

GWS Research Report 2024/1

Auswirkungen der veränderten Klimaschutzbemühungen der vergangenen Jahre in Deutschland und Europa auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Deutschland

Kurzbericht im Rahmen eines
Forschungsauftrags des
Bundesministeriums für Wirtschaft und
Klimaschutz

Dr. Christian Lutz (GWS)

Lisa Becker (GWS)

Dr. Andreas Kemmler (Prognos)

Impressum

Autor:innen

Dr. Christian Lutz

Tel.: +49 (0) 541 40933-120, E-Mail: lutz@gws-os.com

Lisa Becker

Tel.: +49 (0) 541 40933-287, E-Mail: becker@gws-os.com

Dr. Andreas Kemmler (Prognos)

Tel: +41 (0) 61 3273-397, E-Mail: andreas.kemmler@prognos.com

Titel

Auswirkungen der veränderten Klimaschutzbemühungen der vergangenen Jahre in Deutschland und Europa auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Deutschland – Kurzbericht im Rahmen eines Forschungsauftrags des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Veröffentlichungsdatum

© GWS mbH Osnabrück, März 2024

Haftungsausschluss

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

Förderhinweis

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Forschungsprojekts „Auswirkungen des Klimawandels, des Klimaschutzes und der Klimaanpassung auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Deutschland“ (Projektnummer 05/22) erarbeitet.

Herausgeber der GWS Research Report Series

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 2196-4262

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung, Ziele und Struktur des Forschungsauftrags	1
2	Modellierung: Kurzüberblick	3
2.1	Modellverbund	3
2.2	Gesamtwirtschaftliches Modell PANTA RHEI	4
3	Gesamtwirtschaftliche Effekte der Klimaschutzmaßnahmen der Bundesregierung	7
3.1	Im Klimaschutzszenario enthaltene Maßnahmen	7
3.2	Effekte des Klimaschutzes auf die Volkswirtschaft	9
3.2.1	Klimaschutzszenario vs. Referenz	9
3.2.2	Sensitivitäten	14
4	Einordnung	16
5	Literatur	19

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CGE	Computable General Equilibrium
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DSGE	Dynamic Stochastic General Equilibrium
EE	Erneuerbare Energien
EU-ETS	Emissionshandelssystem der Europäischen Union
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
H₂	Wasserstoff
IWF	Internationaler Währungsfonds
kWh	Kilowattstunde
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PtX	Power-to-X
UBA	Umweltbundesamt
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen

1 Problemstellung, Ziele und Struktur des Forschungsauftrags

Deutschland hat sich verpflichtet, die Emissionen von Treibhausgasen (THG) bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren. Im Jahr 2022 lagen die THG-Emissionen um 40,4 % unter dem Niveau von 1990 (UBA 2024). Für das Jahr 2023 wird aufgrund des niedrigeren Energieverbrauchs angesichts erhöhter Energiekosten und Unsicherheit ein deutlicher Rückgang der Emissionen erwartet. Die AG Energiebilanzen (AGEB 2023) schätzt, dass die energiebedingten CO₂-Emissionen, die den größten Teil der deutschen THG-Emissionen ausmachen, im Jahr 2023 um über 10 % gegenüber dem Vorjahr gesunken sind.

Um die THG-Emissionen bis 2030 weiter zielkonform zu senken, sind in den kommenden Jahren deutliche Änderungen in der Stromerzeugung, der Energieinfrastruktur, der Industrieproduktion, dem Verkehr und dem Gebäudesektor nötig. Dazu hat die Bundesregierung zahlreiche Maßnahmen beschlossen. Auf EU-Ebene werden sie durch Maßnahmen zum Green Deal ergänzt. Für die Bereiche Energiewirtschaft und energieintensive Industrie ist das europäische Emissionshandelssystem EU-ETS das zentrale Steuerungsinstrument.

Neben der technischen Umsetzung der Transformation und den rechtlichen und planerischen Voraussetzungen werden ihre ökonomischen Effekte auch vor dem Hintergrund der aktuellen Rezession und der mit dem russischen Angriff auf die Ukraine verbundenen Verknappungen im Energieangebot teils drastisch gestiegenen Energiepreisen kontrovers diskutiert. Dabei ist unbestritten, dass umfangreiche Investitionen für die Transformation notwendig sind. Weniger eindeutig sind die Analysen bei der Frage, ob die Investitionen zusätzlich sind oder zumindest einen Teil anderweitig geplanter Investitionen verdrängen, ob der Kapitalstock überdurchschnittlich entwertet wird und ob die Effekte gesamtwirtschaftlich positiv oder negativ sind.

Aufbauend auf Berechnungen mit technologisch fundierten Bottom-up-Modellen der Prognos AG werden in der folgenden Kurzanalyse die sozio-ökonomischen Effekte der von der Bundesregierung angestoßenen Klimaschutzmaßnahmen im gesamtwirtschaftlichen Modell PANTA RHEI analysiert. Es bildet die Entwicklung der deutschen Volkswirtschaft auf Basis von Daten der amtlichen Statistik nach Wirtschaftsbereichen ab. Verhaltensgleichungen werden ökonometrisch geschätzt, sodass empirisch beobachtete Zusammenhänge der Vergangenheit in die Zukunft fortgeschrieben werden. Dabei wird zunächst ein Referenzszenario entwickelt, das den Politikstand in Bezug auf Klimaschutz Ende des Jahres 2020 widerspiegelt. Ein zweites Szenario enthält zusätzlich politische Maßnahmen, die von der derzeitigen Bundesregierung umgesetzt wurden. Basis dafür sind die Instrumente, die dem Projektionsbericht 2024 der Bundesregierung zugrunde liegen. Auf EU-Ebene wird der Anstieg des CO₂-Preises im EU-ETS gegenüber den Erwartungen vor Abschluss des Green Deals als zentrales Ergebnis im Klimaschutzszenario berücksichtigt. Auf nationaler Ebene hat die Bundesregierung keine Erhöhung der CO₂-Preise im BEHG beschlossen. In diesem Bereich wird der zusätzliche

Klimaschutz durch Ordnungsrecht und Förderung erreicht. Berücksichtigt werden die Instrumente des Mit-Maßnahmen-Szenarios (MMS) des Projektionsberichts 2024 (noch unveröffentlicht). Dieses Szenario umfasst alle bis zum 31. Juli 2023 umgesetzten oder angenommenen Instrumente und Maßnahmen.

Die beiden Szenarien unterscheiden sich vor allem durch zusätzliche Investitionen in Klimaschutz, geänderte Energienachfrage, geänderte Strompreise und geänderte Importe fossiler Energieträger, die in den Bottom-up-Modellen der Prognose bestimmt werden. Der Energieverbrauch wird durch weiterführende Energieeffizienzmaßnahmen um zusätzliche 6 % bis zum Jahr 2030 reduziert. Dabei sind die Änderung der Strompreise auf die geänderten CO₂-Preise im EU-ETS, den geänderten Stromerzeugungsmix sowie die geänderte Stromnachfrage zurückzuführen. Darüber hinaus gehen die Wirkungen der unterschiedlichen CO₂-Preise direkt in PANTA RHEI ein.

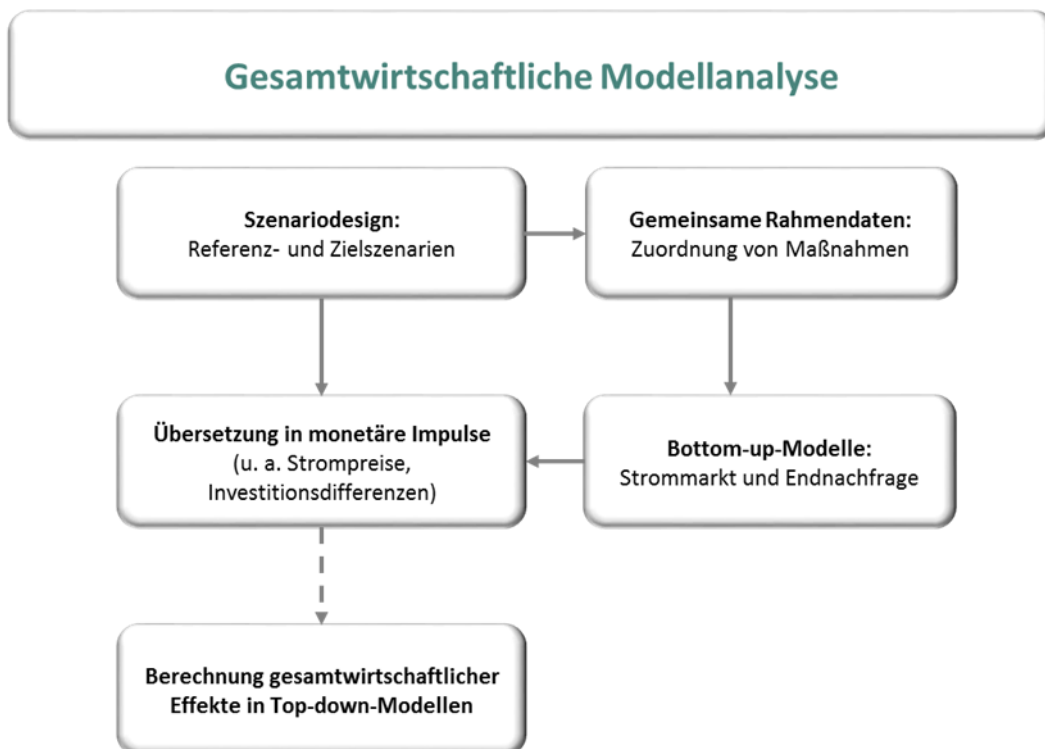
Um die strittigen Fragen einzugrenzen, werden neben dem Klimaschutzszenario zwei Sensitivitäten ausschließlich mit dem Modell PANTA RHEI gerechnet: Im Klimaschutzszenario wird angenommen, dass die Klimaschutzinvestitionen vollständig zusätzlich sind. Dass die größten Beschäftigungseffekte im Klimaschutzszenario in der aktuell kriselnden Bauwirtschaft auftreten, stützt diese Annahme. In der einen Sensitivität wird davon ausgegangen, dass die Investitionen vollständig andere Investitionen verdrängen, wobei die Verdrängung prozentual einheitlich über alle Wirtschaftszweige erfolgt. In der zweiten Sensitivität wird unterstellt, dass die Investitionen zusätzlich sind, sie aber anders als im Klimaschutzszenario keine Steigerungen der Energieeffizienz gegenüber der Referenz auslösen. Dies bedeutet, dass mit den neuen Investitionen und den höheren CO₂-Preisen kein energiesparender technischer Fortschritt verbunden ist. Der Endenergieverbrauch bleibt in diesem hypothetischen Szenario gegenüber der Referenz unverändert. Die CO₂-Emissionen der beiden Klimaschutzszenarien ohne Verdrängung unterscheiden sich daher auch.

2 Modellierung: Kurzüberblick

2.1 Modellverbund

Um volkswirtschaftliche Wirkungen auf BIP, Beschäftigung, Produktion, Preise und weitere Größen zu berechnen, werden die Ergebnisse aller zu betrachtenden Maßnahmen und unterschiedlichen Entwicklungen, die sich aus den Energiesystem-Bottom-up-Modellen der Prognos ergeben, in das gesamtwirtschaftliche Modell PANTA RHEI eingestellt. Bestandteile der Bottom-up-Modelle sind ein Strommarktmodell sowie Endnachfragemodelle für die Sektoren Industrie, GHD, Verkehr und Gebäude. Darin werden Investitionsunterschiede, die Entwicklung der Energienachfrage und die Entwicklung auf dem Strommarkt inklusive der Strompreise nach unterschiedlichen Abnehmergruppen ermittelt. Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Elemente der gesamtwirtschaftlichen Modellanalyse. Es handelt sich um eine „weiche“ Verknüpfung durch den Austausch von Daten über ausgewählte Schnittstellen (soft link). Die Ergebnisse der Energiesystemmodelle (bottom-up) gehen dabei als Input in das gesamtwirtschaftliche Modell (top-down) ein (vgl. Abschnitt 3.1).

Abbildung 1: Ablauf einer gesamtwirtschaftlichen Modellanalyse



Quelle: Lutz et al. (2018)

Die verwendeten Modelle unterscheiden sich vereinfacht gesagt dadurch, dass der Fokus im Fall eines Bottom-up-Modells auf einem einzelnen Sektor (z. B. der Elektrizitätswirtschaft, der Energienachfrage der privaten Haushalte oder dem Verkehr) liegt, welcher dann mit der jeweiligen (Markt-)Logik detailliert abgebildet wird. In diesem Fall werden Rückkopplungen zur Gesamtwirtschaft nicht berücksichtigt. Im Fall eines gesamtwirtschaftlichen Modells stehen die Verknüpfung aller Sektoren oder Industrien und ihre

Rückkopplungen über die gesamtwirtschaftliche Entwicklung im Zentrum der Betrachtung.

2.2 Gesamtwirtschaftliches Modell PANTA RHEI

Das nationale Modell PANTA RHEI ist eine zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen erweiterte Version des Simulations- und Prognosemodells INFORGE (Becker et al. 2022). Dabei handelt es sich um ein makroökonomisches Modell, das den langfristigen intersektoralen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung mithilfe von Input-Output-Tabellen auf der Ebene von Produktionsbereichen und der Inlandsproduktberechnung auf der Ebene von Wirtschaftszweigen abbildet.

Grundsätzlich geht die Modellierung davon aus, dass in der Vergangenheit empirisch ermittelte Zusammenhänge und Größenordnungen der Vergangenheit auch in Zukunft gelten, Einflussfaktoren also ähnlich wirken wie in der Vergangenheit. Detaillierte technologische Veränderungen wie der Umbau der Stahlindustrie hin zu grünem Wasserstoff oder die Verlagerung der Autoproduktion vom Verbrenner zum Elektroauto, d. h. der intrasektorale Strukturwandel, werden nicht automatisch erfasst, da ein solcher Übergang nicht in den historischen Daten messbar ist. Für die Abbildung der intrasektoralen Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft müssen weitergehende Annahmen getroffen werden, was im weiteren Projektverlauf geplant ist, aber in dieser Kurzstudie nur für den Energieträgereinsatz erfolgt ist.

Das Modell INFORGE wird u. a. regelmäßig für Projektionen des Arbeitskräftebedarfs, der Branchenentwicklung und der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung eingesetzt (Zika et al. 2021, Zika et al. 2022, Zika et al. 2023). In PANTA RHEI werden die ökonomischen Zusammenhänge aus INFORGE um Energie- und Emissionsmodellierungen ergänzt und konsistent miteinander verknüpft, sodass Wechselwirkungen zwischen diesen Bereichen im Modell nachgezeichnet werden (Lutz et al. 2021).

Die historische Datenbasis stammt aus verschiedenen gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Daten der amtlichen Statistiken, vor allem den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen einschließlich der Input-Output-Rechnung. Die Energiebilanzen der AG Energiebilanzen (AGEB verschiedene Jahre) und die Emissionsdaten des UBA (2022, 2023) ergänzen die Datenbasis. Mit den historischen Zeitreihen der Jahre von 1991 bis an den aktuellen Rand werden alle Verhaltensparameter ökonometrisch geschätzt. Dies impliziert, dass die Akteur:innen nur myopische Vorstellungen haben und Entscheidungen gemäß in der Vergangenheit beobachteten Mustern treffen. Die Gewinnentwicklung der Branchen ist entscheidend von der Preissetzung auf Basis der Stückkosten der Branchen abhängig. Damit wird kein optimales Verhalten der aggregiert betrachteten Sektoren private Haushalte sowie Unternehmen nach verschiedenen Branchen angenommen, sodass sich die Märkte nicht in einem Gleichgewicht befinden. Das bedeutet nicht, dass gerade Unternehmen keine Gewinnmaximierung anstreben, aber anders als im mikroökonomischen Idealmodell fehlt ihnen die Information zu optimalen Entscheidungen, gerade auch bei langfristigen Investitionen. Vermehrte Klimaschutzinvestitionen im Klimaschutzszenario sind nicht allein Ausdruck erwarteter Gewinnsteigerung, sondern spiegeln auch die erwartete Durchsetzung langfristiger Klimaneutralität durch den Staat wider. Das Modell wird iterativ Jahr für Jahr gelöst und ist in der Regel bottom-up

aufgebaut; d. h., dass erst auf der Ebene von Wirtschafts- und Produktionsbereichen gerechnet und anschließend in den makroökonomischen Variablen aggregiert wird.

Ein grundlegender Unterschied zu berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodellen (CGE-Modellen) ist die Bestimmung des Produktionsoutputs, der nicht über eine (geschachtelte) Produktionsfunktion ermittelt wird. Durch die Multiplikation der Leontief-Inversen mit der Endnachfrage wird die Bruttoproduktion für jeden der 72 Wirtschaftszweige der Input-Output-Tabelle berechnet. Die einzelnen Komponenten der Endnachfrage werden auf Ebene der Wirtschaftszweige modelliert, indem sie mit Aktivitätsvariablen wie dem verfügbaren Einkommen, Produktions- oder Kapitalkoeffizienten und relativen Preisen in Beziehung gesetzt werden. Die Endnachfrage ist die Summe aus privatem Konsum, Staatskonsum, Investitionen für Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen sowie Exporten abzüglich Importen.

Die Bruttoanlageinvestitionen werden getrennt für Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen (insbesondere in Form von geistigem Eigentum) modelliert. Auf Ebene der Wirtschaftsbereiche werden sie in Abhängigkeit der jeweiligen Produktion geschätzt und für einzelne Wirtschaftsbereiche wird zusätzlich der Kapitalstock und ein Zeittrend als erklärende Größen einbezogen. Höhere Investitionen erhöhen unmittelbar die Nachfrage und damit das Bruttoinlandsprodukt. In den Folgejahren sind damit höhere Abschreibungen verbunden, welche die Kosten der Branchen erhöhen, die deshalb ihre Preise anheben. Im Klimaschutzszenario werden auf die modellendogen ermittelten Investitionen zusätzliche Klimaschutzinvestitionen aufgeschlagen. Steigt die Produktion nicht in gleichem Umfang wie die Investitionen, steigen in den Folgejahren die Stückkosten überdurchschnittlich, weil hohe Abschreibungen verbleiben. Die Kapitalproduktivität sinkt und die ohnehin getätigten Investitionen gehen entsprechend zurück, bis sie sich wieder mehr lohnen.

Die Zusatzinvestitionen in Klimaschutz werden als Differenzinvestitionen aus den Bottom-up-Modellen als Differenz zwischen Klimaschutzszenario und Referenzszenario ermittelt. Dabei wird berücksichtigt, dass im Klimaschutzszenario im Vergleich zum Referenzszenario höhere Investitionen für beispielweise E-Autos, Wärmepumpen oder CO₂-freie Industrieanlagen anfallen. Gleichzeitig wird berücksichtigt, dass die Investitionen in die (fossilen) Referenztechnologien (dem Auto mit Verbrennungsmotor, einer Gasheizung oder einer entsprechenden konventionellen Industrieanlage) im Klimaschutzszenario geringer ausfallen als im Referenzszenario.

Die teils höheren CO₂-Preise und Strompreise im Klimaschutzszenario wirken sich negativ auf die betroffenen Wirtschaftsbereiche und auch die privaten Haushalte aus, d. h. Produktion bzw. Konsum liegen dadurch niedriger als in der Referenz. Die höheren Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung fließen in den Staatshaushalt und werden nicht zurückgegeben. Sie dienen aber zur Finanzierung der höheren staatlichen Investitionen, wobei die Höhe der Differenzinvestitionen nicht von den CO₂-Einnahmen abhängt. Der Finanzierungssaldo des Staates nach VGR resultiert im Modell aus höheren Einnahmen, höheren auch staatlichen Investitionen auf der Ausgabenseite und einer verbesserten allgemeinen Wirtschaftslage, die wiederum zu höheren Einnahmen und niedrigeren Ausgaben des Staates führt.

Der Faktoreinsatz von Arbeit, Kapital und Energie wird auf der Ebene der Wirtschaftszweige ermittelt. Geänderte Investitionen und Preise ändern auf Ebene der Wirtschaftsbereiche die Bruttoproduktion und die Güterpreise, sodass auch die Arbeitsnachfrage reagiert. Die Arbeitsnachfrage je Wirtschaftsbereich nach den Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen wächst mit der Produktion und sinkt mit einem höheren bereichsspezifischen Lohnsatz in Relation zum Preis des Wirtschaftsbereichs. Der Lohnsatz wird zunächst gesamtwirtschaftlich in Abhängigkeit von Arbeitsproduktivität, der Entwicklung der Verbraucherpreise und der Erwerbslosenquote bestimmt. Anschließend werden Lohnentwicklungen nach Wirtschaftsbereichen als Funktion des gesamtwirtschaftlichen Lohnsatzes und bereichsspezifischer Entwicklungen fortgeschrieben. Unterschiedliche Qualifikationen werden nicht berücksichtigt. Die Löhne wiederum sind zentraler Bestandteil der verfügbaren Einkommen und damit des Konsums der privaten Haushalte. Der Energieeinsatz wird zumindest im produzierenden Gewerbe ebenfalls auf der Ebene der Wirtschaftsbereiche als Funktion der Bruttoproduktion und der Relation zwischen gewichtetem Energiepreis und dem Produktionspreis je Wirtschaftsbereich ermittelt. Höhere CO₂-Preise und geänderte Strompreise ändern entsprechend den Energieeinsatz pro Wirtschaftsbereich. Die Ergebnisse werden mit den Steigerungen der Energieeffizienz aus den Bottom-up-Modellen abgeglichen. Meist ergeben sich dort stärkere Zunahmen der Energieeffizienz top-down, weil neben CO₂-Preisen auch andere Klimaschutzmaßnahmen betrachtet werden. Die Differenzen werden als autonome Steigerung der Energieeffizienz in PANTA RHEI interpretiert und in der Modellierung des Klimaschutzenszenarios berücksichtigt. In Anlehnung an eine Produktionsfunktion reagieren somit Kapital-, Arbeits- und Energieeinsatz auf die Klimaschutzmaßnahmen.

Die Fortschreibung der strukturellen Änderungen zwischen den Wirtschaftszweigen erfolgt zum einen über Inputkoeffizienten, die jeweils den Anteil des Vorleistungseinsatzes einer Gütergruppe bei der Produktion eines Produktionsbereiches angeben. Die Veränderung der wichtigsten Inputkoeffizienten in konstanten Preisen wird in Schätzungen mittels eines Zeittrends erklärt, der u. a. den technologischen Fortschritt abbildet. Die Endnachfrage in der Input-Output-Tabelle ist mit der Inlandsproduktberechnung verbunden, deren strukturelle Veränderungen sich aufgrund von empirisch gemessenen Verhaltensänderungen entwickeln. Beispielsweise zeigt sich die Digitalisierung sowohl in den veränderten Einsatzverhältnissen von IT-Dienstleistungen bei den Produktionsbereichen als auch bei den Investitionen (anteilig mehr geistiges Eigentum) und den Konsumverwendungen privater Haushalte (mehr IT-Dienstleistungen, z. B. Streaming).

Die Koeffizienten der energetischen Vorleistungen werden mittels eines separaten Ansatzes in die Zukunft projiziert: Hierfür werden sie anhand der Energieverbräuche im Verhältnis zum preisbereinigten Produktionswert fortgeschrieben, um den Einfluss des Energieverbrauchs und des Energiemixes auf die Kostenstruktur der Unternehmen abzubilden. Sie unterscheiden sich zwischen Referenz- und Klimaschutzszenario. Alle übrigen preisbereinigten Koeffizienten sind in beiden Szenarien gleich. Absehbare technologische Änderungen können exogen eingestellt werden. So unterscheidet sich ein Elektroauto von einem Auto mit Verbrennungsmotor in der Vorleistungsstruktur vor allem durch höhere Batterieanteile und weniger Motoren- und Fahrzeugteile. Die Setzung entsprechender Annahmen ist im weiteren Projektverlauf geplant, aber in dieser Kurzstudie nur für den Energieträgereinsatz erfolgt.

3 Gesamtwirtschaftliche Effekte der Klimaschutzmaßnahmen der Bundesregierung

Zur Analyse werden vier Szenarien mit dem gesamtwirtschaftlichen Modell PANTA RHEI bis zum Jahr 2030 berechnet. Die Referenz basiert auf im Frühjahr 2023 vorliegenden Daten und schreibt die gesamtwirtschaftliche Entwicklung bis 2030 unter der Annahme fort, dass sich die Klimaschutzpolitik auf dem Stand Ende des Jahres 2020 befindet.

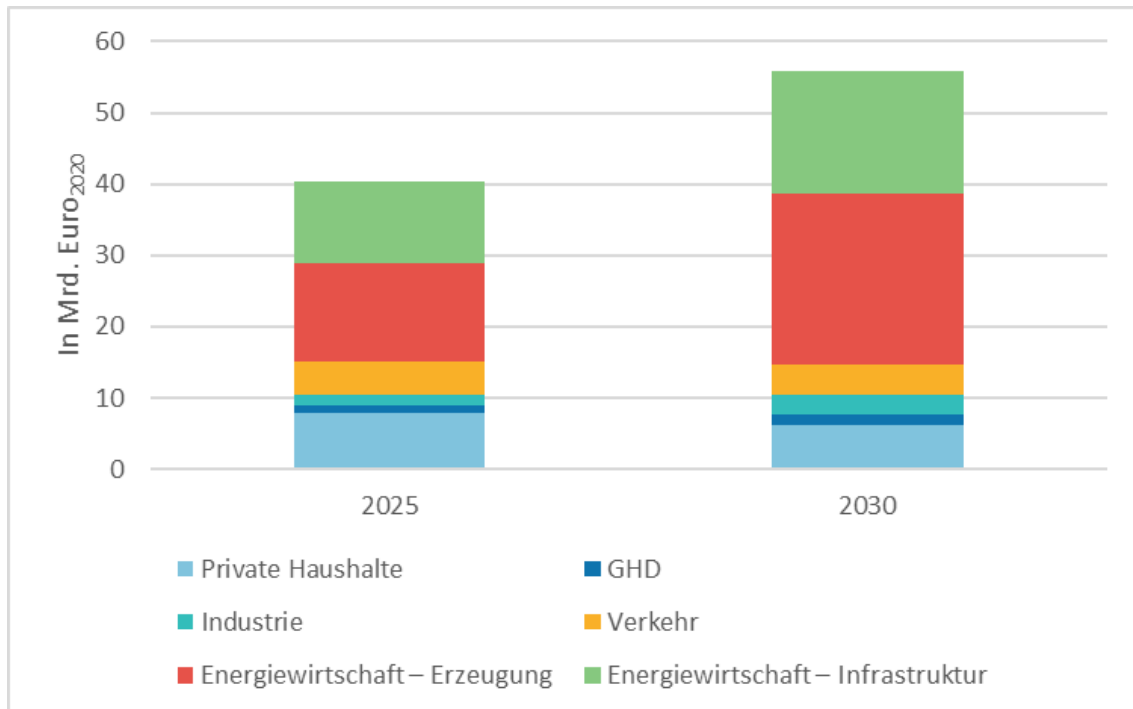
Dagegen enthält das Klimaschutzszenario klimapolitische Maßnahmen, die zwischen 2021 und Herbst 2023 umgesetzt wurden. Es wird angenommen, dass die Klimaschutzinvestitionen vollständig zusätzlich zu den bisher geplanten Investitionen erfolgen. Quelle für die enthaltenen Klimaschutzmaßnahmen ist die in der Bundesregierung abgestimmte Maßnahmenliste für das Mit-Maßnahmen-Szenario für den Projektionsbericht 2024. Berücksichtigt werden dabei bis zum 31. Juli 2023 umgesetzte oder angenommene Instrumente und Maßnahmen.

Eine Sensitivitätsrechnung „Klimaschutz mit Crowding-out“ unterstellt, dass die oben genannten Klimaschutzinvestitionen andere geplante Investitionen vollständig verdrängen.

Eine zweite Sensitivität baut auf dem Klimaschutzszenario auf. Im Vergleich zum reinen Klimaschutzszenario wird von Unwirksamkeit der Klimaschutzinvestitionen im Hinblick auf den Endenergieverbrauch ausgegangen. Die Endenergieverbräuche liegen in diesem fiktiven Szenario so hoch wie in der Referenz.

3.1 Im Klimaschutzszenario enthaltene Maßnahmen

Das Klimaschutzszenario unterscheidet sich vom Referenzszenario insbesondere durch höhere Investitionen. Abbildung 2 zeigt die jährlichen Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen, die im Klimaschutzszenario zusätzlich zu den Investitionen im Referenzszenario getätigt werden. Im Jahr 2025 liegen sie bei 40,3 Mrd. Euro₂₀₂₀, im Jahr 2030 bei 55,8 Mrd. Euro₂₀₂₀. Davon fließt jeweils der größte Teil in Erzeugungstechnologien erneuerbarer Energien (EE) der Energiewirtschaft, wie Windkraft- und Solaranlagen zur Stromerzeugung oder Elektrolyseuren zur Herstellung von grünem Wasserstoff. Mit dem höheren EE-Ausbau geht auch ein höherer Investitionsbedarf in die Infrastruktur der Energiewirtschaft einher: Insbesondere für die Verteilung (z. B. Strom-, H₂-, Fernwärmenetze) und Speicherung (z. B. Batterien) sieht das Klimaschutzszenario höhere Investitionen vor. Bei den privaten Haushalten und im GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) liegen die Investitionen im Klimaschutzszenario etwas höher, um vor allem Wärmeerzeugungsanlagen und die Sanierung bzw. Erneuerung der Gebäudehülle zu finanzieren. Im Verkehrsbereich wird der Schienenverkehr erweitert und stärker in Fahrzeuge mit alternativen Antrieben investiert, was auch einen stärkeren Ausbau der Ladinfrastruktur nach sich zieht. Nur ein kleiner Teil der zusätzlichen Investitionen wird im Industriebereich getätigt.

Abbildung 2: Zusätzliche jährliche Investitionen im Klimaschutzscenario gegenüber dem Referenzscenario

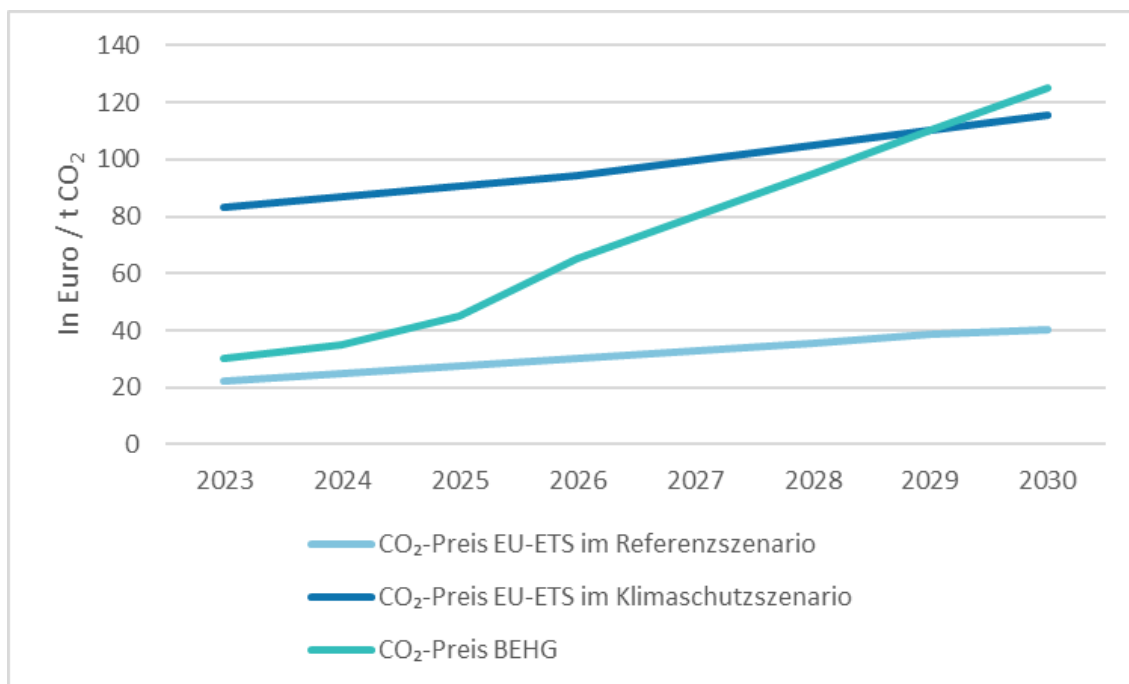
Quelle: Prognos, eigene Darstellung

Im Klimaschutzscenario wird ein höherer CO₂-Preis im EU-ETS angenommen als im Referenzscenario (Abbildung 3): Bis 2030 steigt er auf knapp 116 Euro / t CO₂ an, während er in der Referenzentwicklung bei rund 40 Euro / t CO₂ liegt. Der CO₂-Preis für das nationale BEHG, der bis zum Jahr 2026 festgelegt ist, verläuft in beiden Szenarien gleich: Er steigt zunächst leicht an, nach 2026 stärker und erreicht 2030 ein Niveau von 125 Euro / t CO₂. Die finalen Rechnungen erfolgten im November 2023, sodass die im Dezember mit Artikel 7 des Haushaltsfinanzierungsgesetzes 2024 beschlossene Rückkehr zum Preispfad der Vorgängerregierung (auf 45 Euro / t CO₂ im Jahr 2024 und Erhöhung auch im Jahr 2025) nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Eine Unterscheidung des CO₂-Preispfads im BEHG zwischen beiden Szenarien wurde nicht vorgenommen, weil die derzeitige Bundesregierung den Preis nicht über den Pfad der Vorgängerregierung bis zum Jahr 2026 angehoben hat. Danach dürfte der nationale Emissionshandel im geplanten EU-ETS 2 aufgehen, für den die EU-Kommission zunächst eine Deckelung auf 45 Euro/t vorsieht.

Die unterschiedlichen CO₂-Preise im EU-ETS haben auch Auswirkungen auf die Energiepreise: Die Strompreise in der Industrie beispielsweise liegen im Klimaschutzscenario stets höher als im Referenzscenario. In laufenden Preisen betrachtet ergibt sich für das Jahr 2030 eine Differenz für die energieintensive Industrie von knapp 2,2 ct/kWh – der Strompreis im Klimaschutzscenario liegt dann bei 9,2 ct/kWh gegenüber 7 ct/kWh im Referenzscenario. Die Strompreise für beide Szenarien, getrennt nach energieintensiver Industrie, nicht-energieintensiver Industrie, GHD und privaten Haushalten, sind im Strommarktmodell der Prognos AG ermittelt worden. Bei den Preisen von Heizöl und

Erdgas für Unternehmen im EU-ETS ergeben sich die Preisunterschiede durch die unterschiedlich hohen CO₂-Preise in den Szenarien.

Abbildung 3: Entwicklung der CO₂-Preise



Quelle: Prognos, eigene Darstellung

3.2 Effekte des Klimaschutzes auf die Volkswirtschaft

3.2.1 Klimaschutzszenario vs. Referenz

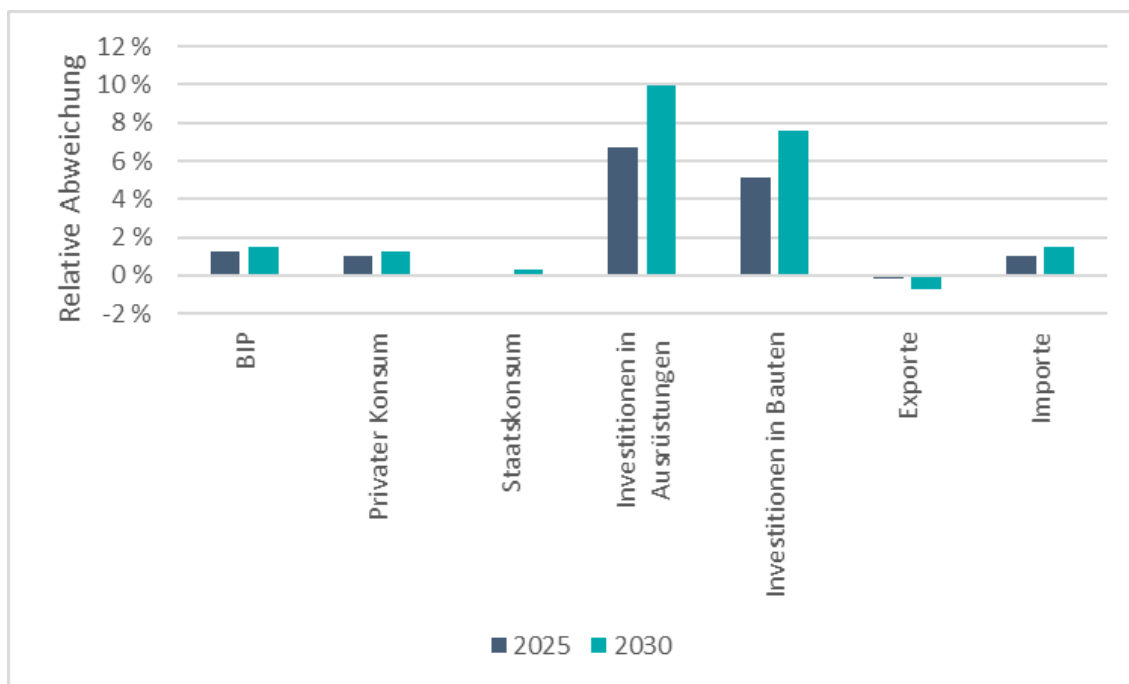
Modelltechnisch unterscheiden sich die Annahmen für ausgewählte Größen zwischen beiden Szenarien in PANTA RHEI ab dem Jahr 2022. Da viele Modellvariablen für dieses Jahr bereits historisch vorliegen, starten die eigentlichen Simulationen, in denen die Wirtschaftsentwicklung vollständig modellendogen bestimmt wird, im Jahr 2023.

Zentraler Impuls für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung sind die zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen. PANTA RHEI ist so angelegt, dass zusätzliche Investitionen möglich sind, also nicht durch Knappheiten am Kapitalmarkt verhindert werden. Es gibt allerdings modellendogene Effekte, die andere Investitionen in diesem Fall leicht einschränken. So hängen jene Investitionen der Wirtschaftsbereiche, die noch ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen getätigt werden, von der laufenden Produktion und dem Kapitalstock ab. Ein höherer Kapitalstock durch Klimaschutzinvestitionen in den Vorjahren dämpft diese Investitionen, wobei der Einfluss des Kapitalstocks nur in einzelnen Wirtschaftsbereichen empirisch nachweisbar ist und entsprechend in die Modellierung eingeht. Die Investitionen führen mit ihrer Umsetzung zu einem kurzfristigen Nachfrageeffekt, weil die Investitionsgüter und Baumaßnahmen produziert bzw. umgesetzt werden. Dabei ist eine Trennung in investierende Wirtschaftsbereiche (vgl. Abbildung 2) und solche wichtig, die die Investitionsgüter herstellen, vor allem Maschinenbau, Fahrzeugbau und Herstellung elektrischer Anlagen sowie die Bauwirtschaft. Letztere können mehr Produkte und Leistungen absetzen. In den investierenden

Wirtschaftsbereichen führen die Investitionen langfristig zu Kapitalkosten in Form höherer Abschreibungen. Da für die Preisbildung Aufschlagskalkulation auf die Stückkosten gemäß historischem Verhaltensmuster unterstellt wird, steigen in diesen Wirtschaftsbereichen die Preise. Vorzeitige Abschreibungen durch die Klimaschutzmaßnahmen werden nicht angenommen. Höhere CO₂-Preise und höhere Strompreise führen vor allem in den energieintensiven Wirtschaftsbereichen zu Kosten- und Preissteigerungen.

Abbildung 4 zeigt den Effekt des Klimaschutzenszenarios auf das BIP und seine verwendungsseitigen Komponenten in den Jahren 2025 und 2030. Bei der Annahme der Zusätzlichkeit von Klimaschutzinvestitionen werden die Investitionen in Ausrüstungen und Bauten gegenüber der Referenzentwicklung vor allem in der Energiewirtschaft deutlich angehoben. In der Industrie handelt es sich dagegen vor allem um Ersatzinvestitionen und nur in geringem Umfang um zusätzliche Investitionen (vgl. Abbildung 2). Durch die höheren Investitionen wird ein positiver Effekt auf den Import von Vorleistungsgütern ausgelöst. Die höheren inländischen Preise infolge der höheren CO₂-Preise wirken sich zusätzlich steigernd auf den Import und leicht schwächend auf den Export aus. Bei den Exporten sind keine Skaleneffekte und damit internationale Wettbewerbsvorteile bei Klimaschutzgütern unterstellt. Deutschland exportiert also z. B. im Klimaschutzenszenario annahmegemäß nicht mehr Windräder oder Elektroautos. In anderen Ländern werden entsprechende Wettbewerbsvorteile und Skaleneffekte erwartet, was sich in der chinesischen Industriepolitik u. a. bei PV und E-Mobilität und beim US-amerikanischen Inflation Reduction Act zeigt. Auch der Green Deal der EU geht von entsprechenden Effekten aus. Der private Konsum steigt in erster Linie mit den höheren verfügbaren Einkommen aufgrund höherer Wirtschaftsleistung und etwas höherer Beschäftigung. Die zusätzlichen Ausgaben der privaten Haushalte für Klimaschutzgüter, vor allem in Gebäuden und für Fahrzeuge, spielen dabei nur eine kleine Rolle. Trotz der schlechteren Handelsbilanz ergibt sich insgesamt eine positive Wirkung auf das BIP: Im Klimaschutzenszenario liegt es im Jahr 2025 um 1,2 % höher als im Referenzszenario. Im Jahr 2030 verstärken sich die Effekte, was zu einem um 1,5 % höheren BIP führt.

Abbildung 4: Relative Abweichung des BIP (real) und seiner Komponenten im Klimaschutzscenario gegenüber dem Referenzscenario



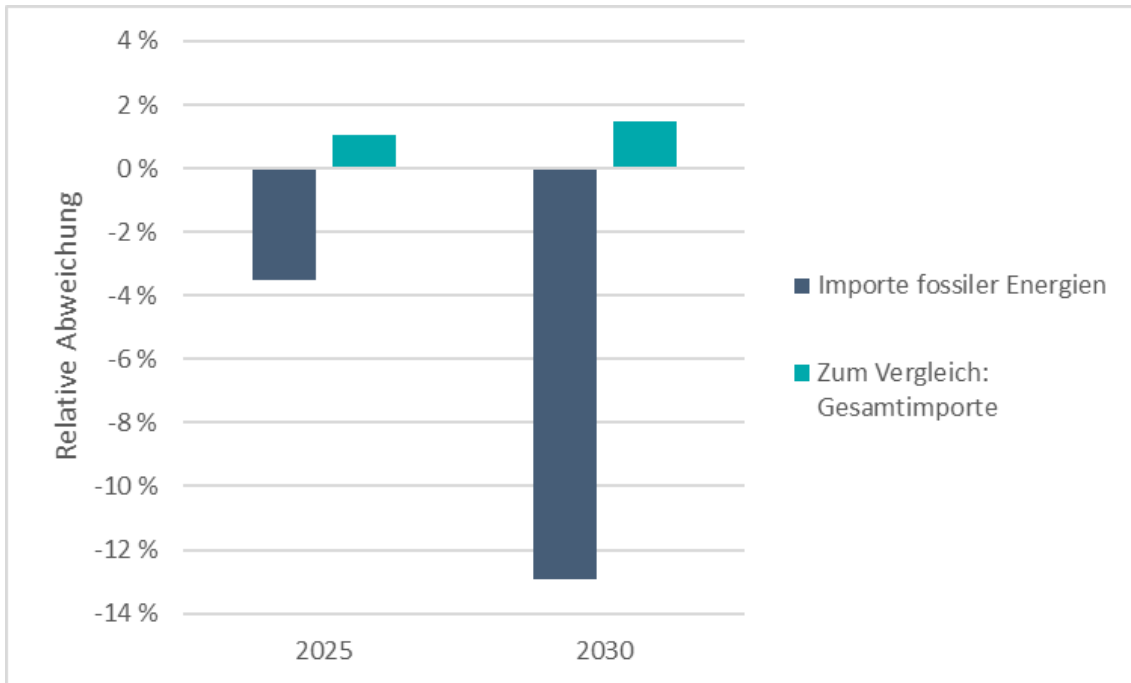
Quelle: eigene Berechnungen

Bei der Entwicklung der Importe kommt es zu gegenläufigen Effekten (Abbildung 5). Die Importe fossiler Energieträger (Steinkohle, Öl und Gas) gehen deutlich zurück, weil durch höhere Energieeffizienz, mehr erneuerbare Energie und Verlagerung zum Stromeinsatz weniger fossile Energie benötigt wird. Die inländische Förderung von Öl und Gas bleibt annahmegemäß unverändert. Dagegen steigen die Importe von Investitionsgütern mit den höheren Investitionen deutlich.

Die Auswirkungen auf die Beschäftigung sind leicht positiv, aber bleiben mit 90 000 im Jahr 2025 (0,22 %) und 136 000 (0,33 %) zusätzlich sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Jahr 2030 begrenzt (Abbildung 6): Vor allem im Baugewerbe und in den damit und mit der Investitionsgüterherstellung verbundenen unternehmensnahen Dienstleistungen steigen Produktion und Beschäftigung. Im verarbeitenden Gewerbe nimmt die Beschäftigung insgesamt nur leicht zu, weil der höheren Inlandsnachfrage leicht niedrigere Exporte gegenüberstehen. Das Ergebnis mag zunächst verwundern, allerdings reagiert die Beschäftigung üblicherweise – etwa auch bei exogenen Schocks wie der Coronapandemie oder dem russischen Angriffskrieg in der Ukraine und den damit verbundenen Preisschocks – prozentual deutlich weniger stark als das BIP. Bei höherer Wirtschaftsleistung steigen im Folgejahr die Reallöhne, weil die Gewerkschaften höhere Lohnforderungen durchsetzen können, was die (Zunahme der) Beschäftigung begrenzt. Dieser Effekte wird umso stärker, je mehr das Erwerbspersonenpotenzial ausgeschöpft ist. Hinzu kommt, dass die Investitionen, die vor allem in der Energiewirtschaft getätigt werden, kapitalintensiv sind bzw. die Energiewirtschaft wenig arbeitsintensiv ist. Schließlich führen die Klimaschutzinvestitionen nur zu geringen Effekten im Dienstleistungssektor, in dem die überwiegende Zahl der Beschäftigten tätig ist. Bei vergleichbaren früheren Berechnungen hat sich gezeigt, dass die Beschäftigungseffekte höher

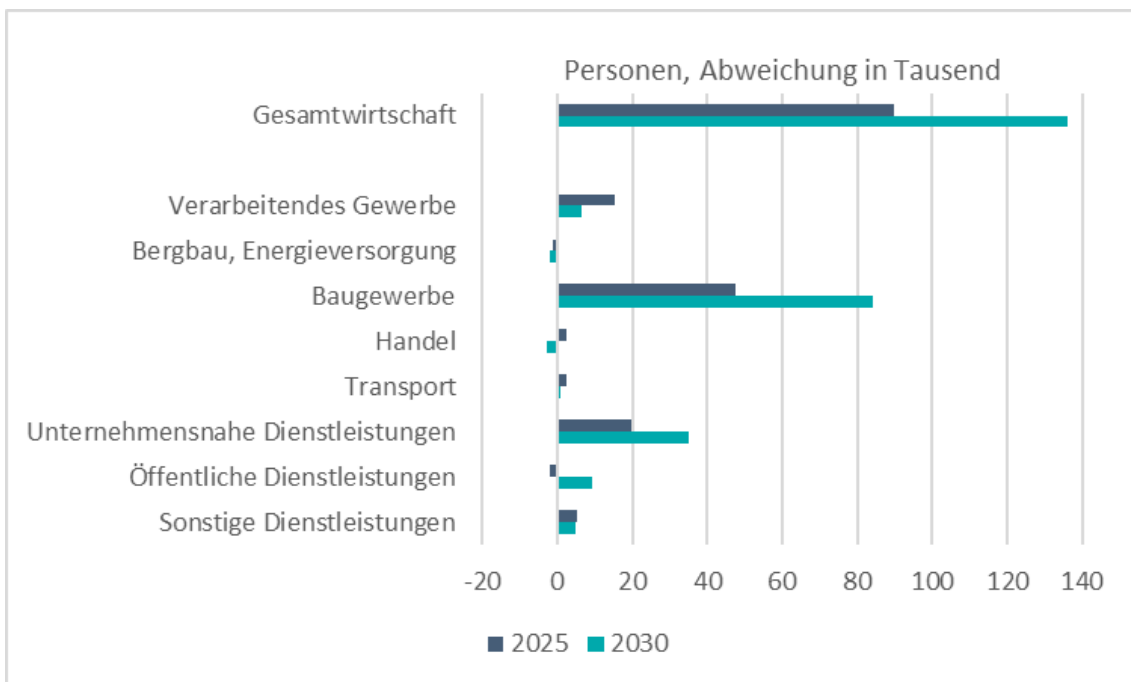
ausfallen können, wenn konkrete Maßnahmen mit spezifischen Wirkungen betrachtet werden (Zika et al. 2022).

Abbildung 5: Relative Abweichung der Importe (real) fossiler Energien und der Gesamtimporte im Klimaschutzscenario gegenüber dem Referenzscenario



Quelle: eigene Berechnungen

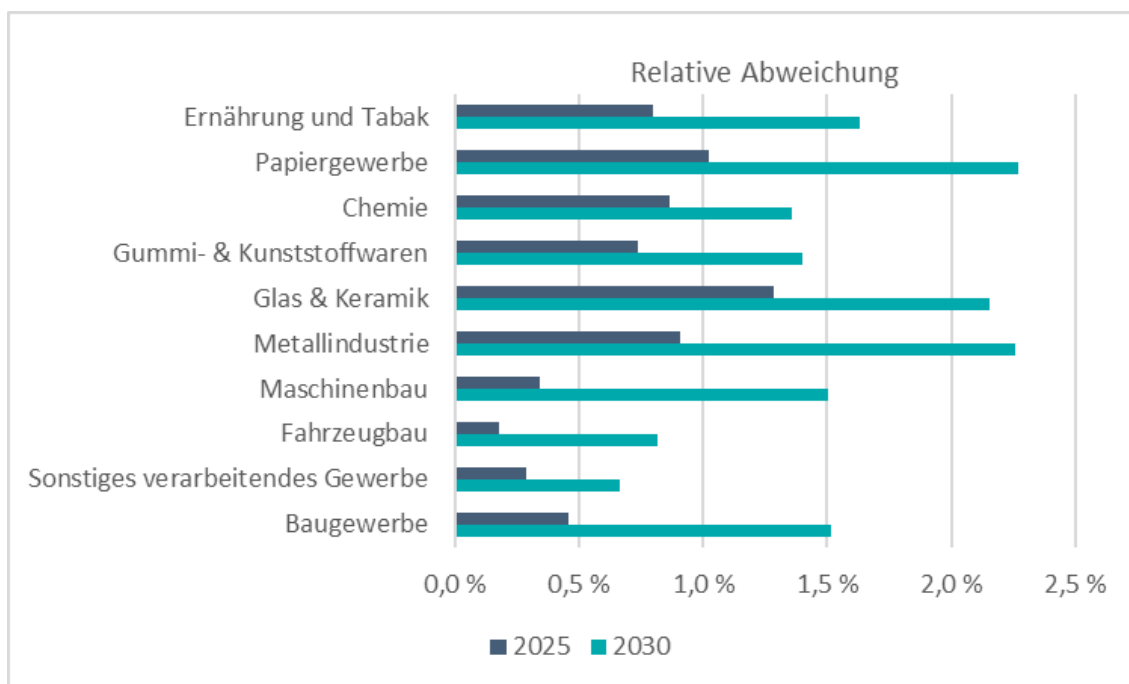
Abbildung 6: Relative Abweichung der Beschäftigung nach Wirtschaftsbereichen im Klimaschutzscenario gegenüber dem Referenzscenario



Quelle: eigene Berechnungen

Die zusätzlichen Kosten durch CO₂-Preise und etwas höhere Strompreise zeigen sich in allen Wirtschaftsbereichen des verarbeitenden Gewerbes (Abbildung 7), wobei auch der allgemeine Anstieg des Preisniveaus im Zuge höherer Nachfrage, Produktion und Beschäftigung enthalten ist. Überdurchschnittlich steigen die Produktionspreise in den energieintensiven Wirtschaftsbereichen, vor allem der Chemie, dem Papiergewerbe, Glas und Keramik einschließlich der Verarbeitung von Steinen und Erden (Zement) sowie der Metallherzeugung. Geringe Preissteigerungen weisen der Maschinen- und der Fahrzeugbau auf, deren Energieverbrauch pro Produktionseinheit im Vergleich viel geringer ausfällt. Die jährliche Inflationsrate liegt im Zeitraum 2025 bis 2030 in der Referenz zwischen 1,7 und 1,9 % pro Jahr. Im Klimaschutzszenario liegt sie mit 1,7 bis 2,1 % um maximal 0,24 Prozentpunkte (im Jahr 2026) höher als in der Referenz. Für das Jahr 2030 fällt das Niveau der Verbraucherpreise im Klimaschutzszenario um 1,3 % höher aus als in der Referenz. Es liegt dann bei 138 Indexpunkten gegenüber 136,3 in der Referenz und 120 im Jahr 2023 in beiden Szenarien (2015 = 100).

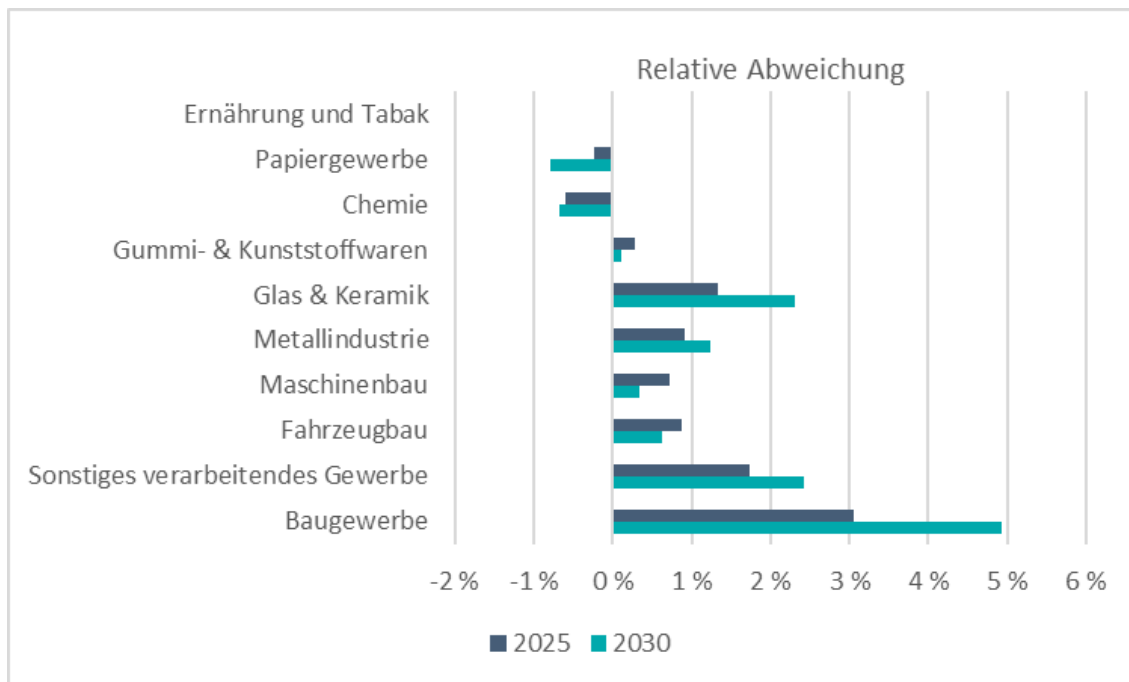
Abbildung 7: Relative Abweichung der Produktionspreise im produzierenden Gewerbe im Klimaschutzszenario gegenüber dem Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen

Die Produktionseffekte nach Wirtschaftsbereichen (Abbildung 8) hängen von der höheren inländischen Nachfrage nach Klimaschutzinvestitionen und der insgesamt höheren Wirtschaftsleistung auf der einen Seite und den niedrigeren Exporten und höheren Importen auf der anderen Seite ab. Sehr positiv fallen die Produktionseffekte in der Bauwirtschaft aus, welche direkt von den höheren Bauinvestitionen profitiert. Aber auch in den meisten Bereichen des produzierenden Gewerbes sind die Produktionseffekte positiv. Nur in einigen energieintensiven Branchen wie Papier und Chemie, die nur wenige Klimaschutzgüter herstellen, kommt es durch die Preissteigerungen zu negativen Produktionseffekten. Im Ernährungsgewerbe liegen die Effekte nahe null.

Abbildung 8: Relative Abweichung der Produktion (real) im produzierenden Gewerbe im Klimaschutzscenario gegenüber dem Referenzscenario



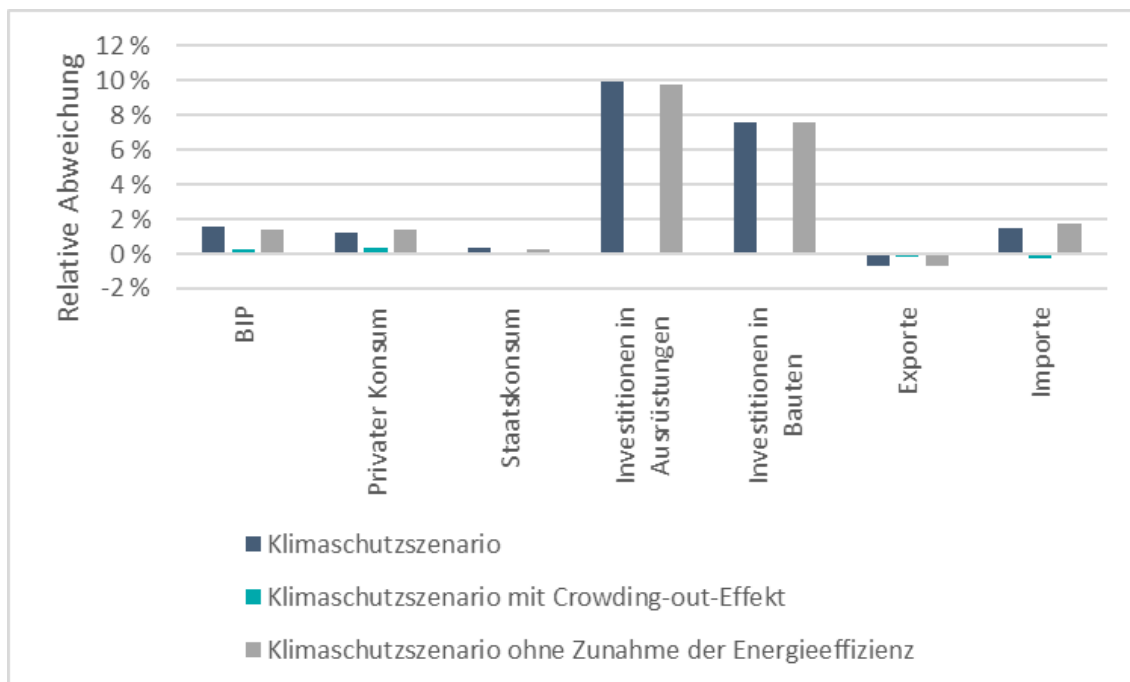
Quelle: eigene Berechnungen

3.2.2 Sensitivitäten

Abbildung 9 zeigt das Klimaschutzscenario sowie die beiden Sensitivitätsrechnungen des Klimaschutzscenario jeweils im Vergleich zur Referenzentwicklung. Die gesamtwirtschaftlichen Effekte im Klimaschutzscenario ohne Zunahme der Energieeffizienz gleichen weitgehend denen im Klimaschutzscenario. Die Energieeinsparungen haben nur einen begrenzten gesamtwirtschaftlichen Effekt. Das hat auch damit zu tun, dass die betrachteten politischen Maßnahmen und dadurch ausgelösten Änderungen in den Bereichen Gebäude und Verkehr begrenzt sind. Die Energieeffizienzeffekte kumulieren sich über die Jahre auf und würden bei einer längerfristigen Betrachtung höher ausfallen. Die Sensitivität ist nicht mit den Sensitivitäten in der Gemeinschaftsdiagnose (ifo-Institut 2023) zu unterschiedlich hohen Substitutionselastizitäten zwischen Arbeit/Kapital und Energie zu vergleichen. Hier wird allein der Energieeinsatz verändert, während in der Gemeinschaftsdiagnose variiert wird, wie stark Arbeit und Kapital sich anpassen müssen, wenn der Energieeinsatz geändert wird.

Hingegen ergeben sich im Klimaschutzscenario mit Crowding-out-Effekt nahezu keine Abweichungen gegenüber der Referenzentwicklung, d. h., dass bei einer vollständigen Verdrängung der fossilen Investitionen durch die Klimaschutzmaßnahmen die makroökonomischen Wirkungen nur leicht positiv sind. Das bedeutet, dass die etwas höheren Konsumausgaben der privaten Haushalte zum Klimaschutz (aufgrund der veränderten politischen Rahmenbedingungen) sowie reduzierte Importe fossiler Energieträger und eine Zunahme der Energieeffizienz ausreichen, um die negativen Wirkungen höherer CO₂-Preise für energieintensive Branchen mehr als auszugleichen. Da vollständiges Crowding-out sehr unwahrscheinlich ist, bildet die Sensitivität einen unteren Rand der gesamtwirtschaftlichen Effekte ab.

Abbildung 9: Relative Abweichung des BIP (real) und seiner Komponenten in den drei Klimaschutzszenario-Varianten jeweils gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2030



Quelle: eigene Berechnungen

4 Einordnung

Die Szenariorechnungen zeigen, dass die in den Jahren 2021 bis 2023 beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen gesamtwirtschaftlich positiv wirken. Dazu führt in erster Linie die Annahme der Zusätzlichkeit der Klimaschutzinvestitionen. Aber selbst beim vollständigen Crowding-out, d. h., dass die Klimaschutzinvestitionen lediglich andere Investitionen in gleicher Höhe verdrängen, bleibt ein leicht positiver gesamtwirtschaftlicher Effekt. Höhere CO₂- und Strompreise wirken sich zwar leicht negativ auf das BIP aus, dieser Effekt wird von den positiven Effekten allerdings überkompensiert.

Die Höhe des Crowding-out wird u. a. durch die Höhe der Investitionen in der Referenz sowie die Auslastung des Produktionsapparats bestimmt. Angesichts der aktuellen Rezession dürfte die Gefahr von Crowding-out derzeit begrenzt sein, auch wenn auf dem Arbeitsmarkt nicht alle freien Stellen besetzt werden können. Die gesamtwirtschaftliche Investitionsquote Deutschlands ist im internationalen Vergleich nicht hoch und internationale Institutionen wie die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und der Internationale Währungsfonds (IWF) mahnen regelmäßig höhere Investitionen in Deutschland an. Der Sachverständigenrat (2023) geht davon aus, dass die digitale und grüne Transformation zu deutlichen Abweichungen bisheriger Trends bei den Produktionsfaktoren führt. Er spricht sich für erhöhte Investitionen aus, um das langfristige Wachstumspotenzial zu stärken. Die Analyse von Burret et al. (2021) beschäftigt sich intensiv mit den für die Transformation notwendigen Investitionen und einem möglichen Crowding-out. Danach sind deutliche Mehrinvestitionen möglich und ihre Finanzierung ist gewährleistet. Die Möglichkeit höherer Investitionen wird somit von verschiedenen Seiten gesehen. Die ermittelten Klimaschutzinvestitionen liegen eher am oberen Rand, aber noch in dem Bereich der vom Sachverständigenrat (2023, S. 111) genannten Umstellungsinvestitionen für die grüne Transformation, wobei dort nur energieintensive Wirtschaftszweige und die Energieversorgung betrachtet werden. Nach einer Literaturrecherche von Burret et al. (2021) müssen zwischen 43 und 82 Mrd. Euro jährlich für den Klimaschutz bis 2045 investiert werden, wobei vier von fünf betrachteten Studien in einer Spanne von 43 bis 58 Mrd. Euro liegen. Das Handelsblatt Research Institute (HRI 2024) kommt in einer Analyse von Prognosen und Studien ebenfalls zu einem hohen Investitionsbedarf für die Energiewende.

In der Gemeinschaftsdiagnose (ifo-Institut 2023) werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte von entsprechenden Klimaschutzinvestitionen mit einem rekursiven Wachstumsmodell berechnet. Wird ein vollständiges Crowding-out – eine konstante gesamtwirtschaftliche Investitionsquote – unterstellt, ist der BIP-Effekt deutlich negativ. Wird wiederum von zusätzlichen Investitionen ausgegangen, ergibt sich dagegen ein leicht positiver BIP-Effekt von etwa 0,5 % im Jahr 2030. Die unterstellte Substitutionselastizität zwischen Kapital/Arbeit und Energie spielt eine zentrale Rolle für Richtung und Größenordnung der ermittelten BIP-Effekte.

Einem aktuellen Literaturüberblick zufolge gibt es keinen Konsens über die gesamtwirtschaftlichen Effekte von verstärktem Klimaschutz in Deutschland und Europa. Die Abweichungen eines Klimaschutzszenarios von einer Referenz ohne Klimaschutz beim BIP liegen in der Regel bei 2 % oder weniger, häufig unter 1 oder sogar 0,5 %.

Angebotsorientierte Modelle (neben einfachen Wachstumsmodellen wie in ifo-Institut (2023) auch CGE- und DSGE-Modelle) weisen meist leicht negative Effekte des Klimaschutzes aus und in nachfrageorientierten Modellen (meist makroökonomisch wie auch PANTA RHEI) ergeben sich in der Regel leicht positive Effekte (z. B. Mercure et al. 2019, EC 2020, Sievers et al. 2023, Espagne et al. 2023). Die in Abschnitt 3 dargestellten Ergebnisse passen in ihrer Größenordnung und Richtung dazu. Eine aktuelle Metaanalyse des IMF (2023) zeigt ein gemischtes Bild. Empirische Analysen bisher erhobener CO₂-Steuern etwa in skandinavischen Ländern oder Frankreich kommen demnach zu leicht positiven Wirkungen dieser Maßnahmen.

Die Ergebnisse der Modellanalysen sind aber nur eingeschränkt mit anderen Simulationsrechnungen zu vergleichen, weil die Klimaschutzmaßnahmen der Jahre 2021 bis 2023 betrachtet werden, die nur einen Ausschnitt aller Maßnahmen zur Erreichung von THG-Neutralität im Jahr 2045 enthalten. Im nationalen Teil bleiben die CO₂-Preise gegenüber der Referenz unverändert – anders als in den meisten anderen Studien, die Klimaschutz vor allem oder ausschließlich über höhere CO₂-Preise abbilden –, sodass Kosten des Klimaschutzes eher unterschätzt werden, wobei zugleich die mögliche Mittelverwendung die BIP-Effekte deutlich beeinflussen kann. Klimaschutz bedeutet im Klimaschutzszenario vor allem einen massiven Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und einen Ausbau der notwendigen Infrastruktur, was in erster Linie durch Regulierung erreicht wird. Die zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen fallen zu etwa zwei Drittel in der Energiewirtschaft an. Eine vollständige Finanzierung durch die Nutzer, d. h. letztlich über die Strom-, Gas- und PtX-Preise ist in diesem Sektor nicht unterstellt. Sie könnte zu deutlicheren Preisaufschlägen führen. Denkbar wäre zu ihrer Finanzierung eine Erhöhung der CO₂-Preise (im BEHG), die ihrerseits wiederum zu gesamtwirtschaftlichen Effekten führen würde, und generell ein höherer Anteil staatlicher Investitionen. Vielmehr wird angenommen, dass das bisherige Verhältnis zwischen privater und staatlicher Finanzierung von 14 % gemäß historischen Daten der VGR auch bei diesen zusätzlichen Investitionen beibehalten wird. In einer Studie der Prognos AG (2022) für die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) wird von vergleichbaren Verhältnissen für die Klimaschutzinvestitionen ausgegangen. Für die Mehrinvestitionen und speziell für den Energiesektor sind auch höhere Anteile öffentlicher Klimaschutzinvestitionen genannt. In den übrigen Wirtschaftszweigen werden höhere Investitionen und damit Kosten auf die Preise überwälzt. Staatliche Zuschüsse über die 14 % hinaus könnten die Preiseffekte dämpfen.

Die Modellierung geht nicht auf eine mögliche zusätzliche Entwertung des deutschen Kapitalstocks durch die Klimaschutzmaßnahmen ein, etwa wenn Kraftwerke, Netze oder Industriebetriebe wegen zu hoher CO₂- und Energiekosten vorzeitig stillgelegt würden. Dann wären die Kapitalkosten höher und die Effekte in den betroffenen Wirtschaftsbereichen würden negativer ausfallen (die Kosten und damit auch die Preise wären höher), wobei gleichzeitig auch höhere Ersatzinvestitionen notwendig wären, die das BIP wiederum steigern würden. Allerdings wird die Energiewirtschaft, in der bis zum Jahr 2030 der größte Teil der Investitionen stattfindet, explizit in einem Strommarktmodell betrachtet, das bereits die Ergebnisse des sektoralen Transformationsprozesses insgesamt als Investitionsdifferenzen ermittelt. Außerdem ist für die Klimaschutzmaßnahmen der Jahre

bis 2023 nicht davon auszugehen, dass es in Zukunft zu entsprechenden Effekten kommt.

An dieser Stelle ist auch darauf hinzuweisen, dass im eingesetzten Modell PANTA RHEI keine Budgetrestriktion des Staates modelliert ist. Insoweit die zusätzlichen Investitionen durch den Staat finanziert oder über Subventionen gefördert werden, liegt ein schuldenfinanzierter expansiver fiskalischer Impuls vor, der der Ausweitung der Produktion zugrunde liegt. Unter den getroffenen Annahmen finanzieren im Wesentlichen Unternehmen und private Haushalte die Energiewende, was sich in niedrigeren Finanzierungssalden nach den VGR zeigt. Dagegen kann der Staat seinen Finanzierungssaldo im Vergleich zur Referenz sogar etwas verbessern, sodass bei entsprechender Ausgestaltung des Klimaschutzes keine zusätzliche Staatsverschuldung nötig ist. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass sich bei konkreter Modellierung von Einzelmaßnahmen – was im Rahmen der Kurzstudie nicht erfolgt ist – die gesamtwirtschaftlichen Effekte je nach Ausgestaltung deutlich unterscheiden können. Der Kapitalmarkt und damit die Finanzierung der Klimaschutzinvestitionen wird in der Modellierung nicht berücksichtigt.

Die Modellierung betrachtet keine strukturellen Wirkungen einzelner Klimaschutzmaßnahmen. Beispielsweise führt die Umstellung vom Verbrenner- zum Elektroauto zu Veränderungen im Fahrzeugbau: Der Wertschöpfungsanteil der Batterie nimmt deutlich zu, Motoren werden einfacher und die Beschäftigung pro Fahrzeug sinkt. Die damit verbundenen Veränderungen in der Vorleistungsstruktur und in der Beschäftigungsintensität könnten im weiteren Projektverlauf für zentrale Klimaschutztechnologien in die Analyse einbezogen werden.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass gesamtwirtschaftliche Effekte des Klimawandels und eine Reduktion der Klimawandelkosten durch den Klimaschutz nicht in der Modellierung enthalten sind. Die Aspekte der gesamtwirtschaftlichen Kosten des Klimawandels sowie die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden im weiteren Projektverlauf ausführlich betrachtet und mit Analysen zum Klimaschutz verknüpft.

5 Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (Hg.) (verschiedene Jahre): Energiebilanz Deutschland.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (2023): Energieverbrauch fällt auf Rekordtief – Prognose für 2023 / Schrumpfende Wirtschaftsleistung wichtigste Ursache. <https://ag-energiebilanzen.de/hohe-preise-und-schwache-konjunktur-senken-energieverbrauch-2/>, abgerufen am 15.02.2024.
- Becker, L., Bernardt, F., Bieritz, L., Mönnig, A., Parton, F., Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2022): INFORGE in a Pocket. GWS-Kurzmitteilung 2022/02, Osnabrück. <https://www.gws-os.com/de/publikationen/gws-kurzmitteilungen/detail/inforge-in-a-pocket>, abgerufen am 27.09.2023.
- Burret, H., Kirchner, A., Kreidelmeyer, S., Spillmann, T., Ambros, J., Limbers, J., Brutsche, A., Granzow, M. & Häßler, R. D. (2021): Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland – Studie. Unter Mitarbeit von NKI – Institut für nachhaltige Kapitalanlagen und Nextra Consulting. Hg. v. Prognos AG, Basel.
- Espagne, E., Oman, W., Mercure, J.-F., Svartzman, R., Volz, U., Pollitt, H., Semieniuk, G. & Campiglio, E. (2023): Cross-Border Risks of a Global Economy in Mid-Transition. International Monetary Fund. IMF Working Papers 2023/184, Washington D.C.
- European Commission (EC) (2020): Stepping up Europe’s 2030 climate ambition – Investing in a climate-neutral future for the benefits of our people.
- Handelsblatt Research Institute (HRI) (2024): Das Billionenprojekt. Handelsblatt, 08.01.2024 (5), S. 4–5.
- ifo-Institut (2023): Kaufkraft kehrt zurück – politische Unsicherheit hoch – Kurzfassung der Gemeinschaftsdiagnose Herbst 2023. Projektgruppe Gemeinschaftsdiagnose. ifo Schnelldienst 10/2023. <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2023-10-projektgruppe-gemeinschaftsdiagnose-kurzfassung-herbst-2023.pdf>, abgerufen am 15.02.2024.
- International Monetary Fund (IMF) (2023): Fiscal Monitor – Climate Crossroads: Fiscal Policies in a Warming World, Washington D.C.
- Lutz, C., Becker, L. & Kemmler, A. (2021): Socioeconomic Effects of Ambitious Climate Mitigation Policies in Germany. Sustainability 13 (11), S. 6247. DOI: 10.3390/su13116247.
- Lutz, C., Flaute, M., Lehr, U., Kemmler, A., auf der Maur, A., Ziegenhagen, I., Wunsch, M., Koziel, S., Piégsa, A. & Straßburg, S. (2018): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. GWS Research Report 2018/4, Osnabrück. <http://papers.gws-os.com/gws-researchreport18-4.pdf>.
- Mercure, J.-F., Knobloch, F., Pollitt, H., Paroussos, L., Scricciu, S. S. & Lewney, R. (2019): Modelling innovation and the macroeconomics of low-carbon transitions:

theory, perspectives and practical use. *Climate Policy* 19 (8), S. 1019–1037. DOI: 10.1080/14693062.2019.1617665.

Prognos (2022): Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität – Öffentlicher Anteil an Klimaschutzinvestitionen. Kurzstudie im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (Sachverständigenrat) (2023): Wachstumsschwäche überwinden – In die Zukunft investieren.

Sievers, L., Grimm, A., Siegle, J., Fahl, U., Kaiser, M., Pietzcker, R. & Rehfeldt, M. (2023): Gesamtwirtschaftliche Wirkung der Energiewende – modellbasierte Analyse möglicher Transformationspfade hin zu Klimaneutralität. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Umweltbundesamt (UBA) (2022): Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2020. 1990–2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/co2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx, abgerufen am 15.02.2024.

Umweltbundesamt (UBA) (2023): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990–2022.

Umweltbundesamt (UBA) (2024): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>, abgerufen am 15.02.2024.

Zika, G., Hummel, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (Hg.) (2023): Das QuBe-Projekt: Modelle, Module, Methoden. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). 1. Auflage, Bielefeld. wbv Publikation. IAB-Bibliothek 374. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.3278/9783763973712>, abgerufen am 15.02.2024.

Zika, G., Hummel, M., Schneemann, C., Studtrucker, M., Kalinowski, M., Maier, T., Krebs, B., Steeg, S., Bernardt, F., Krinitz, J., Mönnig, A., Parton, F., Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2021): Die Auswirkungen der Klimaschutzmaßnahmen auf den Arbeitsmarkt und die Wirtschaft. *Forschungsbericht* 526/5.

Zika, G., Maier, T., Mönnig, A., Schneemann, C., Steeg, S., Weber, E., Wolter, M. I. & Krinitz, J. (2022): Die Folgen der neuen Klima- und Wohnungsbaupolitik für Wirtschaft und Arbeitsmarkt. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. *IAB-Forschungsbericht* 03/2022, Nürnberg. <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2022/fb0322.pdf>, abgerufen am 22.12.2022.

