaskraftwerke, die langfristig mit Wasserstoff betrieben werden sollen, ein integraler Bestandteil des angestrebten klimaneutralen Erzeugungsmix sind, gilt es, den Zubau von ausreichend Kapazitäten schnell auszulösen. Die systemdienliche Standortwahl könnte, falls regional differenzierte Preise im Strom-Großhandel etabliert werden, durch die frühzeitige Ankündigung eines Kapazitätsmechanismus erreicht werden, der die Erzeuger zur Abdeckung eines signifikanten Anteils der Nachfrage an den Terminmärkten verpflichtet [155]. Die zu erwartenden

Marktpreise wären bei regionaler Bepreisung in den Regionen höher, in denen die Kapazität dringender benötigt wird. Übergangsweise kann es nötig sein, in der kurzen Frist über Kapazitätzahlungen oder eine strategische Reserve ausreichend Kapazitäten verfügbar zu machen.

- b. Ausreichend klimaneutrale stoffliche Energieträger beschaffen.** Um regional diversifizierte Importe klimafreundlicher Energieträger (Wasserstoff und Wasserstoffderivate) zu erreichen, sollte angestrebt werden, eine gemeinsame Beschaffung auf EU-Ebene (oder im Rahmen einer „Koalition der Willigen“ unter den Mitgliedstaaten) zu etablieren, um über die Beschaffung großer Mengen die Bezugsquellen diversifizieren zu können. Ausschreibungen sind in diesem Zusammenhang geeignet, die Markups der Exporteure möglichst gering zu halten. Außerdem dürfte der Wettbewerb unter den potenziellen Anbietern in den Ausschreibungen dazu führen, dass Europa die gewünschten Energieträger einkaufen kann und nicht einzelne Verhandlungspartner einen größeren Teil der Wertschöpfungskette zu sich ziehen. Technologietransfer an attraktive Partner, die bisher nicht zu den globalen Energieexporteuren gehörten, könnten zusätzliche Wettbewerber schaffen und so den globalen Wettbewerb auf dem Energiemarkt für klimafreundliche Moleküle entfachen.
- c. Abnahme überschüssiger Wasserstoffmengen garantieren.** Um in den Ausschreibungen beschaffte Mengen zu nutzen, die in der Industrie oder für die Mobilität zunächst keinen Abnehmer finden, und sie gegenüber dem Importeur auch vergüten zu können, kann das Gasnetz als Backup-Option dienen. Überschüssige Mengen, die beschafft wurden, aber keinen Abnehmer finden, könnten dem Gas beigemischt werden. Da die Umstellung der Gaskraftwerke auf Wasserstoff ohnehin geplant ist, kann die Beimischung als ein erster Schritt auf diesem Weg betrachtet werden. Die zusätzlichen Kosten der Wasserstoffbeimischung könnten auf die Gaskunden umgelegt werden, was angesichts der zunächst relativ geringen Mengen keine große Kostenbelastung darstellen würde. Alternativ zur Umlage könnten Zertifikate verkauft werden, wodurch sich deren Käufer die CO₂-Reduktion durch die Wasserstoffmengen anrechnen lassen könnten. Dies würde es zum Beispiel Gaskraftwerken ermöglichen, spezifische Emissionsreduktionsziele zu erfüllen oder den notwendigen Kauf von Emissionszertifikaten im EU ETS zu reduzieren. Durch den Handel der Emissionsreduktion im Rahmen finanzieller Kontrakte würde dann die notwendige Umlage auf die Gaskunden niedriger ausfallen.
- d. Bei strategischen Industrien europäisch denken.** Im Zuge der aktuellen geopolitischen Veränderungen streben verschiedene Staaten weltweit die Ansiedlung oder den Erhalt von strategisch bedeutsamen Industrien im Inland an. Auch in der EU und ihren Mitgliedstaaten wird diskutiert, welche Industrien und Standorte trotz günstigerer Produktionsbedingungen im Ausland vor Ort erhalten werden sollen. Während es natürlich Ziel der Politik sein sollte, die allgemeinen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (inklusive der Energieversorgung) und so auch die Standortbedingungen für die Unternehmen zu verbessern, sollten Subventionen nur sparsam zum Einsatz kommen. Bei Entscheidungen über strategische Ansiedlungen sollten immer die hohen Opportunitätskosten der Mittelverwendung berücksichtigt werden. Öffentliche Mittel können eingespart werden (i)

durch Wahl des günstigsten Standorts in der EU sowie (ii) indem statt einer heimischen Produktion Resilienz durch Diversifizierung der Importe erreicht wird. EU-weite Entscheidungen wären weniger anfällig für den Einfluss nationaler Lobbygruppen, die im Zweifelsfall für unnötig viele Industrien die strategische Relevanz reklamieren würden.

- e. **Versorgungssicherheit und Resilienz gewährleisten.** Nur in Ausnahmefällen sollte der Staat Maßnahmen ergreifen, um die potentielle Versorgungssicherheit im Krisenfall zu erhöhen, nämlich wenn Güter nicht kurzfristig substituierbar, aber unmittelbar konsumrelevant sind und der Lieferausfall mit signifikanten Externalitäten für die Gesellschaft einhergeht [184]. Auch bei diesen Gütern muss nicht die Versorgung aus eigener Produktion angestrebt werden, sondern Versorgungssicherheit kann durch eine ausreichende Diversifizierung des Bezugs hergestellt werden. Mögliche Wege, eine Diversifizierung zu erreichen, sind Konzentrationszölle [184] oder auch die vorausschauende Gestaltung der auszubauenden Lieferketten (etwa im Energiehandel). Dabei ist immer zu beachten, dass die Absicherung gegen den Krisenfall im Voraus mit (teilweise hohen) Kosten einhergeht und nur dort geschehen sollte, wo ansonsten großer Schaden entstehen könnte.

5.3 Abbau von Regulierung und Bürokratie

Der Aufbau eines verlässlichen und effektiven regulatorischen Rahmens erfordert nicht nur die Stärkung wirksamer Institutionen und Regeln, sondern insbesondere den Abbau von Regulierung und Bürokratie, die investitionshemmend ist und zum Klimaschutz wenig oder nichts beiträgt. Dies dürfte möglicherweise herausfordernder sein als die Schaffung zusätzlicher Regeln, da jede bestehende Regel auch ihre Befürworter (sowie punktuell ihre Nutznießer) hat und es zudem politisch wenig Erträge bringt, Regeln abzuschaffen.

- a. **Unnötige und widersprüchliche Regulierung abbauen.** Auf der Ebene der EU wie auch auf nationaler Ebene existieren immer mehr Regeln, die einen hohen Erfüllungsaufwand mit sich bringen –für den Staat und für die Unternehmen – aber keinen oder zumindest keinen signifikanten Beitrag zur Zielerreichung leisten. In der Summe dürfte dieses regulatorische Umfeld private Investitionen in technologischen Fortschritt eher hemmen, da die zahlreichen Maßnahmen trotz dem EU-weitem Emissionshandel zu völlig unterschiedlichen Grenzvermeidungskosten in verschiedenen Sektoren führen (vgl. Abbildung 19). Darüber hinaus sollte das Zielsystem widerspruchsfrei gestaltet werden. Stand heute sind etwa die Ziele zur Senkung des Energieverbrauchs realistischere nicht erreichbar, ohne Abwanderung von energieintensiver Industrie in Kauf zu nehmen (vgl. [23, S. 40–41]). Verschiedene technologiespezifische Regelungen sollten hinterfragt werden, zum Beispiel solche, die die Nutzung von blauem Wasserstoff im Übergang zur Klimaneutralität erschweren oder unmöglich machen oder die detaillierte Vorgaben zum Aufbau und Betrieb von Elektrolyseanlagen vorschreiben [122], [205].

- b. Klimaschädliche Subventionen abbauen.** Seit Jahren wird über den Abbau klimaschädlicher Subventionen diskutiert. Das Umweltbundesamt hat dazu eine umfangreiche Liste vorgelegt, die etwa 70 Mrd. Euro jährlich umfasst [206]. Allerdings ist es nicht einfach, diese Gelder einzusparen, denn jede Maßnahme hat auch ihre Befürworter und oft werden damit auch zumindest teilweise gesellschaftlich wünschenswerte Ziele erreicht. Es ist dennoch lohnenswert, genauer hinzuschauen. So könnte man beispielsweise die Pendlerpauschale neu ausrichten, um klimaschädliche Anreize zu eliminieren und Begünstigungen für Haushalte höherer Einkommensgruppen zu reduzieren.
- c. Berichtspflichten vereinheitlichen und aufeinander abstimmen.** Immer neue Berichtspflichten – im Rahmen des Lieferkettengesetzes, der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) und weiterer Initiativen – sorgen für einen ansteigenden Erfüllungsaufwand nicht nur bei den direkt betroffenen Unternehmen, sondern auch bei ihren Zulieferern. Auswirkungen auf nicht direkt betroffene Unternehmen sind besonders für Deutschland mit seinen vielen kleinen und mittelgroßen Unternehmen ein Problem. Daher sollte der Fokus der Politik darauf liegen, Berichtspflichten zu harmonisieren und wo möglich zu reduzieren. Darüber hinaus könnten, zum Beispiel über die Verbände, Strukturen geschaffen werden, um Unternehmen bei der Berichterstattung zu unterstützen.
- d. Die Umsetzung von Regeln harmonisieren.** Aktuell sind beträchtliche Unterschiede in der Einhaltung und Durchsetzung von Regeln in den Mitgliedstaaten der EU zu beobachten. Jedoch verhindert etwa die Aarhus-Konvention [207], [208], [209], dass einmal eingerichtete Beteiligungsrechte ohne weiteres abgeschafft oder reduziert werden können. Dies stellt zwar einerseits die Rechte von Betroffenen in Beteiligungsprozessen sicher, erschwert aber zugleich die Vereinfachung von Genehmigungs- und Beteiligungsprozessen. Dies ist einerseits problematisch, weil durch unterschiedlichen Umfang der Beteiligungsprozesse in den Mitgliedstaaten der Wettbewerb innerhalb der EU verzerrt wird. Zum anderen erschwert diese Situation die Harmonisierung von Beteiligungsverfahren, was die Finanzierung von Geschäftsmodellen am Kapitalmarkt beeinträchtigt, da die Einschätzung zukünftiger Erträge und Kosten erschwert wird.

5.4 Internationale Klimakooperation

Wirksame internationale Klimakooperation ist der Schlüssel zu erfolgreichem Klimaschutz aber auch eine Voraussetzung dafür, dass in Europa Klimaschutz und Wachstum vereinbart werden können. Entscheidend ist die Weiterentwicklung der internationalen Klimapolitik von gemeinsamen Zielen und unilateralen Zielverpflichtungen hin zu gemeinsamen verbindlichen Institutionen, die die Ziele implementieren. Die Umstellung der europäischen Energieimporte und die notwendige Diversifizierung der Importe von kritischen Rohstoffen zwingen Europa, seine Rolle in der internationalen Energie- und Klimapolitik strategisch neu auszurichten. Folgende Elemente können Teil einer strategischen Neuausrichtung sein:

- a. Globale Klimakooperation institutionell verankern.** Um eine wirksame internationale Klimakooperation zu erreichen, sind gemeinsame, auf Gegenseitigkeit beruhende Verpflichtungen erforderlich [106]. Ein möglicher Ansatzpunkt für solche Vereinbarungen, sei es durch sektorale Abkommen zur Emissionsreduktion oder die Einführung eines globalen CO₂-Mindestpreises, könnte ein Klimaklub sein. Ein solcher wurde bereits auf Initiative der G7 ins Leben gerufen, jedoch fehlen bislang verbindliche gemeinsame Verpflichtungen und Institutionen. Gemeinsame Institutionen ausgewählter Staaten könnten zu Beginn eine „Gemeinschaft der Willigen“ (auch innerhalb des Klimaklubs) umfassen und müssten mit einem CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (analog dem CBAM) nach außen abgesichert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der teilnehmenden Staaten zu schützen und zugleich Carbon Leakage zu vermeiden. Im Rahmen des Klimaklubs könnte ein solches Vorgehen diskutiert werden, um Vorbehalte von Staaten zu reduzieren, die sich noch nicht auf gemeinsame Institutionen beim Klimaschutz festlegen wollen.
- b. Den globalen Handel klimaneutraler Energieträger aufbauen.** Europa hat eine besondere Rolle als einziger Kontinent, der auch in einer klimaneutralen Welt signifikante Energieimporte benötigt. Die EU sollte daher frühzeitig den globalen Handel klimaneutraler Energieträger initiieren und in diesem Kontext auch neue Energie-Handelsbeziehungen aufbauen, um die Energie-Handelsbeziehungen zu diversifizieren. Für Länder mit großem Potenzial zur Erzeugung von klimafreundlichem Wasserstoff und Derivaten bietet die neue Rolle als Energieexporteur Chancen, etwa durch Technologietransfer aus der EU und die Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze. Die EU kann durch den Aufbau neuer Energie-Wertschöpfungsketten ihre Energieversorgung diversifizieren und zudem vom Anlagenbau und Dienstleistungsexporten profitieren.
- c. Handelsbeziehungen neu ausrichten.** Europa muss die Kraft aufbringen, bereits ausgehandelte Handelsabkommen zu ratifizieren und neue zu verhandeln. Das ist nicht zuletzt von Bedeutung, um Zugriff auf wichtige Rohstoffvorkommen zu erhalten. Die Aktivitäten sollten gezielt dort intensiviert werden, wo neue Kooperationen strategisch initiiert werden können oder Härten der Transformation für andere Länder abgefedert werden sollen. Es ist vorzuziehen, Abhängigkeiten durch die Intensivierung neuer Kooperationen im Zuge der Transformation abzubauen als durch das Zurückfahren bestehender Beziehungen.
- d. Politikfelder verschränken.** Internationale Klimafinanzierung, Energiepolitik, Entwicklungspolitik, Außenwirtschaftspolitik, Handelspolitik und weitere Politikfelder weisen in der bevorstehenden Transformation strategische Komplementaritäten auf. Es gilt, in diesen Bereichen das Ressortprinzip zu überwinden und die teils signifikanten Synergien zwischen den Politikfeldern zu heben. Dies kann etwa dadurch gelingen, dass man sich ressortübergreifend auf Mechanismen einigt, die nicht mit spezifischen Förderinstrumenten einhergehen, sondern strukturell wirken (etwa der Emissionshandel). Zum anderen können Initiativen, die ressortübergreifend abgestimmt werden, die strategische Verschränkung thematisieren und dem auch Rechnung tragen. Die Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate geht hier mit gutem Beispiel voran, indem das Zusammenspiel der Politikfelder dort umfangreich abgestimmt und dargelegt wurde.

- e. **Forward Guidance in der globalen Energiepolitik nutzen.** Um die Rolle Europas in der Energie- und Klimapolitik strategisch ausrichten zu können, gilt es, langfristige globale Entwicklungen frühzeitig zu analysieren und Chancen sowie Risiken für Europa zu identifizieren. Wichtige Aspekte können die zukünftigen Wachstumsambitionen der Entwicklungs- und Schwellenländer (Abbildung 2 c)) und der dafür notwendige Energiebedarf sein, die Kontrolle von fossilen Ressourcen durch Machteliten (Abbildung 2 e)) oder auch Migrationsströme, die durch den Klimawandel zu erwarten sind, aber durch internationale Kooperation möglicherweise vorausschauend mitigiert werden können.

5.5 Das Wachstumspotenzial stärken

Eine effiziente Energie- und Klimapolitik kann nur gelingen und das Wachstum befördern, wenn parallel strukturelle Weichenstellungen zur Stärkung des Wachstumspotenzials vorgenommen werden. Neben den Maßnahmen, die direkt auf die Energie- und Klimapolitik abzielen und somit möglichst niedrige Energiekosten zur Folge haben, sollten folgende Maßnahmen im Vordergrund stehen:

- a. **Das Arbeitsvolumen erhöhen.** Das insbesondere aufgrund des demografischen Wandels sinkende Arbeitsvolumen dämpft das Potenzialwachstum deutlich und stellt unterschiedliche Wirtschaftsbereiche vor Herausforderungen. Unternehmen werden versuchen, fehlende Arbeitskräfte durch verstärkten Kapitaleinsatz zu kompensieren. Doch auch eine Mobilisierung von Teilzeitkräften, älteren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, Bürgergeldempfängerinnen und -empfängern sowie Zuwanderung wird notwendig sein, um die negativen Auswirkungen auf das Produktionspotential abzumildern [175], [179]. Angesichts des Fachkräftemangels und der Veränderung der Anforderungsprofile im Zuge der Transformationen wird die Anpassung der Qualifikationsprofile zur Herausforderung. Hochqualifizierte Fachkräfte werden auch in Zukunft ein zentraler Standortfaktor sein. Im Zuge der Transformationen sind daher (teilweise auch staatlich) koordinierte Anstrengungen im Bereich der Weiterbildung und Umschulung essenziell, um den Strukturwandel erfolgreich zu bewältigen. Aufgrund der Hortung von knappen Arbeitskräften durch die Unternehmen und die fehlende Reallokation von Arbeitskräften hin zu effizienteren Betrieben in den Krisen der vergangenen Jahre ist die Arbeitsproduktivität aktuell niedrig [97, Kap. 1]. Hemmnisse für die Reallokation von Arbeitskräften sollten daher möglichst konsequent abgebaut werden. Das impliziert insbesondere, dass der Strukturwandel in der Industrie nicht unnötig durch staatliche Unterstützung von Betrieben aufgehalten werden sollte.
- b. **Das Bildungssystem stärken.** Investitionen in das Bildungssystem, von der frühkindlichen Bildung bis zur Universität, bilden eine wichtige, wenn nicht die wichtigste, Grundlage des Wirtschaftswachstums. Die öffentlichen Ausgaben für Bildung sollten deutlich ansteigen [97] und ein größerer Fokus sollte dabei auf die ersten Bildungsjahre gelegt werden, von der frühkindlichen Bildung bis zur Grundschule. Eine Gesellschaft, die durch Zuwanderung vielfältiger wird, muss Strategien entwickeln, um Zugewanderten und ihren Kindern gleiche Chancen zu bieten. Nur so wird Deutschland zu einem attraktiven Zuwanderungsland, in dem

sich für die Zugewanderten Leistung auszahlt und dem es umgekehrt dadurch gelingt, die Potenziale der Bevölkerung zu heben [179]. Zugleich kann durch qualitativ hochwertige Betreuungs- und Bildungsangebote das Erwerbstundenpotenzial bei den Eltern erhöht werden, was den zunehmenden Fachkräftemangel entschärft.

- c. Investitionen in Wachstumssektoren lenken.** Die Wachstumsschwäche, die sich bereits seit dem Jahr 2019 manifestiert hat [180], hat sich durch die Auswirkungen der jüngsten Krisen nochmal vertieft. Um wieder auf einen robusten Wachstumspfad zu gelangen, sind erhebliche produktivitätssteigernde Investitionen in den Kapitalstock und das Humankapital erforderlich. Eine effiziente Transformation der Energieversorgung im europäischen und globalen Kontext, wie sie in diesem Gutachten skizziert wurde, ist dabei eine Gelingensbedingung. Eine ineffiziente Allokation der Produktionsfaktoren bremst derzeit jedoch das Wachstumspotenzial [175]. Um private Investitionen zu attrahieren und die Produktionsfaktoren in die produktiveren Wirtschaftsbereiche zu lenken, ist es wichtig, die Attraktivität des Standorts zu erhöhen (vgl. die übrigen Empfehlungen dieses Abschnitts) und zudem darauf zu verzichten, Betriebe zu stützen, deren Wettbewerbsfähigkeit unter den zukünftigen Rahmenbedingungen nicht mehr gegeben sein wird. Zudem werden Anpassungen der steuerlichen und der regulatorischen Rahmenbedingungen notwendig sein, um die Innovationskraft der Wirtschaft und die Attraktivität von Geschäftsmodellen zu erhöhen.
- d. Die Kapitalmarkt- und Bankenunion stärken.** Die Vertiefung der Kapitalmarktunion und der Bankenunion sind entscheidend, um den Zugang zu Kapital für zukünftige Wachstumsmärkte zu erleichtern. Die europäischen Kapitalmärkte sind jedoch national fragmentiert, was die Finanzierungsmöglichkeiten von Unternehmen einschränkt. Insbesondere gibt es große nationale Unterschiede bei der Unternehmensberichterstattung und beim Insolvenzrecht sowie steuerliche Hemmnisse für grenzüberschreitende Anlagen [183]. Eine stärkere Integration und Harmonisierung der Finanzmärkte in Europa könnte Unternehmen den Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten erleichtern und dazu beitragen, Risiken zu diversifizieren und die Finanzierung von Investitionen im Zuge der Transformation zu erleichtern [183]. Denn die in Deutschland und auch anderen europäischen Staaten verbreitete Finanzierung über Kredite ist für viele Projekte im Zuge der Transformation aufgrund ihrer Risikostruktur ungeeignet [183].
- e. Soziale Sicherungssysteme an das Wachstumspotenzial anpassen.** Um Raum für staatliche Investitionen zu schaffen, sollten die sozialen Sicherungssysteme an das zu erwartende Wachstumspotenzial angepasst werden. Insbesondere der im Zuge der demografischen Entwicklung zu erwartende Anstieg der Ausgaben der gesetzlichen Rentenversicherung sollte mittels geeigneter Reformen gedämpft werden [94], [94, S. 368 ff.]. Um die Transfersysteme zu entlasten, könnten die Arbeitsanreize gestärkt werden, was ebenfalls den Arbeitskräftemangel entschärfen würde [210]. Langfristig tragfähige Sozialsysteme entlasten die Staats Haushalte und schaffen Spielräume für zukunftsorientierte Ausgaben.

- f. Nicht nur beim Klimaschutz nachhaltig handeln.** Klimaschutz kann nur gelingen, wenn auch auf anderen Politikfeldern nachhaltig agiert wird. Zu den wesentlichen Handlungsfeldern zählen effektive Fiskalregeln, die erforderlich sind, um die langfristige Schuldentragfähigkeit zu sichern und Staatsschuldenkrisen zu verhindern. Ebenso ist es entscheidend, die Verteidigungsfähigkeit herzustellen und langfristig aufrecht zu erhalten, um militärische Übergriffe für potenzielle Aggressoren unattraktiv und so Konflikte von vornherein unwahrscheinlicher zu machen. Angemessene Ausgaben für Bildung stellen sicher, dass Chancengerechtigkeit und Innovationskraft der Gesellschaft langfristig gestärkt und aufrechterhalten werden. Die Nachhaltigkeit in einem dieser Bereiche (oder in anderen wichtigen Handlungsfeldern) aufzugeben, dürfte Krisensituationen wahrscheinlicher machen, die unweigerlich die politische Aufmerksamkeit vom Klimaschutz und einer wachstumsorientierten Politik ablenken würden.

6 Literatur

- [1] M. Draghi, „The future of European competitiveness: Part A – A competitiveness strategy for Europe“, European Commission, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness%20_%20A%20competitiveness%20strategy%20for%20Europe.pdf.
- [2] M. Draghi, „The future of European competitiveness: Part B – In-depth analysis and recommendations“, European Commission, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://commission.europa.eu/document/download/ec1409c1-d4b4-4882-8bdd-3519f86bbb92_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness_%20In-depth%20analysis%20and%20recommendations_0.pdf.
- [3] E. Letta, „Much more than a market: Speed, Security, Solidarity – Empowering the Single Market to deliver a sustainable future and prosperity for all EU Citizens“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/media/ny3j24sm/much-more-than-a-market-report-by-enrico-letta.pdf>.
- [4] G. Claeys, M. Le Mouel, S. Tagliapietra, G. B. Wolff, und G. Zachmann, *The Macroeconomics of Decarbonisation: Implications and Policies*, 1. Aufl. Cambridge University Press, 2024. doi: 10.1017/9781009438353.
- [5] Hampshire-Waugh, „Mitigation and the Kaya identity“, NET-ZERO. Zugegriffen: 29. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://net-zero.blog/book-blog/the-kaya-identity>.
- [6] K. Yamaji, R. Matsushashi, Y. Nagata, und Y. Kaya, „An integrated system for CO₂/energy/GNP analysis: case studies on economic measures for CO₂ reduction in Japan“, in *Workshop on CO₂ reduction and removal: measures for the next century*, International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria, 1991.
- [7] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Wettbewerbsfähigkeit in Zeiten geopolitischer Veränderungen“, in *Energiekrise solidarisch bewältigen, neue Realität gestalten*, in Jahresgutachten 2022/23. , Wiesbaden, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/file-admin/dateiablage/gutachten/jg202223/JG202223_Gesamtausgabe.pdf.
- [8] A. De Vries, „The growing energy footprint of artificial intelligence“, *Joule*, Bd. 7, Nr. 10, S. 2191–2194, Okt. 2023, doi: 10.1016/j.joule.2023.09.004.
- [9] entso-e und entso-g, „Demand Scenarios TYNDP 2024 After Public Consultation“. 2024. Zugegriffen: 5. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://2024.entsos->

tyndp-scenarios.eu/wp-content/uploads/2024/01/Demand_Scenarios_TYNDP_2024_After_Public_Consultation.xlsb.zip.

[10] International Energy Agency (IEA), „Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/18f3ed24-4b26-4c83-a3d2-8a1be51c8cc8/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>.

[11] L. Lin, R. Wijayawardana, V. Rao, H. Nguyen, E. W. Gribga, und A. A. Chien, „Exploding AI Power Use: an Opportunity to Rethink Grid Planning and Management“, in *The 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, Singapore Singapore: ACM, 2024, S. 434–441. doi: 10.1145/3632775.3661959.

[12] International Energy Agency (IEA), „World Energy Outlook 2023 Free Dataset“. 2023. Zugegriffen: 6. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-outlook-2023-free-dataset-2>

[13] International Energy Agency (IEA), „Greenhouse Gas Emissions from Energy Highlights“. 2024. Zugegriffen: 6. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy-highlights>.

[14] United Nations – Department of Economic and Social Affairs – Population Division, „World Population Prospects 2024“. 2024. Zugegriffen: 12. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/>.

[15] J. Bolt und J. L. Van Zanden, „Maddison Project Database 2023“. DataverseNL, 2024. doi: 10.34894/INZBF2.

[16] Energy Institute, „Statistical Review of World Energy“. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energyinst.org/statistical-review>.

[17] U.S. Energy Information Administration (EIA), „International Energy Data“. 2023. Zugegriffen: 4. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eia.gov/international/overview/world>.

[18] European Council on Foreign Relations (ECFR) und Stiftung Mercator, „The Power Atlas: Seven battlegrounds of a networked world“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://ecfr.eu/wp-content/uploads/power-atlas.pdf>.

[19] Global Energy Monitor, „Global Coal Mine Tracker“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/download-data/>

[20] World Bank, „Oil rents (% of GDP)“. 2024. Zugegriffen: 3. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PETR.RT.ZS>.

- [21] D. Runfola u. a., „geoBoundaries: A global database of political administrative boundaries“, *PLoS ONE*, Bd. 15, Nr. 4, S. e0231866, Apr. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231866.
- [22] Deloitte, „Green hydrogen: Energizing the path to net zero“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/gx-green-hydrogen.pdf>.
- [23] Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring (EEM), „Monitoringbericht“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-expertenkommission-zum-energiewende-monitoring.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- [24] International Renewable Energy Agency (IRENA), „Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward“, Abu Dhabi, 2022. Zugegriffen: 5. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Global_hydrogen_trade_part_1_2022_.pdf.
- [25] J. Egerer, N. Farhang-Damghani, V. Grimm, und P. Runge, „The industry transformation from fossil fuels to hydrogen will reorganize value chains: Big picture and case studies for Germany“, *Applied Energy*, Bd. 358, S. 122485, März 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.122485.
- [26] K. Franke, J. F. Garcia, C. Kleinschmitt, und F. Sensfuß, „Assessing worldwide future potentials of renewable electricity generation: Installable capacity, full load hours and costs“, *Renewable Energy*, Bd. 226, S. 120376, Mai 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.120376.
- [27] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2023“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>.
- [28] M. Pfennig u. a., „Global GIS-based potential analysis and cost assessment of Power-to-X fuels in 2050“, *Applied Energy*, Bd. 347, S. 121289, Okt. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121289.
- [29] P. Runge, C. Sölch, J. Albert, P. Wasserscheid, G. Zöttl, und V. Grimm, „Economic comparison of electric fuels for heavy duty mobility produced at excellent global sites – a 2035 scenario“, *Applied Energy*, Bd. 347, S. 121379, Okt. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121379.
- [30] International Energy Agency (IEA), „Global Hydrogen Review 2024“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>.
- [31] J. Schippert, P. Runge, N. Farhang-Damghani, und V. Grimm, „Greenhouse Gas Footprint of Blue Hydrogen with Different Production Technologies and Logistics Options“, *SSRN Journal*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4153724.

- [32] J. Brandt u. a., „Cost and competitiveness of green hydrogen and the effects of the European Union regulatory framework“, *Nat Energy*, Bd. 9, Nr. 6, S. 703–713, Mai 2024, doi: 10.1038/s41560-024-01511-z.
- [33] L. Bühler, D. Möst, und H. Scharf, „Grüner Wasserstoff: Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit und welche Nachfrage lässt sich erwarten?“, *ifo Dresden berichtet*, Nr. 30, 2023, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2023/aufsatzzeitschrift/gruener-wasserstoff-wirtschaftlichkeit>.
- [34] J. F. George, V. P. Müller, J. Winkler, und M. Ragwitz, „Is blue hydrogen a bridging technology? – The limits of a CO₂ price and the role of state-induced price components for green hydrogen production in Germany“, *Energy Policy*, Bd. 167, S. 113072, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2022.113072.
- [35] A. Odenweller, F. Ueckerdt, G. F. Nemet, M. Jensterle, und G. Luderer, „Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply“, *Nat Energy*, Bd. 7, Nr. 9, S. 854–865, Sep. 2022, doi: 10.1038/s41560-022-01097-4.
- [36] F. Ueckerdt u. a., „On the cost competitiveness of blue and green hydrogen“, *Joule*, Bd. 8, Nr. 1, S. 104–128, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.joule.2023.12.004.
- [37] P. Friedlingstein u. a., „Global Carbon Budget 2023“, *Earth Syst. Sci. Data*, Bd. 15, Nr. 12, S. 5301–5369, Dez. 2023, doi: 10.5194/essd-15-5301-2023.
- [38] G. P. Peters, J. C. Minx, C. L. Weber, und O. Edenhofer, „Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008“, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, Bd. 108, Nr. 21, S. 8903–8908, Apr. 2011, doi: 10.1073/pnas.1006388108.
- [39] World Bank, „World Development Indicators“. The World Bank, 2023. doi: 10.57966/6RWY-0B07.
- [40] International Energy Agency (IEA), „Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf.
- [41] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Globaler Klimaschutz: Rahmenbedingungen und Handlungsoptionen“, in *Transformation gestalten: Bildung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit*, in Jahresgutachten 2021/22. , Wiesbaden, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202122/JG202122_Gesamtausgabe.pdf.
- [42] T. Corsatea u. a., „World Input-Output Database Environmental Accounts“, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC116234>.
- [43] Groningen Growth and Development Centre (GGDC), „World Input-Output Database“. 2016. Zugegriffen: 6. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/>.

- [44] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf.
- [45] pv magazine Deutschland, „Photovoltaik-Stromgestehungskosten liegen in Deutschland zwischen 4,1 und 14,4 Cent pro Kilowattstunde“. Zugegriffen: 13. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pv-magazine.de/2024/10/07/photovoltaik-stromgestehungskosten-liegen-in-deutschland-zwischen-41-und-144-cent-pro-kilowattstunde/>.
- [46] International Renewable Energy Agency (IRENA), „Renewable power generation costs in 2022“, Abu Dhabi, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf.
- [47] V. Grimm, L. Oechsle, und G. Zöttl, „Levelized cost of load coverage (LCOLC) – A simple and meaningful cost measure for electricity“, Forthcoming, 2024.
- [48] V. Grimm, L. Oechsle, und G. Zöttl, „Stromgestehungskosten von Erneuerbaren sind kein guter Indikator für zukünftige Stromkosten“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 104, Nr. 6, S. 387–394, Juni 2024, doi: 10.2478/wd-2024-0104.
- [49] U.S. Energy Information Administration (EIA), „Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2023“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/electricity_generation/pdf/AEO2023_LCOE_report.pdf.
- [50] International Energy Agency (IEA) und Nuclear Energy Agency (NEA), „Projected Costs of Generating Electricity“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>.
- [51] Lazard, „Levelized Cost of Energy +“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024-_vf.pdf.
- [52] Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“, „Stellungnahme zum achten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für die Berichtsjahre 2018 und 2019“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wirtschaftstheorie.rw.fau.de/files/2021/03/stellungnahme-der-expertenkommission-langfassung.pdf>.
- [53] V. Grimm, C. Sölch, und G. Zöttl, „Emissions reduction in a second-best world: On the long-term effects of overlapping regulations“, *Energy Economics*, Bd. 109, S. 105829, Mai 2022, doi: 10.1016/j.eneco.2022.105829.
- [54] Monopolkommission, „Energie 2017: Gezielt vorgehen, Stückwerk vermeiden“, Sondergutachten der Monopolkommission gemäß § 62 EnWG 77, 2017. [Online]. Verfügbar unter: http://www.monopolkommission.de/images/PDF/SG/s77_volltext.pdf.

[55] International Energy Agency (IEA), „Advancing Clean Technology Manufacturing: An Energy Technology Perspectives Special Report“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e7f4b17-1bb2-48e4-8a92-fb9355b1d1bd/CleanTechnologyManufacturingRoadmap.pdf>.

[56] IEA, „Average power generation construction time (capacity weighted)“. 2019. Zugegriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-power-generation-construction-time-capacity-weighted-2010-2018>.

[57] Fachagentur Wind an Land (FA Wind), „Typische Verfahrenslaufzeiten von Windenergieprojekten: Empirische Datenanalyse für den Zeitraum 2011 bis 2022“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Analysen/FA_Wind_Analyse_typischer_Verfahrenslaufzeiten_06-2023.pdf.

[58] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Kapitalmarkt in Deutschland und der EU: Potenziale besser nutzen“, in *Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren*, in Jahresgutachten 2023/24. , Wiesbaden, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf.

[59] European Patent Office (EPO), „Patentfamilien“. Zugegriffen: 4. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.epo.org/de/searching-for-patents/helpful-resources/first-time-here/patent-families>.

[60] EPO, „Financing and commercialisation of cleantech innovation“. 2024. Zugegriffen: 3. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.epo.org/web-publications/studies/en-financing-and-commercialisation-of-cleantech-innovation-study.pdf>.

[61] J. M. Pepe, D. Ansari, und R. M. Gehring, „The geopolitics of hydrogen: technologies, actors and scenarios until 2040“, *SWP Research Paper*, 2023, doi: 10.18449/2023RP13V02.

[62] Deutsche Rohstoffagentur (DERA), „ROSYS – Das interaktive Rohstoffinformationssystem der DERA“. 2019. Zugegriffen: 4. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys_node.html;jsessionid=78D89ED5E36C92D3BB0E31F4636F4F3.internet011.

[63] European Commission, *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020 (Text with EEA relevance)*, Bd. 1252. 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>.

[64] Bundesregierung, „Rohstoffstrategie der Bundesregierung: Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen

- Rohstoffen“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- [65] B. Kuhn, „Kritische Rohstoffe: Wie die EU ihre China-Abhängigkeit senken will“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 104, Nr. 7, S. 490–496, Juli 2024, doi: 10.2478/wd-2024-0126.
- [66] L. Flach, F. Teti, I. Gourevich, L. Scheckenhofer, und L. Grandum, „Wie abhängig ist Deutschland von Rohstoffimporten? Eine Analyse für die Produktion von Schlüsseltechnologien“, ifo Institut, München, ifo Studie im Auftrag der IHK für München und Oberbayern, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifo.de/DocDL/ifo-Studie_Rohstoffimporte.pdf.
- [67] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), „Nationally determined contributions under the Paris Agreement: Synthesis report by the secretariat“, Sharm el-Sheikh, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2022_04.pdf.
- [68] World Bank, „State and Trends of Carbon Pricing“. 2024. Zugegriffen: 25. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/about#download-data>.
- [69] J. Lang u. a., „Net Zero Tracker“. Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, NewClimate Institute, Oxford Net Zero, 2023. Zugegriffen: 17. Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://zerotracker.net/>.
- [70] International Carbon Action Partnership (ICAP), „ICAP ETS Map“. 2024. Zugegriffen: 6. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://icapcarbonaction.com/en/ets>
- [71] G7 Germany, „G7-Erklärung zum Klimaclub“, Elmau, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/2057898/954672c2ac-2f2ba2d7c490e3ea8ba15c/2022-06-28-klimaclub-data.pdf?download=1>.
- [72] Bundesregierung, „The beginning of the end of the fossil fuel era“, Website of the Federal Government | Bundesregierung. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-en/news/cop-28-2247402>.
- [73] G7 Germany, „Terms of Reference for the Climate Club“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.g7germany.de/resource/blob/974430/2153140/a04dde-2adecf0ddd38cb9829a99c322d/2022-12-12-g7-erklaerung-data.pdf?download=1>.
- [74] G7 Germany, „Erklärung der Staats- und Regierungschefs der G7“, 2022. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.g7germany.de/resource/blob/997532/2153264/cca5cd852bad2cecfb9207bf34bc9dbd/2022-12-12-g7leadersstatement-deu-data.pdf?download=1>.
- [75] Climate Club, „The Climate Club“. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://climate-club.org/>.

- [76] W. Nordhaus, „Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy“, *American Economic Review*, Bd. 105, Nr. 4, S. 1339–1370, Apr. 2015, doi: 10.1257/aer.15000001.
- [77] B. Moll, M. Schularick, und G. Zachmann, „The Power of Substitution: The Great German Gas Debate in Retrospect“, *eca*, Bd. 2023, Nr. 2, S. 395–481, Sep. 2023, doi: 10.1353/eca.2023.a935431.
- [78] G. Zachmann und B. McWilliams, „The European Union demand response to high natural gas prices“, *bruegel*, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bruegel.org/blog-post/european-union-demand-response-high-natural-gas-prices>.
- [79] O. Ruhnau, C. Stiewe, J. Muessel, und L. Hirth, „Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis“, *Nat Energy*, Bd. 8, Nr. 6, S. 621–628, Juni 2023, doi: 10.1038/s41560-023-01260-5.
- [80] G. Zachmann, C. Battle, F. Beaudé, C. Maurer, M. Morawiecka, und F. Roques, „Unity in power, power in unity: why the EU needs more integrated electricity markets“, *bruegel*, 2024. Zugegriffen: 8. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bruegel.org/policy-brief/unity-power-power-unity-why-eu-needs-more-integrated-electricity-markets>.
- [81] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Erholung der deutschen Wirtschaft verzögert sich weiter“, in *Frühjahrs-Gutachten 2024*, Wiesbaden, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/fg2024/FG2024_Gesamtausgabe.pdf.
- [82] Expertenrat für Klimafragen, „Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2022. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2023/05/ERK2023_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-jahres-2022.pdf.
- [83] Bundesregierung, „Die Nationale Wasserstoffstrategie“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11.
- [84] Bundesregierung, „Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- [85] Bundesregierung, „Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/importstrategie-wasserstoff.pdf?__blob=publicationFile&v=18.

[86] Bundesnetzagentur (BNetzA), „Bundesnetzagentur veröffentlicht Daten zum Strommarkt 2023“. Zugegriffen: 5. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240103_SMARD.html.

[87] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Update 2024: Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-05-03_NWR-Grundlagenpapier_Update_2024_Wasserstoffbedarfe.pdf.

[88] Frontier Economics und IW, „Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel: Eine Untersuchung der Marktpotentiale, Investitions- und Beschäftigungseffekte“, Studie im Auftrag von Institut für Wärme und Oeltechnik e. V. (IWO), MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e. V. und UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V., 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://en2x.de/wp-content/uploads/2021/08/Studie_Perspektiven_synthetische_Energietraeger.pdf.

[89] T. Galimova, M. Fasihi, D. Bogdanov, und C. Breyer, „Feasibility of green ammonia trading via pipelines and shipping: Cases of Europe, North Africa, and South America“, *Journal of Cleaner Production*, Bd. 427, S. 139212, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.139212.

[90] G. Lopez, T. Galimova, M. Fasihi, D. Bogdanov, und C. Breyer, „Towards defossilised steel: Supply chain options for a green European steel industry“, *Energy*, Bd. 273, S. 127236, Juni 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127236.

[91] Fraunhofer ISE und Fraunhofer IEE, „Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors“, Verfasst im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf.

[92] European Commission, *Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (Text with EEA relevance)*, Bd. 130. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj/eng>.

[93] European Commission, *Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1773 of 17 August 2023 laying down the rules for the application of Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council as regards reporting obligations for the purposes of the carbon border adjustment mechanism during the transitional period (Text with EEA relevance)*, Bd. 228. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1773/oj/eng.

[94] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Alterungsschub und Rentenreformen“, in *Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren*, in Jahresgutachten 2023/24. , Wiesbaden, 2023. [Online]. Ver-

- füßbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf.
- [95] Bundesregierung, „Entwurf Bundeshaushaltsplan 2025“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundeshaushalt.de/static/daten/2025/soll/draft/Vorspann.pdf>.
- [96] G. B. Wolff, A. Burilkov, K. Bushnell, und I. Kharitonov, „Fit for war in decades: Europe’s and Germany’s slow rearmament vis-à-vis Russia“, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Kiel, Kiel Report 1/2024, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/fis-import/1f9c7f5f-15d2-45c4-8b85-9bb550cd449d-Kiel_Report_no1.pdf.
- [97] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Versäumnisse angehen, entschlossen modernisieren“, in Jahresgutachten 2024/25. Wiesbaden, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202425/JG202425_Gesamtausgabe.pdf.
- [98] Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), „SIPRI Military Expenditure Database“. 2024. Zugegriffen: 25. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sipri.org/databases/milex>.
- [99] L. P. Feld, V. Grimm, und W. H. Reuter, „Zukunftsperspektiven sichern durch Reformen, nicht durch Schulden“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 2021, Nr. 6, S. 418–424, 2021.
- [100] C. Fuest, „Sind Wirtschaftswachstum und ökologische Nachhaltigkeit vereinbar?“, *ifo Standpunkt*, Nr. 250, 2023, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2023/ifo-standpunkt/wirtschaftswachstum-und-oekologische-nachhaltigkeit>.
- [101] F. Lindner, „Kein Wachstum ist auch keine Lösung: Eine Kritik an Degrowth- und Postwachstumsansätzen“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 103, Nr. 8, S. 564–569, Aug. 2023, doi: 10.2478/wd-2023-0157.
- [102] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Die Schuldenbremse nach dem BVerfG-Urteil: Flexibilität erhöhen – Stabilität wahren“, Wiesbaden, Policy Brief 1/2024, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/PolicyBrief/pb2024/Policy_Brief_2024_01.pdf.
- [103] V. Grimm, L. Nöh, und V. Wieland, „Government bond rates and interest expenditure of large euro area member states: A scenario analysis“, *International Finance*, Bd. 26, Nr. 3, S. 286–303, Dez. 2023, doi: 10.1111/infi.12434.
- [104] K. Clausing, P. Cramton, A. Ockenfels, und C. Wolfram, „Strategic Climate Cooperation and Greenhouse Gas Price Coordination“, *Intereconomics*, Bd. 59, Nr. 1, S. 55–56, Feb. 2024, doi: 10.2478/ie-2024-0011.

- [105] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik“, Wiesbaden, Sondergutachten, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/sondergutachten-2019.html>.
- [106] P. Cramton, A. Ockenfels, und J. Tirole, „Translating the Collective Climate Goal Into a Common Climate Commitment“, *Review of Environmental Economics and Policy*, Bd. 11, Nr. 1, S. 165–171, Jan. 2017, doi: 10.1093/reep/rew015.
- [107] S. Borghesi, M. Montini, und A. Barreca, *The European Emission Trading System and Its Followers*. in SpringerBriefs in Environmental Science. Cham: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-31186-9.
- [108] N. Döbbeling-Hildebrandt u. a., „Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing“, *Nat Commun*, Bd. 15, Nr. 1, S. 4147, Mai 2024, doi: 10.1038/s41467-024-48512-w.
- [109] E. Narassimhan, K. S. Gallagher, S. Koester, und J. R. Alejo, „Carbon pricing in practice: a review of existing emissions trading systems“, *Climate Policy*, Bd. 18, Nr. 8, S. 967–991, Sep. 2018, doi: 10.1080/14693062.2018.1467827.
- [110] M. Ranson und R. N. Stavins, „Linkage of greenhouse gas emissions trading systems: learning from experience“, *Climate Policy*, Bd. 16, Nr. 3, S. 284–300, Apr. 2016, doi: 10.1080/14693062.2014.997658.
- [111] R. Schmalensee und R. N. Stavins, „The design of environmental markets: What have we learned from experience with cap and trade?“, *Oxford Review of Economic Policy*, Bd. 33, Nr. 4, S. 572–588, Nov. 2017, doi: 10.1093/oxrep/grx040.
- [112] Reuters, „China sets low bar for firms in new carbon market expansion plan“, 11. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/china-sets-low-bar-firms-new-carbon-market-expansion-plan-2024-09-10/>.
- [113] J. van den Bergh, C. van Beers, und L. C. King, „Prioritize carbon pricing over fossil-fuel subsidy reform“, *iScience*, Bd. 27, Nr. 1, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.isci.2023.108584.
- [114] O. Schenker, S. Koesler, und A. Löschel, „On the effects of unilateral environmental policy on offshoring in multi-stage production processes“, *Canadian J of Economics*, Bd. 51, Nr. 4, S. 1221–1256, Nov. 2018, doi: 10.1111/caje.12354.
- [115] F. Bierbrauer, G. Felbermayr, A. Ockenfels, K. M. Schmidt, und J. Südekum, „A CO₂-border adjustment mechanism as a building block of a climate club“, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Kiel Policy Brief 151, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/232523/1/1752576446.pdf>.

- [116] S. Dröge, „Ein CO₂-Grenzausgleich für den Green Deal der EU: Funktionen, Fakten und Fallstricke“, Stiftung Wissenschaft und Politik, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.swp-berlin.org/10.18449/2021S09/>.
- [117] N. Garnadt, V. Grimm, und W. H. Reuter, „Carbon Adjustment Mechanisms: Empirics, Design and Caveats“, 22. Dezember 2021, 3991685. doi: 10.2139/ssrn.3991685.
- [118] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Der Inflation Reduction Act: Ist die neue US-Industriepolitik eine Gefahr für Europa?“, Wiesbaden, Policy Brief 1/2023, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/PolicyBrief/Policy_Brief_2023_01.pdf.
- [119] Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), Hrsg., „Energy Systems“, in *Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change*, 1. Aufl., Cambridge University Press, 2023, S. 613–746. doi: 10.1017/9781009157926.008.
- [120] European Commission, „An EU Strategy on Standardisation Setting global standards in support of a resilient, green and digital EU single market“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/48598>.
- [121] Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“, „Stellungnahme zum Strommarktdesign und dessen Weiterentwicklungsmöglichkeiten“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wirtschaftstheorie.rw.fau.de/files/2023/03/Stellungnahme-zum-Strommarktdesign-und-dessen-Weiterentwicklungsmoeglichkeiten.pdf>.
- [122] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Die Rolle und notwendige Ausgestaltung der Zertifizierungskriterien für einen schnellen und wirksamen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-12-09-NWR-Stellungnahme_Zertifizierungskriterien.pdf.
- [123] K. Blind, A. Jungmittag, und A. Mangelsdorf, *Der gesamtwirtschaftliche Nutzen der Normung: eine Aktualisierung der DIN-Studie aus dem Jahr 2000*, 1. Aufl. Berlin: Beuth, 2011.
- [124] NOW, „Die deutsche H₂-RCS-Roadmap 2025: RCS-Regulations, Codes & Standards Regelwerke, Durchführungsbestimmungen & Normen im Bereich Wasserstoff (H₂)“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/now_deutsche-h2-rcs-roadmap.pdf.
- [125] O. Edenhofer, J. Edenhofer, M. Kalkuhl, und C. Kilimann, „Chancen der Klimapolitik in Zeiten geopolitischer Spannungen“, *AMOS International*, Bd. 17, Nr. 4, 2023, Zugegriffen: 8. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.amosinternational.de/user/pages/02.magazine/issue-2023-4/amos_23-4S27-16%20O.Edenhofer,%20J.%20Edenhofer,%20Kalkuhl%20u.%20Killimann.pdf?g-df11e4e5-.

- [126] Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC), „Closing the deal on the end of coal“, Berlin, MCC Policy Brief 4, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/MCC_Policy_Brief_Coal_EN.pdf.
- [127] C. Nedopil, M. Yue, und U. Volz, „Global Practices for Financing of Early Coal Retirement for Accelerated Green Energy Transition“, Green Finance & Development Center at FISF Fudan University Shanghai, SOAS University of London, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.soas.ac.uk/sites/default/files/2023-02/Global%20Practices%20for%20Successful%20Financing%20of%20Early%20Coal%20Retirement%20for%20Accelerated%20Green%20Energy%20Transition.pdf>.
- [128] A. Jindal, G. Shrimali, B. Gangwani, und R. B. Lall, „Financing just energy transitions in Southeast Asia: Application of the Just Transition Transaction to Indonesia, Vietnam, and Philippines“, *Energy for Sustainable Development*, Bd. 81, S. 101472, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.esd.2024.101472.
- [129] A. Löschel, J. Pei, R. Wang, B. Sturm, W. Buchholz, und Z. Zhao, „The Demand for Global and Local Environmental Protection: Experimental Evidence from Climate Change Mitigation in Beijing“, *Land Economics*, Bd. 97, Nr. 1, S. 137–154, Feb. 2021, doi: 10.3368/le.97.1.061219-0076R1.
- [130] F. Bauer u. a., „The Market Ramp-Up of Renewable Hydrogen and its Derivatives – the Role of H₂Global“, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wirtschaftstheorie.rw.fau.de/files/2023/06/The-Market-Ramp-Up-of-Renewable-Hydrogen-and-its-Derivatives-the-Role-of-H2Global.pdf>.
- [131] Monopolkommission, „Energie 2015: Ein wettbewerbliches Marktdesign für die Energiewende“, Sondergutachten der Monopolkommission gemäß § 62 Abs. 1 EnWG 71, 2015. doi: 10.5771/9783845273358-30.
- [132] Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), „An embargo of russian gas and security of supply in Europe“, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2015/12/2014-09__An_Embargo_of_Russian_Gas_and_Security_of_Supply_in_Europe_0610.pdf.
- [133] B. Breitschopf u. a., „Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten: Exportländer“, HYPAT Working Paper 02/2022, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT_Working_Paper_02-2022_Import_Wasserstoff_und_Derivate_Exportlaender.pdf.
- [134] F. Staiß u. a., „Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse“, Leopoldina, acatech, Akademieunion, München, Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/transporoptionen-wasserstoff-2030>.
- [135] K. Fletcher u. a., „Germany's Foreign Direct Investment in Times of Geopolitical Fragmentation“, International Monetary Fund, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://>

www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2024/06/28/Germanys-Foreign-Direct-Investment-in-Times-of-Geopolitical-Fragmentation-550809.

[136] German Trade & Invest (GTAI), „Welche Länder sind Teil der neuen Seidenstraße?“ Zugegriffen: 5. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gtai.de/de/trade/china/specials/welche-laender-sind-teil-der-neuen-seidenstrasse--624812>.

[137] Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), „SIPRI Arms Transfers Database“. 2023. Zugegriffen: 5. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sipri.org/databases/armstransfers>

[138] M. O. Jackson und S. Nei, „Networks of military alliances, wars, and international trade“, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, Bd. 112, Nr. 50, S. 15277–15284, Dez. 2015, doi: 10.1073/pnas.1520970112.

[139] H. Farrell und A. L. Newman, „Weaponized Interdependence: How Global Economic Networks Shape State Coercion“, *International Security*, Bd. 44, Nr. 1, S. 42–79, Juli 2019, doi: 10.1162/isec_a_00351.

[140] H. Farrell und A. Newman, „The New Economic Security State“, *Foreign Affairs*, Bd. 102, Nr. 6, 19. Oktober 2023. Zugegriffen: 8. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.foreignaffairs.com/united-states/economic-security-state-farrell-newman>

[141] H. Farrell und A. Newman, *Underground empire: How America weaponized the world economy*. London: Allen Lane, 2023.

[142] V. Grimm, C. Schmucker, und G. B. Wolff, „Mercosur-Abkommen – Mehr Handel wagen“, *Cicero*, 15. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cicero.de/wirtschaft/mercosur-abkommen-mehr-handel-wagen>.

[143] Handelsblatt, „Freihandel: Woran das Handelsabkommen Ceta nun doch scheitern könnte“, 8. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/international/freihandel-woran-das-handelsabkommen-ceta-nun-doch-scheitern-koennte/100027899.html>.

[144] Süddeutsche, „EU-Handelsabkommen mit Australien gescheitert: Was eine entscheidende Rolle spielte“, 30. Oktober 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/eu-australien-handelsabkommen-scheitern-gruende-1.6295899>.

[145] V. Grimm und C. Von Rüden, „Die Krise bekämpfen, das Wirtschaftsmodell neu justieren“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 102, Nr. 12, S. 922–928, Jan. 2023, doi: 10.1007/s10273-022-3338-6.

[146] Bundesnetzagentur (BNetzA) und Bundeskartellamt (BKartA), „Monitoringbericht 2023“, Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.bundesnetz->

agentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2023.pdf.

[147] Bundesnetzagentur (BNetzA), „Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze 2022“, Berichte der Verteilernetzbetreiber gem. § 14 Abs. 2 i. V. m. §14 d EnWG, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/ZustandAusbauVerteilernetze2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

[148] „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dena.de/infocenter/dena-leitstudie-aufbruch-klimaneutralitaet-1/>.

[149] Fraunhofer ISI, consentec, ifeu, und TU Berlin, „Langfristszenarien – Szenario Explorer Stromnetze“. Zugegriffen: 10. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/szenario-explorer/stromnetze.php>.

[150] ef.Ruhr und Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), „Abschätzung der Netzausbaukosten und die resultierenden Netzentgelte für Baden-Württemberg und Deutschland zum Jahr 2045“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2024/04/2024_04_Abschlussbericht_Netzentgelte_BW_DE.pdf.

[151] FNB Gas, „Gemeinsamer Antrag für das Wasserstoff-Kernnetz“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Wasserstoff/Antrag_FNB.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

[152] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Güterverkehr zwischen Infrastrukturanforderungen und Dekarbonisierung“, in *Frühjahrs-Gutachten 2024*, Wiesbaden, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/fg2024/FG2024_Gesamtausgabe.pdf.

[153] A. Ockenfels, „Optionen und Herausforderungen für ein neues Strommarktdesign in der Krise“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 102, Nr. 10, S. 766–769, Okt. 2022, doi: 10.1007/s10273-022-3288-z.

[154] C. Maurer, I. Schlecht, und L. Hirth, „The Greek market design proposal would be the end of electricity markets as we know them“, *euractiv*, 28. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.euractiv.com/section/electricity/opinion/the-greek-market-design-proposal-would-be-the-end-of-electricity-markets-as-we-know-them/>.

[155] V. Grimm und A. Ockenfels, „Ist der Strommarkt noch zu retten?“, *FAZ*, 9. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/mehr-wirtschaft/ist-der-strommarkt-noch-zu-retten-110033889.html>.

[156] M. Bichler u. a., „Der deutsche Strommarkt braucht lokale Preise“, *FAZ*, 10. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-nachhaltigkeit/der-deutsche-strommarkt-braucht-lokale-preise-19845012.html>.

- [157] J. Haucap u. a., „Strommarktdesign 2030: Die Förderung der erneuerbaren Energien wirksam und effizient gestalten (Impuls)“, Leopoldina, acatech, Akademieunion, Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme/strommarktdesign-2030>
- [158] V. Grimm, B. Rückel, C. Sölch, und G. Zöttl, „Regionally differentiated network fees to affect incentives for generation investment“, *Energy*, Bd. 177, S. 487–502, Juni 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.035.
- [159] V. Grimm, B. Rückel, C. Sölch, und G. Zöttl, „The impact of market design on transmission and generation investment in electricity markets“, *Energy Economics*, Bd. 93, S. 104934, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.eneco.2020.104934.
- [160] M. Ambrosius, V. Grimm, T. Kleinert, F. Liers, M. Schmidt, und G. Zöttl, „Endogenous price zones and investment incentives in electricity markets: An application of multilevel optimization with graph partitioning“, *Energy Economics*, Bd. 92, S. 104879, Okt. 2020, doi: 10.1016/j.eneco.2020.104879.
- [161] Deutscher Bundestag, „Regierung zur Umsetzungsstand der Kraftwerksstrategie“. Zugegriffen: 20. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1009174>.
- [162] A. Eicke, L. Hirth, und J. Mühlenpfordt, „Mehrwert dezentraler Flexibilität“, Im Auftrag des Verbands der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI e.V.), 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://neon.energy/Neon-Mehrwert-Flex.pdf>.
- [163] Nationaler Wasserstoffrat (NWR), „Wasserstoffhochlauf in Gefahr – Sofortmaßnahmen dringend erforderlich“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-06-21_NWR-Stellungnahme_H2-Hochlauf_in_Gefahr.pdf.
- [164] J. Kopp, M. Moritz, H. Scharf, und J. Schmidt, „Strukturwandel in der Gaswirtschaft – Was bedeutet die Entwicklung der Gas- und Wasserstoffnachfrage für die zukünftige Infrastruktur?: Eine Metaanalyse bestehender Energiesystemstudien“, *Z Energiewirtschaft*, Dez. 2022, doi: 10.1007/s12398-022-00335-2.
- [165] 50Hertz Transmission, Amprion, Tennet TSO, und TransnetBW, „Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045, Version 2025“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2024-07/Szenariorahmenentwurf_NEP2037_2025_1.pdf.
- [166] Fraunhofer IEE, „The limitations of hydrogen blending in the european gas grid“, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/358187483_THE_LIMITATIONS_OF_HYDROGEN_BLENDING_IN_THE_EUROPEAN_GAS_GRID_A_study_on_the_use_limitations_and_cost_of_hydrogen_blending_in_the_European_gas_grid_at_the_transport_and_distribution_level.

- [167] ifeu, „Analyse der Treibhausgasintensitäten von LNG-Importen nach Deutschland“, Berlin, Studie im Auftrag der Wissenschaftsplattform Klimaschutz, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Publikationen/Ressourcen/WPKS-Studie-CO2Bilanz_Analyse_der_Treibhausgasintensit%C3%A4ten_LNG.pdf.
- [168] B. Shirizadeh u. a., „The impact of methane leakage on the role of natural gas in the European energy transition“, *Nat Commun*, Bd. 14, Nr. 1, S. 5756, Sep. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-41527-9.
- [169] Leopoldina, „Schlüsselemente des Kohlenstoffmanagements“, Ad-hoc-Stellungnahme, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2024_Leopoldina_Ad-hoc-Stellungnahme_Kohlenstoffmanagement.pdf.
- [170] J. Pfeiffer u. a., „Kohlenstoffmanagement integriert denken: Anforderungen an eine Gesamtstrategie aus CCS, CCU und CDR“, Leopoldina, acatech, Akademieunion, Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2024_ESYS_Impuls_Kohlenstoffmanagement.pdf.
- [171] Bundesregierung, „Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkte-der-bundesregierung-fuer-eine-carbon-management-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- [172] Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose, „Gemeinschaftsdiagnose 2-2024“, DIW Berlin, ifo Institut, Kiel Institut für Weltwirtschaft, Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle, RWI – Leibniz Institut für Wirtschaftsforschung, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://gemeinschaftsdiagnose.de/wp-content/uploads/2024/09/IfW_Kiel_GD_2_2024_unkorrigiert.pdf.
- [173] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), *Frühjahrs-Gutachten 2024*. Wiesbaden, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/fg2024/FG2024_Gesamtausgabe.pdf.
- [174] V. Grimm, T. Kroeger, und C. Ochsner, „Wege aus der Wachstumsschwäche“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 2024, Nr. 3, S. 180–186, 2024.
- [175] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Potenzialwachstum durch Investitionen stärken“, in *Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren*, in Jahresgutachten 2023/24. , Wiesbaden, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf.
- [176] L. Wößmann, „Efficiency and equity of European education and training policies“, *Int Tax Public Finance*, Bd. 15, Nr. 2, S. 199–230, Apr. 2008, doi: 10.1007/s10797-008-9064-1.

- [177] M. Schlotter und L. Wößmann, „Frühkindliche Bildung und spätere kognitive und nichtkognitive Fähigkeiten: Deutsche und internationale Evidenz“, *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung*, Bd. 79, Nr. 3, S. 99–120, 2010, doi: 10.3790/vjh.79.3.99.
- [178] C. K. Spieß, „Und täglich grüßt das Murmeltier: Die frühe Bildung muss endlich stärker in den Fokus rücken!“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 2023, Nr. 4, S. 238–241, 2023.
- [179] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Fachkräftesicherung: Handlungsoptionen bei Weiterbildung und Erwerbsmigration“, in *Energiekrise solidarisch bewältigen, neue Realität gestalten*, in Jahresgutachten 2022/23. , Wiesbaden, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202223/JG202223_Gesamtausgabe.pdf.
- [180] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), *Den Strukturwandel meistern*. in Jahresgutachten 2019/20. Wiesbaden, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg201920/JG201920_Gesamtausgabe.pdf.
- [181] C. Fuest, „Warum die Ampel eine große Reform der Unternehmensteuer angehen sollte“, *ifo Standpunkt*, Nr. 245, 2023, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2023/ifo-standpunkt/warum-die-ampel-eine-grosse-reform-der-unternehmensteuer-angehen>.
- [182] L. P. Feld, C. Fuest, J. Haucap, H. Schweitzer, V. Wieland, und B. U. Wigger, „Wirtschafts- und Industriestandort Deutschland in Gefahr? Was zu tun ist und was man unterlassen sollte“, Stiftung Marktwirtschaft, Berlin, Kronberger Kreis, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.stiftung-marktwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/KK-Studien/KK-Studie-71_2023_11_09_web.pdf.
- [183] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Kapitalmarkt in Deutschland und der EU: Potenziale besser nutzen“, in *Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren*, in Jahresgutachten 2023/24. , Wiesbaden, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf.
- [184] G. Felbermayr und M. Braml, *Der Freihandel hat fertig: Wie die neue Welt(un)ordnung unseren Wohlstand gefährdet*, 1. Auflage. Wien: Amalthea Signum, 2024.
- [185] Germany Trade & Invest (GTAI), „Investitionen in lokale Produktion von Fotovoltaik steigen“. Zugegriffen: 18. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gtai.de/de/trade/indien/branchen/investitionen-in-lokale-produktion-von-fotovoltaik-steigen-736576>.
- [186] heise online, „Wie Indien aus eigener Kraft eine Solar-Industrie aufbauen will“. Zugegriffen: 18. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/hintergrund/Wie-Indien-aus-eigener-Kraft-eine-Solar-Industrie-aufbauen-will-8991218.html>.

[187] IWR, „Milliarden-Investitionen: Solarkonzern First Solar steigert Produktionskapazität in den USA auf 11.000 MW jährlich“. Zugegriffen: 18. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iwr.de/news.php?id=38848>.

[188] European Commission, *Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 (Text with EEA relevance)*, Bd. 198. 2020. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>.

[189] European Commission, *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2486 of 27 June 2023 supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to the sustainable use and protection of water and marine resources, to the transition to a circular economy, to pollution prevention and control, or to the protection and restoration of biodiversity and ecosystems and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives and amending Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2178 as regards specific public disclosures for those economic activities*. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2486/oj/eng.

[190] European Commission, *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/2485 of 27 June 2023 amending Delegated Regulation (EU) 2021/2139 establishing additional technical screening criteria for determining the conditions under which certain economic activities qualify as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether those activities cause no significant harm to any of the other environmental objectives*. 2023. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2023/2485/oj/eng.

[191] European Commission, *Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 of 4 June 2021 supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives (Text with EEA relevance)*, Bd. 442. 2021. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/oj/eng.

[192] European Commission, *Commission Staff Working Document Accompanying the document Commission Delegated Regulation (EU) supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity qualifies as contributing substantially to the sustainable use and protection of water and marine resources, to the transition to a circular economy, to pollution prevention and control or to the protection and restoration of biodiversity and ecosystems and for determining whether that economic activity causes no significant harm to any of the other environmental objectives and amending Delegated Regulation (EU) 2021/2178 as regards specific public disclosures for those economic activities and the Commission Delegated Regulation (EU) amending Delega-*

ted Regulation (EU) 2021/2139 by establishing additional technical screening criteria for determining the conditions under which certain economic activities qualify as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether those activities cause no significant harm to any of the other environmental objectives. 2023. Zugegriffen: 16. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023SC0239>.

[193] euractiv, „EU-Taxonomie: Atomkraft und Gas sollen offiziell ‚grün‘ werden“, 3. Februar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/eu-taxonomie-atomkraft-und-gas-sollen-offiziell-gruen-werden/>.

[194] Handelsblatt, „Europaparlament beschließt Ökosiegel für Gas und Atomkraft – Erleichterung in Energiebranche“, 6. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/international/eu-taxonomie-europaparlament-beschliesst-oekosiegel-fuer-gas-und-atomkraft-erleichterung-in-energiebranche/28483670.html>.

[195] Handelsblatt, „Soziale Taxonomie: Rüstungsindustrie fürchtet um ihre Zukunft“, 10. Februar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/international/finanzierungsregeln-subjektive-vorstellungen-von-sozialer-gerechtigkeit-eu-kommission-plant-nun-auch-soziale-taxonomie/28054210.html>.

[196] Table.Media, „Green Deal: Was die EU zur sozialen Taxonomie plant“, 28. Mai 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://table.media/esg/analyse/green-deal-was-die-eu-zur-sozialen-taxonomie-plant/>.

[197] Sustainable Banking and Finance Network (SBFN), „SBFN-Toolkit: Sustainable Finance Taxonomies“, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sbfnetwork.org/wp-content/uploads/2024/10/SBFN-Toolkit_Sustainable-Finance-Taxonomies.pdf.

[198] V. Grimm, C. Groß, T. Marxsen, und M. Schwarz, „Folgen der Energiekrise: Wie viel Haushalte für Heizung/Warmwasser und Strom zahlen“, Sachverständigenrat für Verbraucherfragen (SVRV), Berlin, Veröffentlichungen des Sachverständigenrats für Verbraucherfragen, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://svr-verbraucherfragen.de/publication/SVRV-Policy-Brief-Folgen-der-Energiekrise.pdf>

[199] V. Grimm, C. Groß, T. Marxsen, und M. Schwarz, „Energiekrise belastet Haushalte“, *Wirtschaftsdienst*, Bd. 2023, Nr. 11, S. 754–761, 2023.

[200] Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (SVR), „Klimaschutz als industriepolitische Chance“, in *Corona-Krise gemeinsam bewältigen, Resilienz und Wachstum stärken*, in Jahresgutachten 2020/21. , Wiesbaden, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/file-admin/dateiablage/gutachten/jg202021/JG202021_Gesamtausgabe.pdf.

[201] C. Groß, V. Grimm, und G. G. Wagner, „Eine faire CO₂-Bepreisung macht es Verbraucher*innen leicht, sich klimafreundlich zu entscheiden“, Sachverständigenrat für Verbraucherfragen (SVRV), Berlin, Veröffentlichungen des Sachverständigenrats für Verbraucherfragen, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wirtschaftstheorie.rw.fau.de/files/2023/10/2022_SVRV_PB_CO2-Bepreisung.pdf.

- [202] B. Knopf und N. Illenseer, „Die Finanzierung der Transformation: Klimafonds, Klimageld und Kernhaushalt“, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_Die_Finanzierung_der_Transformation.pdf.
- [203] V. Grimm, C. Groß, und L. Specht-Riemenschneider, „Haushaltskrise: Wo bitte bleibt das Klimageld?“, *Süddeutsche.de*, 18. Dezember 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/bundeshaushalt-klimageld-veronika-grimm-1.6321295>.
- [204] Bundesnetzagentur (BNetzA), „Netze. Effizient. Sicher. Transformiert“, Eckpunktepapier, 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Aktuelles_enwg/GBK/Eckpktpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- [205] O. Ruhnau und J. Schiele, „Flexible green hydrogen: The effect of relaxing simultaneity requirements on project design, economics, and power sector emissions“, *Energy Policy*, Bd. 182, S. 113763, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.enpol.2023.113763.
- [206] Umweltbundesamt, „Umweltschädliche Subventionen in Deutschland: Aktualisierte Ausgabe 2021“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://stories.umweltbundesamt.de/system/files/document/143-2021_umweltschaedliche_subventionen_0.pdf.
- [207] United Nations, „Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention)“, Aarhus, 1998. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/DAM/env/pp/documents/cep43e.pdf>
- [208] *Directive 2003/35/EC of the European Parliament and of the Council of 26 May 2003. providing for public participation in respect of the drawing up of certain plans and programmes relating to the environment and amending with regard to public participation and access to justice Council Directives 85/337/EEC and 96/61/EC – Statement by the Commission*, Bd. 156. 2003. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/35/oj/eng>.
- [209] *Directive 2003/4/EC of the European Parliament and of the Council of 28 January 2003 on public access to environmental information and repealing Council Directive 90/313/EEC*, Bd. 041. 2003. Zugegriffen: 15. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/4/oj/eng>.
- [210] „Armutgefährdung senken, Erwerbsanreize stärken: Reformen im Steuer-Transfer-System“, in *Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren*, in Jahresgutachten 2023/24. , Wiesbaden, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202324/JG202324_Gesamtausgabe.pdf.

Autorin und Autoren

Prof. Dr. Veronika Grimm

Veronika Grimm ist Professorin an der Technischen Universität Nürnberg und leitet dort das Energy Systems and Market Design Lab. Seit 2020 ist sie Mitglied des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Darüber hinaus ist sie in zahlreichen Gremien und Beiräten aktiv, unter anderem im Nationalen Wasserstoffrat der Bundesregierung, in der Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring am Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Sie ist Mitglied im Aufsichtsrat der Siemens Energy AG und Vorstand des Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B). Veronika Grimms Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Energiemärkte und Energiemarktmodellierung, Verhaltensökonomie, soziale Netzwerke sowie Auktionen und Marktdesign.

Dr. Christian Sölch

Christian Sölch arbeitet seit Juli 2024 als Post-Doc im Energy Systems and Market Design Lab an der Technischen Universität Nürnberg (UTN), wo er in verschiedenen Projekten und Gremien, unter anderem als Mitarbeiter von Veronika Grimm in der Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring, tätig ist. Davor promovierte er am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Wirtschaftstheorie, an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg und leitete seit 2019 als Post-Doc den Forschungsbereich „Energiemarktdesign und -politik“. Er studierte Wirtschaftsmathematik an der FAU Erlangen-Nürnberg und an der Universidad Técnica Federico Santa María in Valparaíso, Chile.

Johannes Wirth

Johannes Wirth war von Mai 2023 bis Februar 2024 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftstheorie an der FAU Erlangen-Nürnberg im Forschungsbereich Energiemärkte und Sektorkopplung. Seit März 2024 ist er Teil des Energy Systems and Market Design Lab an der Technischen Hochschule Nürnberg. Zu seinen Forschungsinteressen gehören der Hochlauf von regionalen und globalen Wasserstoffmärkten sowie die Kopplung von Wasserstoff- und Strommärkten. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der FAU Erlangen-Nürnberg.

Studie im Auftrag der Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.

Die in dieser Veröffentlichung geäußerten Meinungen sind die der Autorin und der Autoren.

Kontakt

Dr. Sarah Al Doyaili-Wangler
Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.
Klingelhöferstraße 23, 10785 Berlin
E-Mail: sarah.al.doyaili-wangler@kas.de

Prof. Dr. Veronika Grimm
Energy Systems and Market Design Lab
Technische Universität Nürnberg (UTN)
Dr.-Luise-Herzberg-Straße 4, 90461 Nürnberg
Telefon: +49 911 9274-1620, E-Mail: market-design@utn.de

Danksagungen

Die Autoren danken Benedikt Höhner für die hervorragende Unterstützung bei der Erstellung der Studie.

Für wertvolle Hinweise und Diskussion danken die Autoren Dr. Martin Braml, Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Dr. Jonas Egerer, Prof. Dr. Dr. h.c. Lars P. Feld, Dr. Jan Gniza, Katrin Harig, Lukas Lang, Prof. Dr. Andreas Löschel, Dr. Christian Ochsner, Prof. Dr. Axel Ockenfels, Prof. Dr. Lars-Hendrik Röller, Timo Schneider, Dennis Strempler, Prof. Dr. Gregor Zöttl und Dr. Christopher Zuber

Für etwaige Ungenauigkeiten oder Versäumnisse sind ausschließlich die Autorin und die Autoren verantwortlich.

Impressum

Herausgeberin: Konrad-Adenauer-Stiftung e. V., 2024, Berlin

Gestaltung und Satz: KALUZA + SCHMID Studio GmbH

Hergestellt mit finanzieller Unterstützung der Bundesrepublik Deutschland.

Diese Veröffentlichung der Konrad-Adenauer-Stiftung e. V. dient ausschließlich der Information. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder -helfenden zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.



Der Text dieser Publikation ist lizenziert unter den Bedingungen von „Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 international“, CC BY-SA 4.0 (abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>).

ISBN: 978-3-98574-258-5

