

Klimaschutzszenarien 2050: Modellierung, Analyse und Vergleich von Zielszenarien

Übergreifender Bericht

Berlin, 18.10.2024

Autorinnen und Autoren

Öko-Institut e.V.

Julia Repenning
Katja Schumacher
Dennis Appenfeller
Konstantin Kreye
Lukas Emele
Ralph Harthan

Fraunhofer ISI

Luisa Sievers
Anna Grimm

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Fraunhofer ISI

Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-272

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
2 Rahmenannahmen, untersuchte Szenarien und Vorgehen bei der Folgenabschätzung	9
2.1 Rahmenannahmen	9
2.2 Untersuchte Szenarien	9
2.2.1 Szenarioausgestaltung	9
2.2.2 THG-Preispfade	11
3 Folgenabschätzung	14
3.1 THG-Emissionen	15
3.1.1 Vorgehen und Methode	15
3.1.2 Ergebnisse	16
3.2 Gesamtwirtschaftliche Folgewirkungen	19
3.2.1 Methodik	19
3.2.2 Impulse	21
3.2.3 Investitionen	21
3.2.3.1 Konsum	23
3.2.3.2 Vorleistungen	24
3.2.3.3 Außenhandel	25
3.2.3.4 Staat	26
3.2.4 Ergebnisse	29
3.2.4.1 BIP	30
3.2.4.2 Wertschöpfung	33
3.2.4.3 Beschäftigung	37
3.3 Soziale Folgewirkungen	40
3.3.1 Gebäude	40
3.3.1.1 Methode	40
3.3.1.2 Ergebnisse	42
3.3.2 Mobilität	46
3.3.2.1 Methode	46
3.3.2.2 Ergebnisse	47

3.3.3	Exkurs: Einnahmenverwendung aus der CO ₂ -Bepreisung	51
3.3.4	Weitere soziale Wirkungen	54
4	Zusammenfassende Bewertung	55
5	Herausforderungen und weitere Forschungsbedarf	58
	Literaturverzeichnis	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Szenarioausgestaltung	10
Abbildung 2: EU-ETS-1 / BEHG/ETS-2 / THG – Preispfade in den Szenarien REF, KS1-4	12
Abbildung 3: Untersuchte Kategorien der Folgenabschätzung	15
Abbildung 4: Struktur von ENUSEM und Interaktion mit anderen Modellen	16
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen – nach Sektoren und gesamt	17
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Modells ISI-Macro	20
Abbildung 7: Impulse durch Investitionen auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	22
Abbildung 8: Impulse durch Konsum auf Ebene der Sektoren und Technologien – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	23
Abbildung 9: Impulse durch Vorleistungen auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	25
Abbildung 10: Impulse durch Handel mit Energieträgern auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	26
Abbildung 11: Impulse auf den Staatshaushalt auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	27
Abbildung 12: Einnahmen aus dem Emissionshandel in den Sektoren pro Stützjahr	28
Abbildung 13: BIP – Relative Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	31
Abbildung 14: Vergleich der Sensitivitäten BIP – Relative Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	32
Abbildung 15: Schematische Darstellung zum Wertschöpfungsbegriff in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung	33
Abbildung 16: Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	34
Abbildung 17: Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	36
Abbildung 18: Arbeitskräftebedarf in VZÄ – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz	38
Abbildung 19: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS1 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	42
Abbildung 20: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS4 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	43

Abbildung 21:	Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS2 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	44
Abbildung 23:	Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS3 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	45
Abbildung 24:	Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS1 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	47
Abbildung 25:	Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS4 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	48
Abbildung 26:	Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS2 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	49
Abbildung 27:	Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS3 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über verwendete Rahmenannahmen	9
Tabelle 2: Überblick EU-ETS-1 / BEHG / THG – Preispfade in den Szenarien REF, KS1-4	11
Tabelle 3: Vergleich Einnahmen aus CO ₂ -Bepreisung und Ausgaben für Förderung (Investitions- oder Betriebskostenzuschuss)	53

1 Einleitung

Mit dem Nationalbeitrag (Nationally Determined Contribution, NDC) der EU verpflichtet sich auch Deutschland zu den Zielen des Pariser Klima-Abkommens (Paris Agreement), die Erderhitzung auf deutlich unter 2 °C, nach Möglichkeit auf 1,5 °C zu begrenzen. Vor diesem Hintergrund sieht das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vor, Treibhausgasneutralität bis 2045 zu erreichen. Der weit überwiegende Teil der Emissionsminderung muss dabei in den Sektoren Energie, Verkehr, Gebäude, Industrie, Abfall- und Landwirtschaft erfolgen. Eine kleine Rolle kann die Bindung verbleibender Emissionen in natürlichen, als letzte Option auch in technischen, Senken erfolgen.

Bei der Entwicklung einer Strategie zur Zielerreichung müssen zum einen die richtigen Anreize und Rahmenbedingungen gesetzt werden. Im Rahmen des Projekts „Klimaschutzszenarien 2050“ wurden hierfür neben einem Referenzszenario vier Szenarien modelliert, die jeweils die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes erreichen, d.h. die Erreichung einer Treibhausgasneutralität bis 2045. Hierbei sollen die Treibhausgasemissionen soweit wie möglich reduziert werden und die verbleibenden, schwer vermeidbaren Emissionen durch (bevorzugt) natürliche und technische Kohlenstoffsinken ausgeglichen werden.

Das erste Szenario bildet eine Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentenmixes aus ordnungsrechtlichen, fiskalischen, ökonomischen und flankierenden Instrumenten ab. Das zweite und dritte Szenario stellen vor allem auf die CO₂-Bepreisung in unterschiedlichen Zuschnitten ab. Das vierte Szenario wiederum fokussiert auf die Zielerreichung durch eine Verschärfung ordnungsrechtlicher Instrumente.

Bei der Bewertung der Szenarien muss darauf hingewiesen werden, dass vor allem die CO₂-Bepreisungsszenarien sowie das ordnungsrechtliche Szenario Limitierungen im Vergleich zu einer Weiterentwicklung des Instrumentenmixes aufweisen. So sind bei einer reinen Fokussierung auf CO₂-Bepreisung sehr hohe CO₂-Preise zu erwarten. Für sehr hohe CO₂-Preise liegen jedoch zum Teil keine empirischen Daten vor, welche Reaktion von Marktteilnehmern zu erwarten sind (Elastizitäten). Zum anderen können sehr hohe CO₂-Preise auf Akzeptanzprobleme hindeuten. Ein rein ordnungsrechtliches Szenario wiederum kann ebenfalls auf Akzeptanzprobleme hindeuten („erzwungene Transformation“). Deshalb sollen die Szenarien als idealtypisch betrachtet werden, um zu beleuchten, wie sich unterschiedliche Instrumentenausrichtungen auswirken.

Neben der rein technischen Ausrichtung der Szenarien besteht eine Herausforderung darin, dass die Maßnahmen sozial gerecht, wirtschaftlich und ökologisch nachhaltig sind und Akzeptanz in der Gesellschaft finden. Deshalb sollen die unterschiedlich ausgerichteten Szenarien neben der Zielerreichung daraufhin untersucht werden, welche Auswirkungen sie auf wirtschaftlicher, sozialer und fiskalischer Ebene haben.

Kapitel 2 beschreibt die grundlegenden Rahmendaten, die Ausgestaltung der Szenarien sowie dazugehöriger THG-Preispfade sowie das Vorgehen bei der Durchführung der Folgenabschätzung. Kapitel 3 beschreibt Methodik und Ergebnisse der Folgenabschätzung in allen drei Dimensionen (ökologisch, wirtschaftlich, sozial). Kapitel 4 gibt eine zusammenfassende Bewertung der Analysen und geht auf daraus resultierende Herausforderungen ein.

Der vorliegende übergreifende Bericht ergänzt die sektoralen Folgenabschätzungen, die die technische Ausgestaltung, strukturelle Entwicklung, damit verbundene Investitionsbedarfe und Kosteneinsparungen sowie die Entwicklung des Energieverbrauchs und der

Treibhausgasemissionen für jeden der betroffenen Sektoren (Energiewirtschaft, Gebäude, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, LULUCF) darlegen und Kernbotschaften ableiten.

2 Rahmenannahmen, untersuchte Szenarien und Vorgehen bei der Folgenabschätzung

2.1 Rahmenannahmen

In der vorliegenden Analyse werden die Rahmendaten aus dem Projektionsbericht 2023 verwendet. Sie betreffen unter anderem die Entwicklung demographischer und gesamtwirtschaftlicher Parameter sowie Primärenergieträgerpreise. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Rahmendaten, die für die Analysen verwendet werden. Eine ausführliche Beschreibung der Rahmendaten kann der Veröffentlichung „Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023“ (Mendelevitch et al. 2022) entnommen werden.

Tabelle 1: Überblick über verwendete Rahmenannahmen

	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wohnbevölkerung	Mio.	83,5	83,5	83,3	83,2	83,0	82,7
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. € ₂₀₂₂	3.954	4.112	4.309	4.598	4.937	5.282
Primärenergieträgerpreise							
Rohöl Brent	€ ₂₀₂₂ /GJ	11,6	8,9	8,8	8,6	8,5	8,3
Steinkohle	€ ₂₀₂₂ /GJ	6,6	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9
Erdgas	€ ₂₀₂₂ /GJ	16,2	7,4	7,1	6,6	6,3	5,9

Quelle: Mendelevitch et al. 2022

2.2 Untersuchte Szenarien

Dieser Abschnitt beschreibt zunächst die generelle Ausgestaltung der fünf untersuchten Szenarien (Abschnitt 2.2.1). Abschnitt 2.2.2 beschreibt die THG-Preispfade für die untersuchten Szenarien.

2.2.1 Szenarioausgestaltung

In diesem Projekt werden vier Zielerreichungsszenarien modelliert, deren gemeinsames Ziel es ist, bis 2045 Treibhausgasneutralität gemäß dem Bundes-Klimaschutzgesetz zu erreichen. Der Vergleich der Szenarien wird gegenüber einem Referenzszenario vorgenommen. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Ausgestaltung der Szenarien.

Das Referenzszenario (REF) entspricht dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichts 2023 (Harthan et al. 2023). Dies entspricht dem aktuellen Politikstand zu Beginn der Modellierung, wobei ausschließlich umgesetzte und angenommene Instrumente berücksichtigt werden, jedoch nicht zu diesem Zeitpunkt geplante oder nicht verabschiedete Instrumente.

Abbildung 1: Szenarioausgestaltung

Referenzszenario (REF)	<ul style="list-style-type: none"> Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) Projektionsbericht 2023 (PB 2023)
Klimaschutzszenario 1 (KS1)	<ul style="list-style-type: none"> Werden die im KSG definierten Klimaziele mit den Instrumenten des MMS des Projektionsberichts 2023 nicht erreicht, wird der Instrumentenmix des MMS angeschärft und ggf. weitere Instrumente mit einbezogen
Klimaschutzszenario 2 (KS2)	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentenmix bis 2030 entspricht dem KS1 (mit Ausnahme Gebäude und Verkehr) Zielerreichung ab 2030 wird über die CO₂-Bepreisung im BEHG und ETS erreicht Eigenes THG-Handelssystem für Landwirtschaft und LULUCF ab 2030 Unterstützung durch flankierende Instrumente
Klimaschutzszenario 3 (KS3)	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentenmix bis 2030 entspricht dem KS1, für Gebäude und Verkehr dem KS2 Zielerreichung wird ab 2030 durch einen allgemeinen EU-weiten THG-Zertifikatepreis erreicht, der in allen Sektoren gilt Unterstützung durch flankierende Instrumente
Klimaschutzszenario 4 (KS4)	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentenmix bis 2030 entspricht dem KS1 (mit Ausnahme Gebäude und Verkehr) Zielerreichung durch Verschärfung bestehender und neuer ordnungsrechtlicher Instrumente

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Im Klimaschutzszenario 1 (KS1) werden die im KSG definierten Klimaziele dadurch erreicht, dass die im Referenzszenario (MMS des Projektionsberichts 2023) vorgesehenen Instrumente angeschärft werden bzw. weitere Instrumente hinzugefügt werden. Dies bedeutet beispielsweise, dass Fördermittel erhöht oder verstetigt werden, höhere CO₂-Preise als im REF angenommen oder ordnungsrechtliche Instrumente (z.B. Standards im Verkehrs- oder Gebäudesektor) verschärft werden können.

Die Klimaschutzszenarien 2 (KS2) und 3 (KS3) basieren grundsätzlich auf KS1, verzichten aber nach 2030 auf eine Fortführung des dann etablierten Instrumentenmixes. Stattdessen werden in KS2 starke Preissignale im EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS) und dem nationalen Zertifikatehandel (nach Brennstoffemissionshandelsgesetz BEHG) gesetzt, die CO₂-arme Verfahren und Technologien wirtschaftlich attraktiv gegenüber fossilen Optionen machen. Darüber hinaus wird in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF ab 2030 ein eigenes THG-Handelssystem eingeführt. Das Szenario wird durch flankierende Instrumente unterstützt. Das Klimaschutzszenario KS3 basiert gleichermaßen auf dem Instrumentenmix des KS1. Ab 2030 wird die Zielerreichung durch einen allgemeinen EU-weiten THG-Zertifikatepreis erreicht, der in allen Sektoren gilt. Das Szenario KS3 wird ebenfalls durch flankierende Instrumente unterstützt. Die für die Zielerreichung notwendigen Niveaus der CO₂- bzw. THG-Preise werden im Szenario KS2 demnach nach den geltenden Handelsregimen (EU-EHS, BEHG) ermittelt, während sie in KS3 für alle Sektoren zusammen berechnet werden.

Das Klimaschutzszenario 4 (KS4) basiert bis 2030 auf dem Instrumentenmix des KS1, mit Ausnahme der Sektoren Gebäude und Verkehr, in denen bereits vor dem Jahr 2030 weitere Klimaschutzinstrumente im Vergleich zur heutigen Politikausgestaltung eingeführt werden (gilt ebenfalls für die KS2 und KS3). Die Zielerreichung des KS4 wird durch die Verschärfung bestehender sowie durch die Einführung neuer ordnungsrechtlicher Instrumente sichergestellt. Als Vorgabe für das KS4 galt für alle Sektoren, sich am KS1-THG-Minderungspfad zu orientieren und diesen nachzufahren.

2.2.2 THG-Preispfade

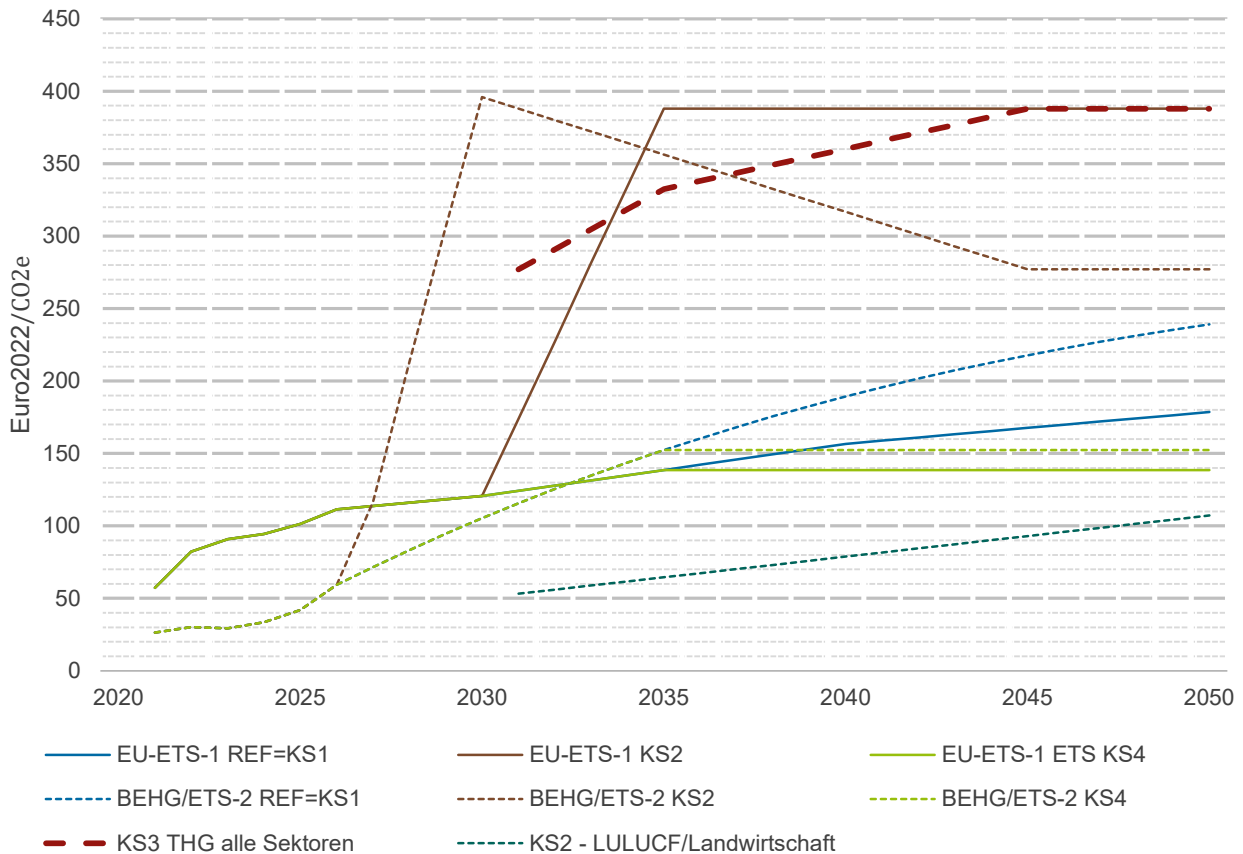
Den fünf Szenarien liegen unterschiedliche THG-Preispfade für die Sektoren zu Grunde. Für die Szenarien REF, KS1 und KS4 wurden Preise für den EU-ETS-1 und den BEHG/ETS-2 vorgegeben. Für die Szenarien KS2 und KS3 wurden für den EU-ETS-1 nach 2030 und für die BEHG/ETS-2 Sektoren bereits vor 2030 die Preispfade bis 2050 modellseitig ermittelt. Darüber hinaus wird im KS 2 in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF ab 2030 ein eigenes THG-Handelssystem eingeführt. Im Tabelle 2 sowie Abbildung 2 geben einen Überblick über die THG-Preispfade in den einzelnen Szenarien.

Tabelle 2: Überblick EU-ETS-1 / BEHG / THG – Preispfade in den Szenarien REF, KS1-4

Szenario	Einheit	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EU-ETS-1							
REF/KS1	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	101	121	139	157	168	178
KS2	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	101	121	388	388	388	388
KS4	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	101	121	139	139	139	139
BEHG/ETS-2							
REF/KS1	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	42	105	152	189	217	239
KS2 (Gebäude/Verkehr)	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	42	396	356	317	277	277
KS4	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	42	105	152	152	152	152
Handelssystem Landwirt./LULUCF							
KS2	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}			65	79	93	107
THG							
KS3 (EU-ETS-1 Sektoren)	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	101	121				
KS3 (BEHG/ETS-2 Sektoren)	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}	42	396				
KS3 (alle Sektoren)	€ ₂₀₂₂ / t CO _{2e}			333	360	388	388

Quelle: Mendelevitch et al. 2022; Eigene Berechnungen

Abbildung 2: EU-ETS-1 / BEHG/ETS-2 / THG – Preispfade in den Szenarien REF, KS1-4



Quelle: Mendelevitch et al. 2022; Eigene Berechnungen

REF und KS1

Das Referenzszenario (REF) sowie das Klimaschutzszenario KS1 folgen für die Sektoren des EU-ETS-1 sowie des BEHG/ETS-2 dem Preisfad des Projektionsberichts 2023 (Mendelevitch et al. 2022).

KS2

Der EU-ETS-1-Preisfad für das KS2 wurde durch die Modellierung des Sektors Industrie ermittelt und dann für die Modellierung des Energiewirtschaftssektors übernommen. Der Industriesektor ist der preissetzende Sektor in diesem Handelssystem. Der Preis wurde so gewählt, dass die Vermeidungskosten von strom- bzw. wasserstoffbasierten Technologien bei gegebenem Strompreis einen Break-even zu konventionellen Technologien darstellen. Preise von 350 €(2022)/ t CO_{2e} ab 2035 sind dafür nötig.

Der BEHG/ETS-2-Preisfad für das KS2 für die Sektoren Verkehr und Gebäude wurde durch die Modellierung des Sektors Verkehr ermittelt. In diesem Handelssystem ist dieser Sektor preissetzend. Im Vergleich zu KS1 und KS4 kommen neben der ambitionierten Ausgestaltung der Lkw-Maut sowie der Anpassung der CO₂-Flottenzielwerte für Lkw und der Einführung einer Klimaabgabe keine weiteren Instrumente für den gesamten Modellierungszeitraum zum Einsatz. Die

dadurch ausbleibende THG-Minderungswirkung im Jahr 2030 wird in diesem Szenario über einen höheren CO₂-Preis (396 €(2022)/t CO₂) als in den Szenarien KS1 und KS4 (105 €(2022)/t CO₂) erreicht. In den Szenarien KS1 und KS4 wird im Jahr 2028 eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut eingeführt, im KS2 (wie auch KS3) dagegen nicht. Daher steigt im KS2 der CO₂-Preis schon vor 2030 deutlich an, um die Zielerreichung im Jahr 2030 zu gewährleisten.

Des Weiteren unterliegen im KS2 die Quellen und Senken der Sektoren Landwirtschaft und LULUCF einem gemeinsamen Handelssystem (AFOLU). Das Klimaschutzgesetz schreibt dem LULUCF-Sektor THG-Ziele für die Jahre 2030, 2040 und 2045 vor. Im Jahr 2045 liegt das Ziel bei einer Netto-Senke in Höhe von 40 Mio.t CO₂e. Für das KS2 gilt die Vorgabe, dass dem Sektor Landwirtschaft diese Senke in voller Höhe für die Anrechnung der THG-Emissionen zur Verfügung steht. Insgesamt sind LULUCF und Landwirtschaft (AFOLU) damit in diesem Szenario 2045 klimaneutral. Der Preispfad wurde basierend auf den Sektorzielen 2030 und 2045 für den LULUCF-Sektor ermittelt. Dabei wurden Kosten berücksichtigt, die entweder im LULUCF-Sektor (z.B. Holzpreis) oder im Landwirtschaftssektor (z.B. betriebliche Kosten) anfallen. Die Zwischenjahre entsprechen einem linearen Pfad. Die niedrigen Preise bewirken im Sektor Landwirtschaft keine Abstockung der Tierbestände.

KS3

Im KS3 wird ab dem Jahr 2031 ein sektorübergreifender THG-Preispfad eingeführt. Bis 2030 werden die Preispfade des EU-ETS 1 und BEHG/ETS-2 aus dem KS2 übernommen. In diesem Szenario wurde darauf abgestellt, dass das THG-Minderungsziel von -88% gegenüber 1990 eingehalten wird.

Um den gemeinsamen THG-Preispfad ab 2031 im KS3 zu ermitteln, wurden zunächst von den Sektoren Industrie und Verkehr unterschiedliche Preispfade gerechnet. Startpunkt im Jahr 2031 waren in allen Pfaden 277 €(2022)/t CO₂e gefolgt von unterschiedlichen Preisdynamiken im Anstieg in den Jahren danach, die unter denen des KS2 lagen. Im Industriesektor führten alle Analysen zu einer Verzögerung der Dekarbonisierung und im Jahr 2040 zu ca. 10 Mio. t CO₂ Mehremissionen im Vergleich zu den Szenarien KS1 und KS4.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Pfade auf den Verkehrssektor waren gering. Die Emissionsergebnisse lagen in allen Jahren sehr nah an den Ergebnissen des KS2. Dies liegt vor allem daran, dass bereits 2030 sehr hohe Preise in diesem Sektor vorlagen, um die Zielerreichung in diesem Jahr zu gewährleisten.

Im KS3 wird im Gegensatz zu KS2 das Ziel, die im Klimaschutzgesetz vorgeschriebene Emissionsminderung von -88% gegenüber 1990 im Jahr 2040 in Summe über alle Sektoren zu erreichen, eingehalten. Im KS2 wurde dieses Ziel verfehlt (siehe Abschnitt 3.1.2). Im KS3 war es erforderlich, dass der Sektor Landwirtschaft seinen Beitrag zur Minderung leistet, um die Mehremissionen im Industriesektor zu kompensieren. Um über das KS2 hinaus weitere Minderungen im Landwirtschaftssektor zu erreichen, wird ein hoher THG-Preis benötigt, der das Minderungspotenzial durch die Abstockung von Tierbestände erschließt. Dazu ist ein hoher THG-Preis im Jahr 2040 nötig. Der Sektor Landwirtschaft ist in Szenario KS3 somit der preissetzende Sektor. Auf Grund der unterschiedlichen Preiseffekte für verschiedene Betriebstypen und in den einzelnen Bundesländern spielen hier auch Annahmen zu der Verteilung von freien Zuteilungen eine Rolle (siehe Sektorpapier zur Landwirtschaft).

KS4

Der EU-ETS-1-Preisfad für das KS4 folgt bis 2035 dem Preisfad des KS1 und wird ab diesem Zeitpunkt bis 2050 konstant gehalten. Hier liegt die Annahme zu Grunde, dass das Stromsystem bis dahin nahezu klimaneutral ist, der Dispatch von erdgasgefeuerten Anlagen wird durch ordnungsrechtliche Maßnahmen heruntergefahren, so dass der EU-ETS-1-Preis als Koordinierungsmechanismus für den Dispatch nicht mehr zentral ist. Gleichzeitig greifen ab 2035 auch in anderen Sektoren vermehrt ordnungsrechtliche Vorgaben.

Für die BEHG/ETS-2-Sektoren folgt der Preisfad im KS4 ebenfalls bis 2035 dem Preisfad des KS1 und wird ab diesem Zeitpunkt bis 2050 konstant gehalten, da die Minderung v.a. über das Ordnungsrecht adressiert wird.

Textbox 1: Disclaimer - Wirkung der CO₂-Preissignale in den Szenarien

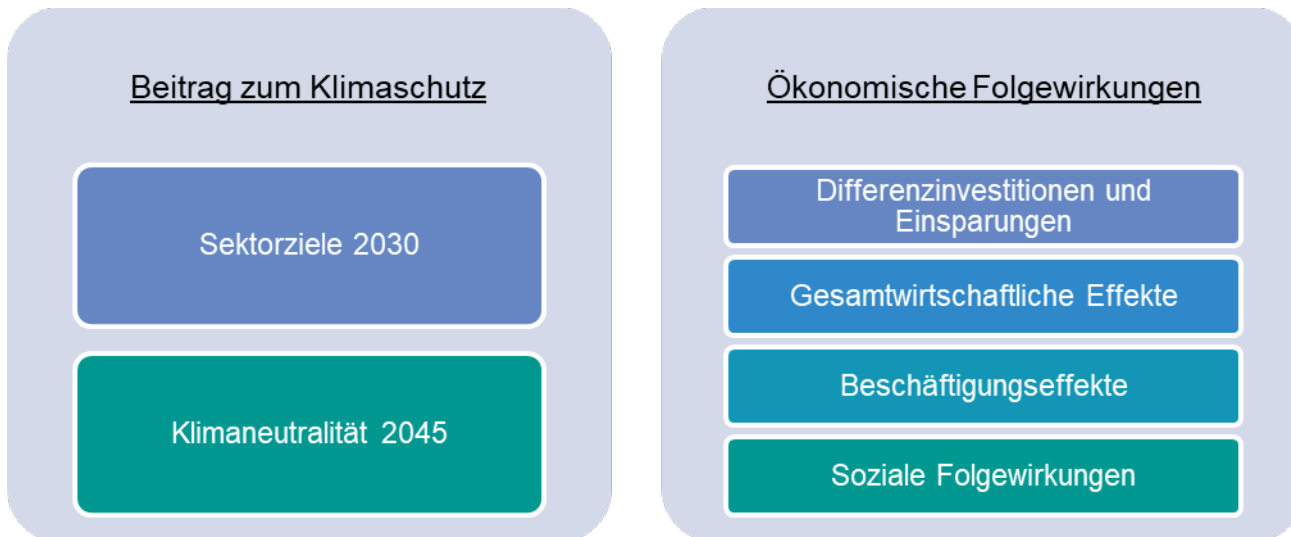
Das EU-ETS-1-Preissignal wirkt in vollem Umfang in der Industrie und Energiewirtschaft. Indirekte Wirkungen über eine daraus folgende mögliche Erhöhung des Strompreises werden allerdings in den Nachfragesektoren nicht aufgegriffen, da in der Modellierung kein iterativer Ansatz verwendet wird. Dies bedeutet, dass die Strompreisentwicklung als Input für die Nachfragesektoren entsprechend der Referenz verläuft. Begründet werden kann dies damit, dass von einem Strommarktdesign ausgegangen wird, das den Strompreis aufgrund des Emissionshandels nicht verteuert, um Anreize für strombasierte Alternativtechnologien zu bieten. Die Differenz zwischen der Strompreisentwicklung in der Referenz und der Strompreisentwicklung, die sich aus Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten für den Einsatz der Stromerzeugungstechnologien ergeben müssten, kann entweder zu Lasten der Wertschöpfung oder zu Lasten der Marge der Erzeugungstechnologien gehen oder durch eine staatliche Vergütung abgedeckt werden. Die erste und dritte Ausgestaltungsart werden in der gesamtwirtschaftlichen Modellierung aufgegriffen.

Das Preissignal aus dem BEHG bzw. ETS2 dagegen kommt über die Brennstoffpreise für Öl und Erdgas vollumfänglich zu jedem Zeitpunkt direkt bei den Nachfragesektoren an und beeinflusst die Wirtschaftlichkeitskalküle.

3 Folgenabschätzung

Im Rahmen der Folgenabschätzung werden die Wirkungen der Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz bewertet. Für die Ermittlung wird ein umfangreiches Modellinstrumentarium verwendet, das alle Bereiche der Volkswirtschaft, alle Energieverbrauchsbereiche und Treibhausgas-Emissionsquellen abdeckt. Das methodische Vorgehen wird in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Die Folgenabschätzung beinhaltet alle drei Säulen der Nachhaltigkeit: ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit. Sie umfasst zum einen den Beitrag der Szenarien zum Klimaschutz, insbesondere mit Blick auf die Erreichung der Sektorziele 2030 und von Klimaneutralität im Jahre 2045. Darüber hinaus werden ökonomischen Folgewirkungen abgeschätzt. Diese umfassen als direkte ökonomische Wirkung die Differenzinvestitionen und Einsparungen durch die Transformation und Maßnahmen in den einzelnen Sektoren. Aufbauend darauf werden die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen abgeschätzt, insbesondere auf Wertschöpfung und Beschäftigung. Soziale Aspekte und Verteilungswirkungen werden insbesondere in den Sektoren aufgegriffen, die direkt die Haushalte betreffen: Gebäude und Verkehr. Sie runden die Folgenabschätzung ab.

Abbildung 3: Untersuchte Kategorien der Folgenabschätzung


Quelle: Eigene Darstellung

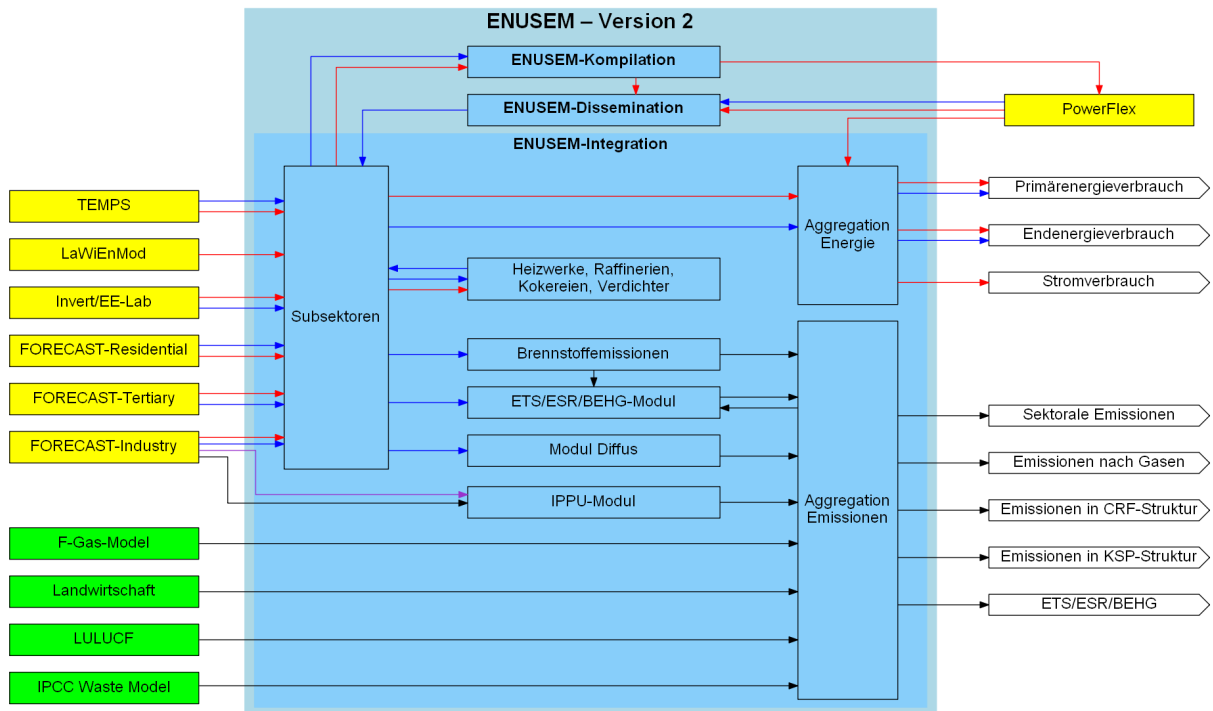
3.1 THG-Emissionen

3.1.1 Vorgehen und Methode

Die sektoralen und gesamten Treibhausgasemissionen basieren auf den Modellierungsergebnissen der einzelnen Sektoren und wurden mit Hilfe des Modells ENUSEM des Öko-Institut ermittelt. ENUSEM „verbindet dabei die wesentlichen Energieflüsse der einzelnen Energiemodelle und berechnet die Emissionen, die aus der Energienutzung entstehen. Daneben stellt es auch Schnittstellen zu Emissionsberechnungen außerhalb des Energiesystems wie z. B. der Landwirtschaft bereit. Neben der reinen Sektorintegration schließt es Lücken, die nicht durch die einzelnen Sektormodelle abgebildet sind.“ (Emele und Moosmann 2022).¹

¹ In ENUSEM werden die Heizwerke, Raffinerien, Kokereien und Verdichter im Erdgasnetz abgebildet, da diese in keinem anderen der Energiemodelle abgebildet sind.

Abbildung 4: Struktur von ENUSEM und Interaktion mit anderen Modellen



blaue Kästen: Integrationsmodell ENUSEM
gelbe Kästen: Sektormodelle Energie
grüne Kästen: sonstige Sektormodelle

rote Pfeile: Brennstoffverbräuche
blaue Pfeile: sonstige Energieverbräuche
schwarze Pfeile: Emissionen
lila Pfeile: sonstige Aktivitätsdaten

Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut).

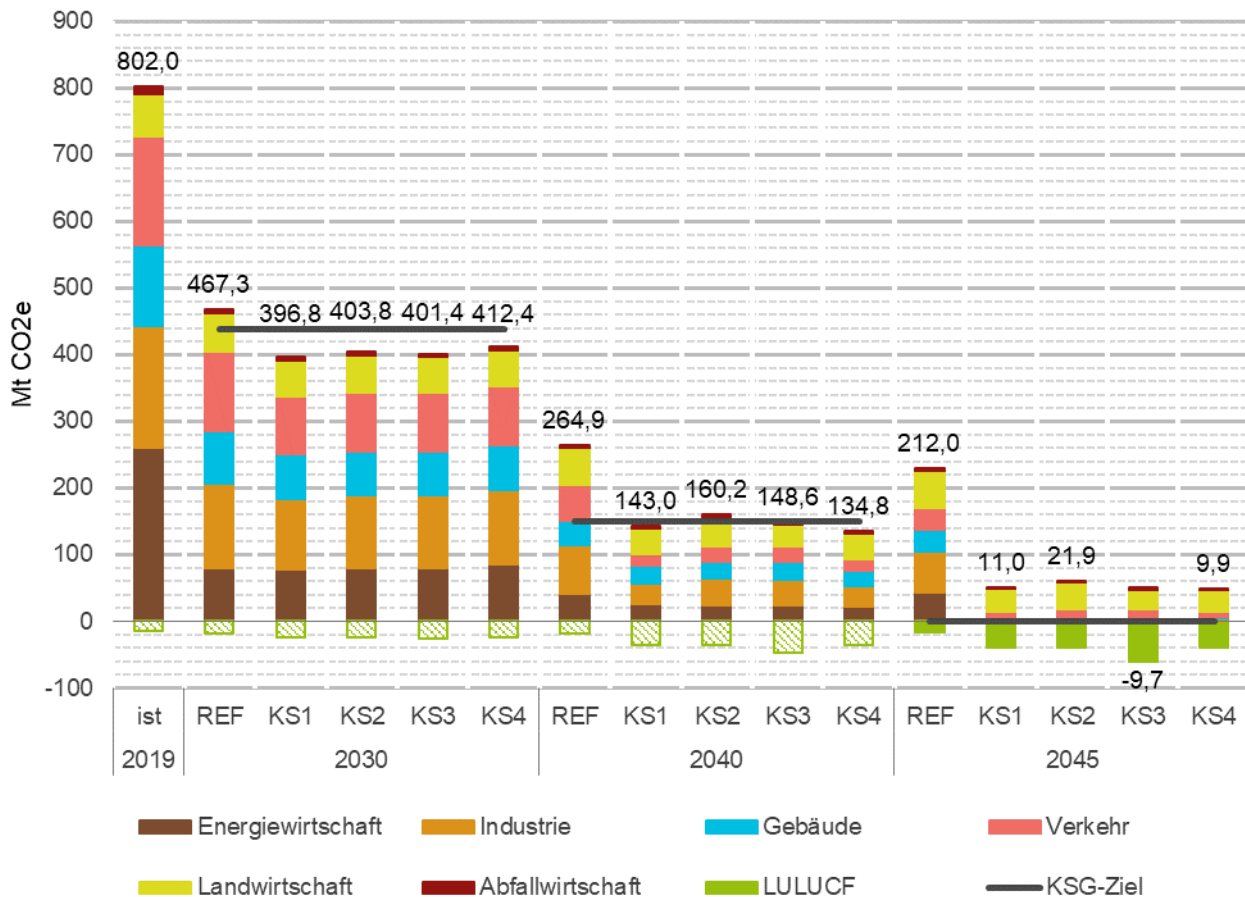
Details zur Berechnung der Treibhausgasemissionen und der sektoralen Zuordnungen können der Modellbeschreibung entnommen werden (Emele und Moosmann 2022).

3.1.2 Ergebnisse

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen über die Zeit insgesamt und in den Sektoren ist in Abbildung 5 dargelegt. Gegenüber dem Basisjahr 2019 halbieren sich in den Klimaschutzszenarien die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030. Folglich wird das Gesamtziel für 2030 (anders als in der Referenz) in Summe in allen vier Klimaschutzszenarien erreicht. Allerdings erreichen nicht alle Sektoren ihre Sektorziele für 2030: Während die Energiewirtschaft, die Industrie und die Landwirtschaft die Sektorziele für 2030 in allen vier Klimaschutzszenarien erreichen, verfehlen der Verkehr und die Abfallwirtschaft ihre Sektorziele in allen vier Klimaschutzszenarien. Der Gebäudesektor hält nur in den Szenarien KS2 und KS3 sein Sektorziel 2030 ein. LULUCF ist nicht in das Gesamtziel für 2030 einbezogen.

Das Ziel, die Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) bis 2040 um 88 % gegenüber 1990 zu mindern, wird im Szenario KS2 leicht verfehlt, in den übrigen Klimaschutzszenarien eingehalten. Die größten Emissionsunterschiede zwischen den einzelnen Klimaschutzszenarien für das Jahr 2040 zeigt sich bei der Landwirtschaft.

Abbildung 5: Treibhausgasemissionen – nach Sektoren und gesamt



Anmerkung: LULUCF wird erst ab 2045 auf das Gesamtziel angerechnet, daher bis 2040 schraffiert dargestellt.
 Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Im Jahr 2045 gibt es kaum noch verbleibende Emissionen und diese werden in den Szenarien KS1, KS2 und KS4 größtenteils durch die LULUCF-Senke kompensiert. Im Szenario KS3 ist die LULUCF-Senke sogar größer als die Restemissionen, so dass sich über alle Sektoren hinweg eine leichte Nettosenke ergibt. Das Ziel der Treibhausgasneutralität wird also nur im Szenario KS3 erreicht, die Verfehlung in den Szenarien KS1 und KS4 beträgt aber weniger als ein Prozent der Emissionen des Bezugsjahrs 1990. Die mit Abstand größten Restemissionen 2045 weist der Sektor Landwirtschaft auf, der gleichzeitig auch die größten Emissionsunterschiede zwischen den Klimaschutzszenarien hat. Während die Landwirtschaftsemissionen in den Szenarien KS1, KS3 und KS4 recht eng beieinander liegen (zwischen 29,7 und 32,9 Mt CO₂e) sind die Landwirtschaftsemissionen im Szenario KS2 deutlich höher (41,0 Mt CO₂e). Zum einen darf der Landwirtschaftssektor in diesem Szenario in voller Höhe auf die Senke des LULUCF-Sektors zugreifen, zum anderen orientiert sich bei der gemeinsamen Bepreisung der Treibhausgasemissionen von Landwirtschaft und LULUCF im Szenario KS2 der Landwirtschaftssektor an den niedrigen Preisen des LULUCF-Sektors und es gibt daher kaum Anreize zur Emissionsminderung in der Landwirtschaft. Die Emissionen im Verkehrssektor, der die zweitgrößten Restemissionen aufweist (zwischen 8,0 und 11,8 Mt CO₂e),

werden hauptsächlich durch die PtL-Kraftstoffe verursacht.² Die Industrie hat die drittgrößten Restemissionen, die ähnlich hoch sind wie die Restemissionen der Energiewirtschaft, Gebäude und Abfallwirtschaft zusammen. Der LULUCF-Sektor ist in allen Szenarien einschließlich des Referenzszenarios durchgehend eine Emissionssenke. Im Jahr 2045 bindet der LULUCF-Sektor 59,9 Mt CO₂ im KS3, was deutlich höher ist als die Senkenleistung in den übrigen Klimaschutzszenarien, wo die Senkenleistung jeweils 39,5 oder 39,6 Mt CO₂e beträgt. In diesem Szenario führt der hohe gemeinsame sektorübergreifende CO₂-Preis dazu, dass im LULUCF-Sektor alle verfügbaren Minderungsoptionen umgesetzt werden.

Über den Gesamtzeitraum zeigt sich, dass in den Szenarien KS2 und KS3 die Emissionsminderungen zeitlich zu späteren Jahren verlagert werden. Folglich haben diese beiden Szenarien ohne Berücksichtigung von LULUCF die höchsten kumulativen Treibhausgasemissionen von 2031 bis 2045, während das Szenario KS1 die geringsten kumulativen Emissionen aufweist. Die Senkenwirkung des LULUCF-Sektors ist im Szenario KS3 durchgehend am größten. Daher ist das Szenario KS3 das einzige Szenario, in dem 2045 eine Nettosenke erzielt wird. Folglich sind die kumulierten Nettoemissionen einschließlich LULUCF in diesem Zeitraum im KS3 am niedrigsten.

² Entsprechend den gültigen Regeln der Treibhausgasinventare müssen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung kohlenstoffhaltiger E-Fuels anders als biogenes CO₂ in die Gesamtsumme miteingerechnet werden. Das bei der Herstellung der E-Fuels genutzte CO₂ kann der CO₂-Quelle (z.B. CCU in der Industrie) abgezogen werden. Da die E-Fuels in den Klimaschutzszenarien größtenteils importiert werden, kann keine inländische CO₂-Senke gegengerechnet werden.

3.2 Gesamtwirtschaftliche Folgewirkungen

Das folgende Kapitel beschreibt die gesamtwirtschaftlichen Folgewirkungen der Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz. Ökonomische Daten aus den Sektormodellen, die zu großen Teilen schon in den jeweiligen Sektorberichten beschrieben wurden, werden als Bottom-up-Impulse in Kombination mit einem makroökonomischen Modell genutzt, um die Folgewirkungen auf das deutsche Bruttoinlandsprodukt (BIP), Wertschöpfung und Beschäftigung abzuschätzen. Im Folgenden wird zunächst die Methodik beschrieben. Anschließend werden die Impulse, aus den Sektormodellen abgeleitet, dargestellt. Letztendlich die Ergebnisse der makroökonomischen Simulation bis 2045 gezeigt.

3.2.1 Methodik

Die möglichen gesamtwirtschaftlichen Folgen der Umsetzung der verschiedenen Klimaschutzszenarien sind von vielen Variablen abhängig. Die Wirkungen auf einzelwirtschaftliche Kennzahlen in den untersuchten Sektoren müssen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene zusammengeführt werden und unter Berücksichtigung der Strukturen und Verflechtungen der deutschen Volkswirtschaft untersucht werden. Zur Abschätzung der Folgewirkungen wird ein ökonomisches Modell eingesetzt, das die deutsche Volkswirtschaft in vereinfachter Form abbildet und die Simulation des Einflusses der szenarienspezifischen Entwicklungen erlaubt.

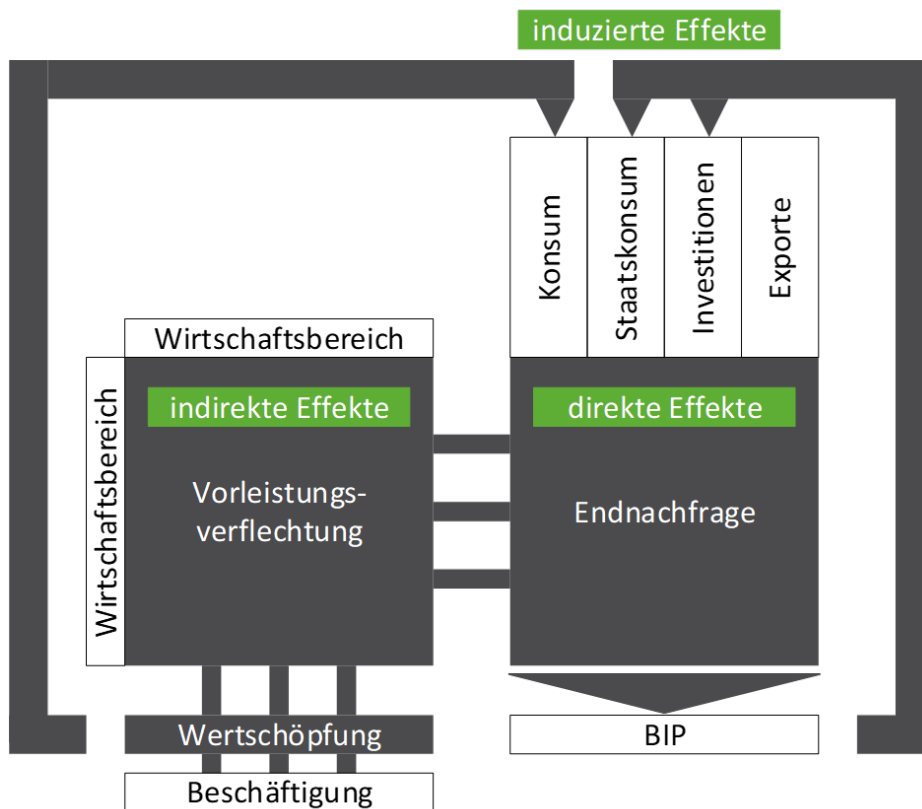
Das Modell ISI-Macro wurde entwickelt, um die ökonomischen Auswirkungen von Nachhaltigkeitsstrategien in Deutschland auf mittel- und langfristige Sicht zu ermitteln (Sievers et al. 2019). Beispiele für Anwendungen umfassen die Folgenabschätzung der Sektorziele 2030 des Klimaschutzplans (Repenning et al. 2019), die Analyse der regionalen Verteilungswirkungen der Energiewende (Sievers 2020) und die Untersuchung möglicher Transformationspfade zur Klimaneutralität (Sievers et al. 2023). ISI-Macro ist ein in System Dynamics implementiertes Simulationsmodell, das vereinfacht als teilweise geschlossenes Input-Output-Modell beschrieben werden kann. Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung des Modells.

Das Herzstück des Modells ist die deutsche Input-Output-Tabelle, welche die Lieferbeziehungen zwischen 72 Produktionsbereichen und den entsprechenden Gütergruppen abbildet (Input-Output-Rechnung 2019, Statistisches Bundesamt 2023a). Die endogen berechnete Endnachfrage bestimmt die Produktion in den einzelnen Produktionsbereichen. Mit der Produktion verbunden ist die Bruttowertschöpfung, die sich aus Arbeitnehmerentgelten, Steuern abzüglich Subventionen, Abschreibungen und Nettobetriebsüberschüssen zusammensetzt. Diese Komponenten beeinflussen das Niveau der inländischen Endnachfrage, also des privaten und staatlichen Konsums sowie der Investitionen. Somit handelt es sich um ein teilweise geschlossenes Modell. Exogene Projektionen des Wirtschaftswachstums in den OECD-Ländern und China, den wichtigsten Exportzielen Deutschlands, sind entscheidend für die zukünftige Entwicklung der Exporte (OECD 2021). Die Produktion in den einzelnen Produktionsbereichen bestimmt den Arbeitskräftebedarf. Dank des exogen vorgegebenen Wachstums der Arbeitsproduktivität kann der Arbeitskräftebedarf trotz Wirtschaftswachstums und demografischem Wandel gedeckt werden. Da eine detaillierte Darstellung des Arbeitskräfteangebots und damit des Arbeitsmarktes fehlt, wird anstelle von Beschäftigung der Begriff Arbeitskräftebedarf verwendet.

Grundsätzliche Kritik an Input-Output-Rechnung trifft zu großen Teilen auch auf ISI-Macro zu: die Verwendung von linear-proportionalen Produktionsfunktion (alle Produktionsfunktionen stehen in einem konstanten und proportionalen Verhältnis zueinander und zum Output), die Annahme

homogener Güter (je Produktionsbereich ein homogenes Gut, keine Differenzierung) und das konstante Verhältnis zwischen monetären und physischen Flüssen, unabhängig davon an welchen Produktionsbereich ein Gut geliefert wird. Diesen Einschränkungen wird durch die Integration von bottom-up-Impulsen begegnet, die beispielsweise die Produktionsstruktur in von den Klimaschutz Szenarien betroffenen Produktionsbereichen verändern können (z.B. Energieträgerwechsel, Stromerzeugung mit Erneuerbaren, elektrifizierte Fahrzeuge etc.). Bottom-up-Impulse aus den Sektormodellen weisen jedoch nicht die gleiche Granularität auf wie die Input-Output-Tabelle und es kann hier zu Unschärfen kommen.

Abbildung 6: Schematische Darstellung des Modells ISI-Macro



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI)

Im Rahmen der vorliegenden gesamtwirtschaftlichen Folgenabschätzung werden die Klimaschutzszenarien immer im Vergleich zur Referenz untersucht. Das Modell ISI-Macro ist zunächst auf die Entwicklung von Bevölkerung und BIP der Rahmendaten im Projektionsbericht 2023 angepasst (Mendelevitch et al. 2024). Die Szenarien werden in der Simulation durch das Einbeziehen sogenannter ökonomischer Bottom-up-Impulse umgesetzt. Die Impulse beschreiben exogen die Änderung in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz in den Nachfragekategorien Investitionen, Konsum und Handelsbilanz, sowie in den bezogenen Vorleistungen von Wirtschaftszweigen und dem Staatshaushalt.

Der Staatshaushalt bildet dabei eine vereinfachte und auf die untersuchten Szenarien beschränkte Einnahmen und Ausgaben-Perspektive des Staates ab. Einnahmen des Staates sind Steuern und andere Abgaben, die von Unternehmen oder privaten Haushalten entrichtet werden und diese

belasten. Ausgaben des Staates sind Subventionen und Zuschüsse, die gleichzeitig Unternehmen und private Haushalte entlasten.

Die Impulse sind durch die Ergebnisse der Modellierung in den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, LULUCF und Abfallwirtschaft bestimmt. Im Bereich Gebäude werden so beispielsweise die Investitionen in die Gebäudehülle und Heiztechnologien sowie die Energieausgaben von privaten Haushalten und Unternehmen abgebildet. Im Bereich der Energiewirtschaft werden Investitionen in die Infrastruktur zur Energieerzeugung und die Brennstoff- sowie Betriebskosten der Anlagen berücksichtigt. Exogene Impulse auf die Handelsbilanz sind auf den Handel mit Energieträgern beschränkt.

Die Impulse werden im Folgenden zunächst nach den genannten Sektoren gegliedert dargestellt. Zur Integration in das Modell ISI-Macro werden die Impulse in die Systematik der Input-Output Tabelle überführt, um genau die Wirtschaftszweige anzusteuern, die die entsprechende Technologie oder Infrastruktur produzieren, die benötigte Dienstleistung erbringen oder den erforderlichen Energieträger bereitstellen. Dazu wird für jeden Einzelimpuls eine Aufteilung in die 72 Wirtschaftszweige der Input-Output Tabelle vorgenommen. Die Aufteilung erfolgt auf Basis einer auf Literatur und Expertenschätzungen beruhende Datenbank des Fraunhofer ISI und des Öko-Instituts.

Die Nachfrageänderungen, die durch die Impulse ausgelöst werden, wirken einerseits direkt auf die betroffenen Wirtschaftsbereiche. Andererseits führen sie zu indirekten Effekten in den vorgelagerten Wirtschaftsbereichen und – bedingt durch die Modellschließung – zu induzierten Effekten. Induzierte Effekte sind Nachfrageeffekte, die sich aus einer veränderten Wirtschaftsstruktur ergeben, etwa durch veränderte Löhne und das daraus resultierende angepasste Konsumbudget. Dank der Implementierung in System Dynamics können die Auswirkungen der in jährlichen Zeitschritten integrierten Impulse über einen längeren Zeitraum hinweg dargestellt werden.

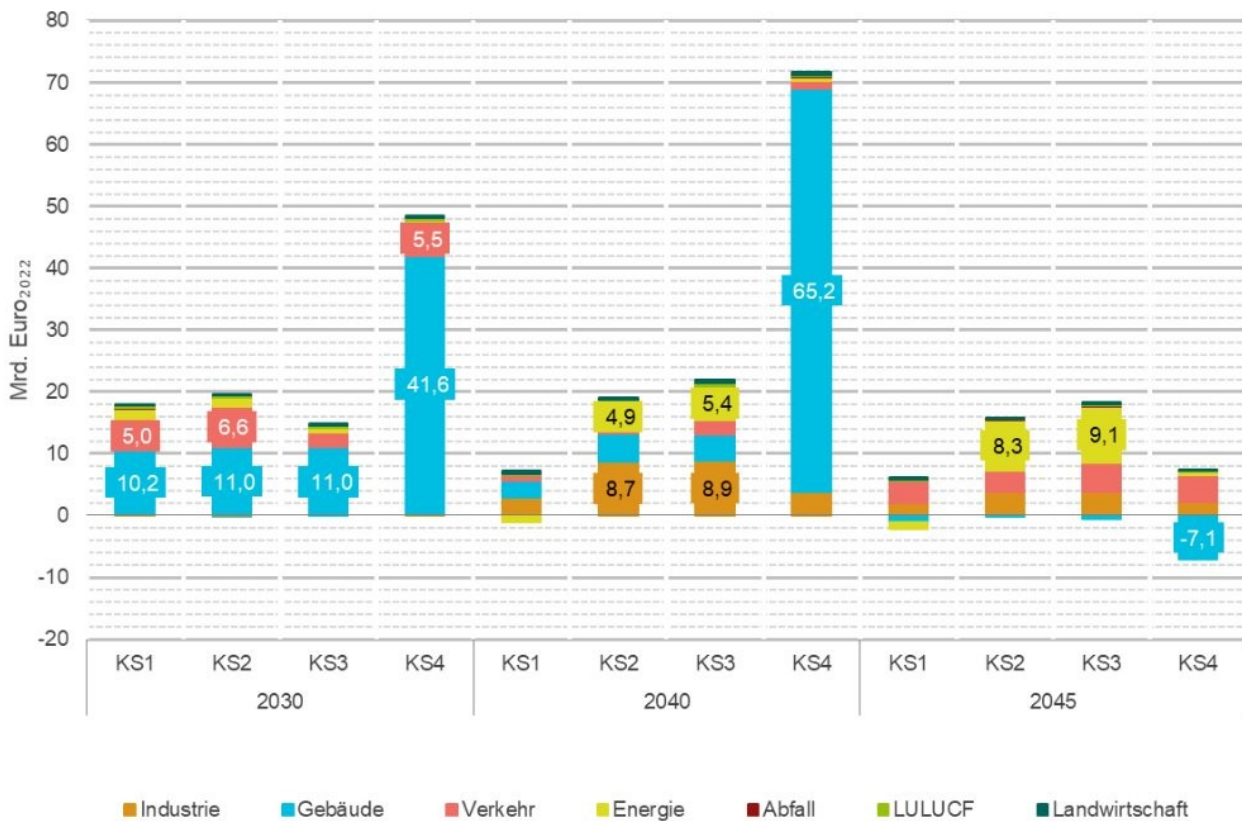
3.2.2 Impulse

Im Folgenden werden die einbezogenen bottom-up Impulse entsprechend der genannten Kategorien Investitionen (Abschnitt 3.2.3), Konsum (Abschnitt 3.2.3.1), Vorleistungen (Abschnitt 3.2.3.2), Handel (Abschnitt 3.2.3.3) und Staatshaushalt (Abschnitt 3.2.3.4) dargestellt und beschrieben. Dabei wird auch darauf eingegangen, welche Wirkung Impulse aus der jeweiligen Kategorie im Modell haben können, um die Interpretation der Modellergebnisse in Abschnitt 3.2.4 einzuleiten.

3.2.3 Investitionen

Im Modell führen Bottom-up-Impulse zu Nachfrage bei Investitionsgüterherstellern und Dienstleistungen im In- und Ausland. Das Nachfrageniveau erhöht sich bei positiven Impulsen auf Investitionen, da die Investitionstätigkeit im Modell nicht begrenzt ist. In der Simulation der gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse wird eine Sensitivität gerechnet, die den Einfluss dieser Annahme zum Investitionsniveau kritisch untersucht. Mittel- und langfristig führen höhere Investitionen auch zu höheren Abschreibungen. Die zusätzlichen Abschreibungen, die aufgrund der exogen festgelegten Investitionen im Rahmen der Klimaschutzszenarien entstehen, wurden entsprechend der angenommenen Lebensdauern der Technologien ermittelt und in der Simulation berücksichtigt. Die Abschreibungen haben einen dämpfenden Effekt. Der dämpfende Effekt verteilt sich in der Simulation über die Lebensdauer der Technologien, während der Investitionsimpuls eher direkt wirkt.

Abbildung 7: Impulse durch Investitionen auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

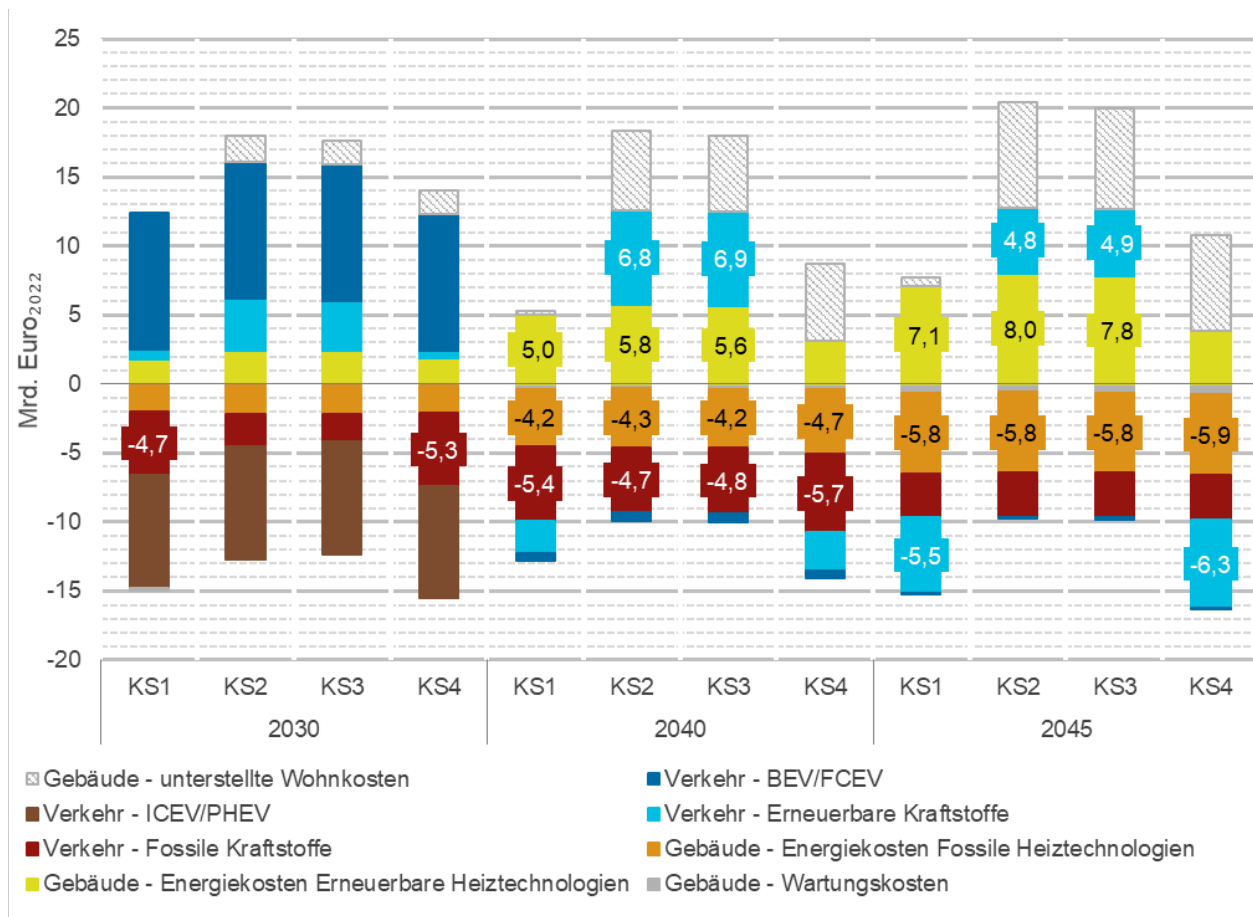
In Abbildung 7 ist jeweils die Abweichung der Investitionen in den untersuchten Sektoren von der Referenz dargestellt. Auch staatliche Investitionen sind inkludiert. Die Investitionen sind in allen KS höher als in der Referenz. Im Jahr 2030 sind die größten Abweichungen in den Sektoren Gebäude und Verkehr zusehen, wohingegen es in den anderen Sektoren nur geringe Abweichungen von der Referenz gibt. In Industrie und Energiewirtschaft gibt es bis 2030 nur geringe Unterschiede zwischen Referenz und Klimaschutzszenarien. Erst in den Jahren 2040 und 2045 zeigen sich höhere Investitionen im Vergleich zur Referenz. Dies ist in der speziellen Ausgestaltung der Szenarien begründet: In der Referenz werden bis 2030 bereits Investitionen getätigt, die nahe an ein Zielerreichung 2030 heranreichen. Die Klimaschutzszenarien fahren diesen Weg weitgehend nach (mit kleinen Anpassungen, um die Zielerreichung abzusichern). Etwa ab 2035 verlässt das Referenzszenario nach und nach den Zielpfad – dies wird in den Klimaschutzszenarien behoben. Für die Industrie zeigt sich dies deutlich in der aggregierten Darstellung im 2040-Stützjahr in den Szenarien KS2 und KS3. Auch in der Energiewirtschaft sind die Unterschiede in KS2 und KS3 in 2040 und 2045 besonders deutlich, was am höheren Stromverbrauch in diesen Szenarien liegt, der zusätzliche Investitionen in Erzeugungskapazitäten und Flexibilitäten (Batteriespeicher und Elektrolyseure) erfordert. Die ordnungsrechtlichen Maßnahmen in KS4 und insbesondere die energetischen Mindesteffizienzstandard im Gebäudebereich führen zu deutlich höheren Investitionen als in den übrigen Szenarien. KS1 zeigt in Summe die geringsten zusätzlichen Investitionen im Vergleich zur Referenz

3.2.3.1 Konsum

Die Höhe des gesamten Konsums ergibt sich im Modell aus dem verfügbaren Einkommen. Impulse auf den Konsum verändern somit die Nachfragestruktur, nicht die absolute Konsumhöhe. Eine Änderung der Nachfragestruktur des Konsums kann zum Beispiel bedeuten, dass relativ gemessen am Gesamtkonsum mehr Güter aus einem Wirtschaftszweig nachgefragt werden, während dadurch die Nachfrage nach anderen Gütern sinkt. Gesamtwirtschaftlich wirken die Konsumimpulse auch durch eine Änderung der Handelsbilanz durch die Verschiebung der Nachfrage in Wirtschaftszweige mit anderen Anteilen inländischer Produktion.

Gezeigt ist in Abbildung 8 der Konsumimpuls aus den Sektormodellen, und zwar jeweils die Abweichung zwischen den Klimaschutzszenarien und der Referenz in Mrd. Euro für die Jahre 2030, 2040 und 2045. Die unterschiedlichen Sektoren und Technologien werden farblich differenziert. Der Konsumimpuls ist in Abbildung 8 ohne Steuern, wie beispielsweise Energiesteuern für Haushalte, dargestellt. Modellendogene Änderungen der Konsumstruktur, die sich aus den Impulsen ergeben, sind in der Abbildung nicht gezeigt. Auch modellendogene Änderungen der Konsumhöhe aufgrund gesamtwirtschaftlicher Effekte werden nicht dargestellt.

Abbildung 8: Impulse durch Konsum auf Ebene der Sektoren und Technologien – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Im Jahr 2030 ist der Konsumimpuls stark von den Ausgaben der privaten Haushalte für Fahrzeuge geprägt. Zusätzliche Ausgaben für elektrifizierte Fahrzeuge im Vergleich zur Referenz stehen

geringeren Ausgaben für Fahrzeuge mit fossilen Antrieben im Vergleich zur Referenz gegenüber. Ab dem Jahr 2040 zeigen sich Unterschiede zur Referenz vor allem in Hinblick auf Energieträgerwechsel in den Sektoren Gebäude und Verkehr. Zusätzliche Nachfrage nach erneuerbaren Energien steht dabei meist weniger Nachfrage nach fossilen Energieträgern gegenüber.

KS2 und KS3 sind sehr ähnlich, die höhere Nachfrage nach Erneuerbaren im Vergleich zur Referenz übersteigt die geringere Nachfrage nach fossilen Energieträgern, wobei zu beachten ist, dass Steuern, CO₂-Kosten etc. nicht mit abgebildet sind. Unterschiede zwischen den Klimaschutzszenarien betreffen vor allem die Ausgaben für Erneuerbare Kraftstoffe im Verkehr. Während in KS2/KS3 die Ausgaben für Erneuerbare Kraftstoffe im Verkehr höher liegen im Vergleich zur Referenz, liegen sie in KS1/4 durch die geringere Verkehrsnachfrage geringer als in der Referenz.

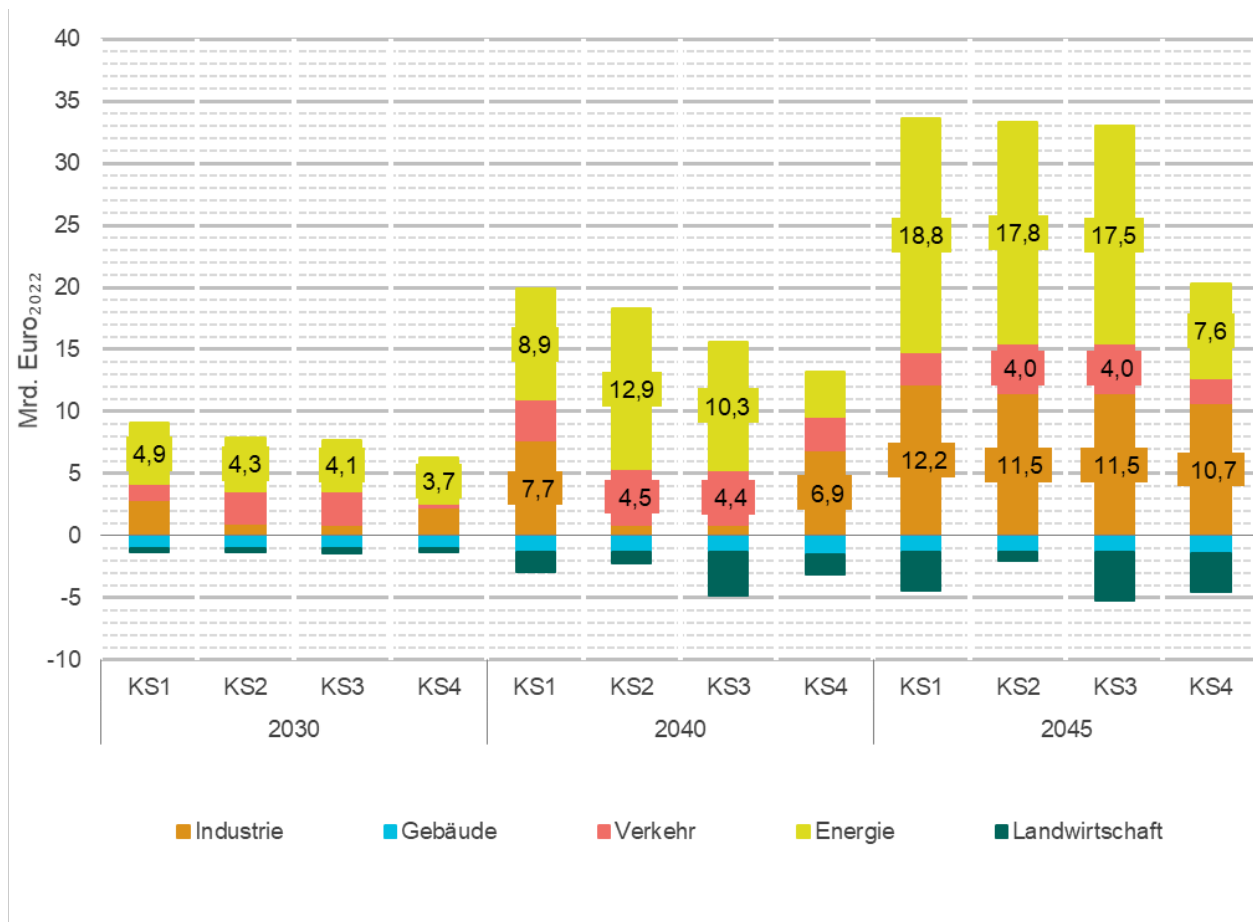
Darüber hinaus gibt es Unterschiede zwischen den Szenarien bei den unterstellten Wohnkosten. Diese sind in der Abbildung als gestrichelter Balken dargestellt und errechnen sich als Umlage der Investitionen in Wohngebäude nach Abzug der Förderung. Dabei wurde von einer Umlage in Höhe von 6% ausgegangen, die berücksichtigt, dass die rechtlich möglichen 8% Modernisierungsumlage nicht immer umgesetzt werden. Unterstellte Wohnkosten spielen im Zeitverlauf zunehmende Rolle. Unterstellte Wohnkosten sind in KS1 ähnlich hoch wie in der Referenz, wohingegen sie in den anderen Klimaschutzszenarien deutlich höher sind als in der Referenz.

3.2.3.2 Vorleistungen

Vorleistungs-Impulse verändern die Produktionsstruktur und bilden die sich ändernde Nachfrage der Sektoren nach intermediären Inputs in ihre eigene Produktion ab. Bei unverändertem Produktionswert kann beispielsweise auch der Wechsel zu teureren Energieträgern die Vorleistungen erhöhen und damit die Wertschöpfung verringern. Eine höhere Produktion führt auch ohne veränderte Vorleistungsstruktur zu höheren Vorleistungsbezügen (Bsp. Energie). Höhere Vorleistungen bedeuten entsprechend nicht immer geringere Wertschöpfung. Impulse auf die Vorleistungen können, ähnlich wie im beschriebenen Prinzip beim Konsum, gesamtwirtschaftlich wirken z.B. durch Änderung der Handelsbilanz.

In Abbildung 9 sind die Vorleistungs-Impulse als Abweichung zwischen Klimaschutzszenarien und Referenz für die Jahre 2030, 2040 und 2045 dargestellt. Die Darstellung enthält keine Steuern. Die gestapelten Balken zeigen in farblicher Differenzierung die Vorleistungs-Impulse je nachfragendem Sektor und bilden damit bereits die Nettowirkung aus positiven und negativen Effekten innerhalb des Sektors ab.

Abbildung 9: Impulse durch Vorleistungen auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

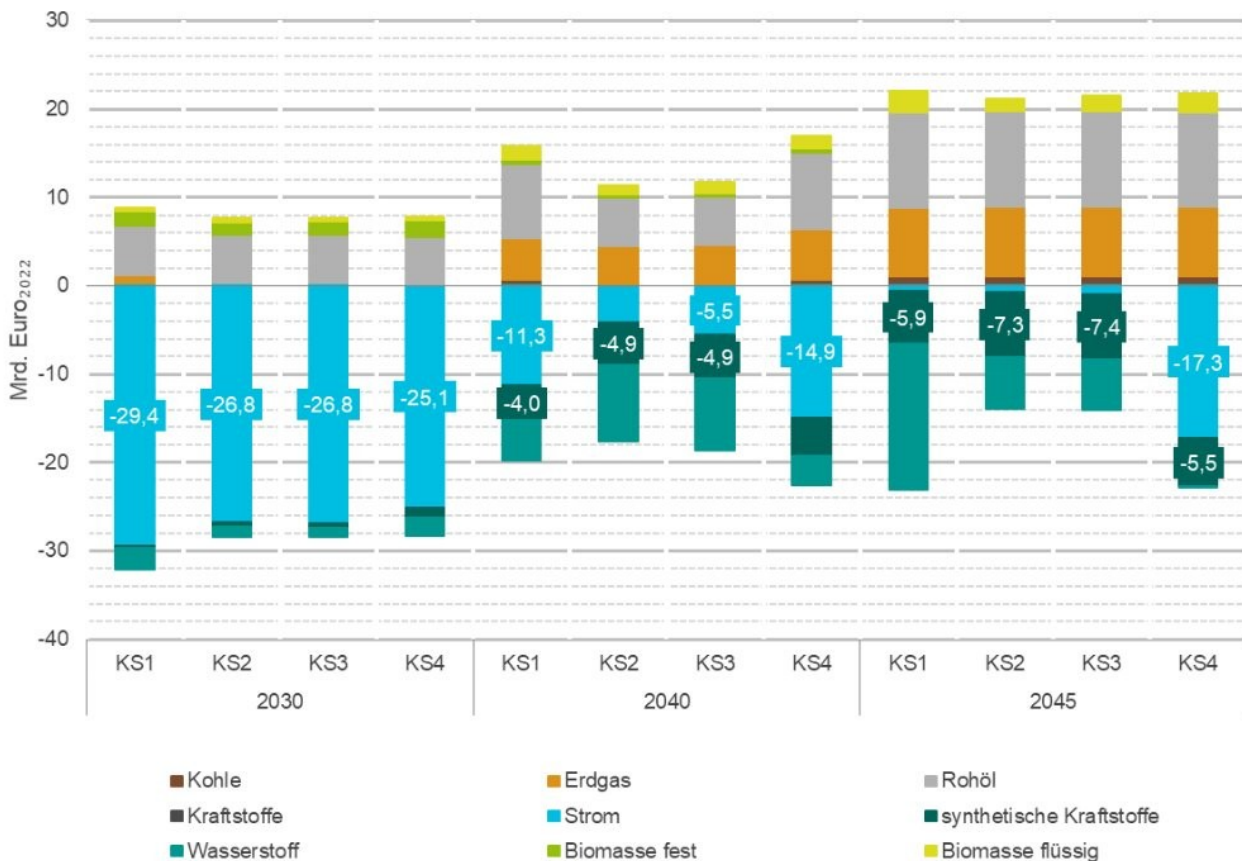
In allen Klimaschutzszenarien zeigen sich höhere Vorleistungsbezüge als in der Referenz (in KS4 weniger stark als in KS1 bis KS3). Die Unterschiede werden zum Ende des Szenarienzeitraums größer. Am deutlichsten sind sie in der Industrie (Wechsel zu teureren Energieträgern) und in der Energiewirtschaft (höhere Produktion, sowie Wasserstoff als teuren Energieträger).

3.2.3.3 Außenhandel

Abbildung 10 zeigt die Handelsbilanz in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz in Hinblick auf Energieträger, die als unterschiedlich gefärbte gestapelte Balken dargestellt werden. Negative Balken bedeuten mehr Importe oder weniger Exporte als in der Referenz, positive Balken bedeuten entsprechend weniger Importe oder mehr Exporte als in der Referenz. Ein positiver Impuls durch Handel, also mehr Exporte oder weniger Importe wirken positiv auf die Gesamtwirtschaft.

Neben dem exogen berücksichtigten Handel mit Energieträgern können auch weitere Impulse (z.B. Investitionen) direkt und indirekt auf Handelsbilanz wirken, indem sie Produktionsstruktur oder Nachfrageniveau verändern. Dies wird modellendogen abgebildet.

Abbildung 10: Impulse durch Handel mit Energieträgern auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Die Handelsbilanz fällt im Jahr 2030 in allen Klimaschutzszenarien deutlich negativer aus als in der Referenz. Die in den Klimaschutzszenarien stärker ausgeprägte Elektrifizierung und damit höherer inländische Nachfrage nach Strom und der im Vergleich dazu verzögerte Ausbau von Erzeugungskapazitäten führen zu einer deutlich negativen Handelsbilanz für Strom, was den Gesamteffekt maßgeblich bestimmt.

Dies ist auch im Jahr 2040 ein Grund dafür, dass der Gesamteffekt im Vergleich zur Referenz immer noch leicht negativ ist, mit nur geringen Unterschieden zwischen den Klimaschutzszenarien. Im Jahr 2045 ist in KS1 und KS4 der Gesamteffekt auf die Handelsbilanz ähnlich wie in der Referenz. Den geringeren Importen von fossilen Energieträgern und Biomasse stehen in etwa gleicher Größenordnung höhere Importe von synthetischen Kraftstoffen und Wasserstoff (KS1) bzw. synthetischen Kraftstoffen und Strom (KS4) gegenüber. In KS2 und KS3 hingegen fällt der Effekt auf die Handelsbilanz im Vergleich zur Referenz insgesamt positiv aus, was auf geringere Wasserstoffimporte als in KS1 zurückzuführen ist.

3.2.3.4 Staat

Die in Abbildung 11 dargestellten Impulse auf den Staatshaushalt umfassen Einnahmen und Ausgaben, die in den Klimaschutzszenarien durch die jeweilige Ausgestaltung der Transformation

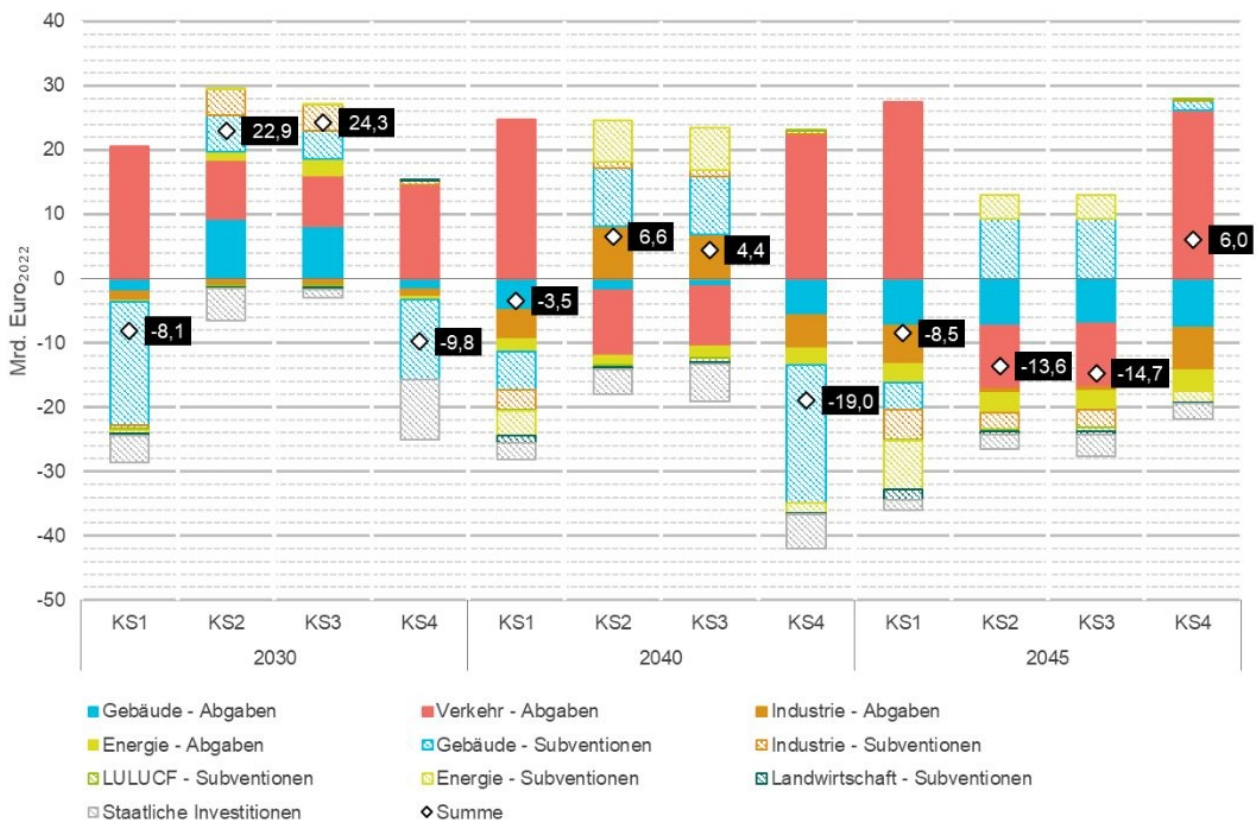
in den verschiedenen Sektoren hin zu Treibhausgasneutralität entstehen. Die unterschiedlichen Einnahmen und Ausgaben sind in gestapelten Balken abgebildet. Ausgaben (Subventionen, staatliche Investitionen) sind schraffiert dargestellt, Einnahmen (Steuern und Abgaben) ausgefüllt, die Farben beziehen sich auf den zugrundeliegenden Sektor.

Durch Unternehmen oder privaten Haushalten entrichtete Steuern und Abgaben wirken positiv, Subventionen und staatliche Investitionen wirken negativ auf Staatshaushalt. In der Abbildung sind die Klimaschutzszenarien jeweils im Vergleich zur Referenz gezeigt. Positive Balken können also sowohl durch Mehreinnahmen aufgrund höherer Abgaben, als auch durch weniger Staatsausgaben für Subventionen bedingt sein.

Gezeigt ist lediglich der direkte Impuls durch die Szenarien. Indirekte Wirkungen etwa durch eine veränderte gesamtwirtschaftliche Aktivität in den unterschiedlichen Szenarien werden modellendogen abgebildet.

Die gesamtwirtschaftliche Wirkung des Impulses auf den Staatshaushalt ist abhängig von der Form der Gegenfinanzierung von Haushaltsdefiziten bzw. der Verwendung von Überschüssen. Unterschiede in der Wirkung auf die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse werden mittels Sensitivitätsanalyse abgebildet (vgl. Abschnitt 3.2.4)

Abbildung 11: Impulse auf den Staatshaushalt auf Ebene der Sektoren – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



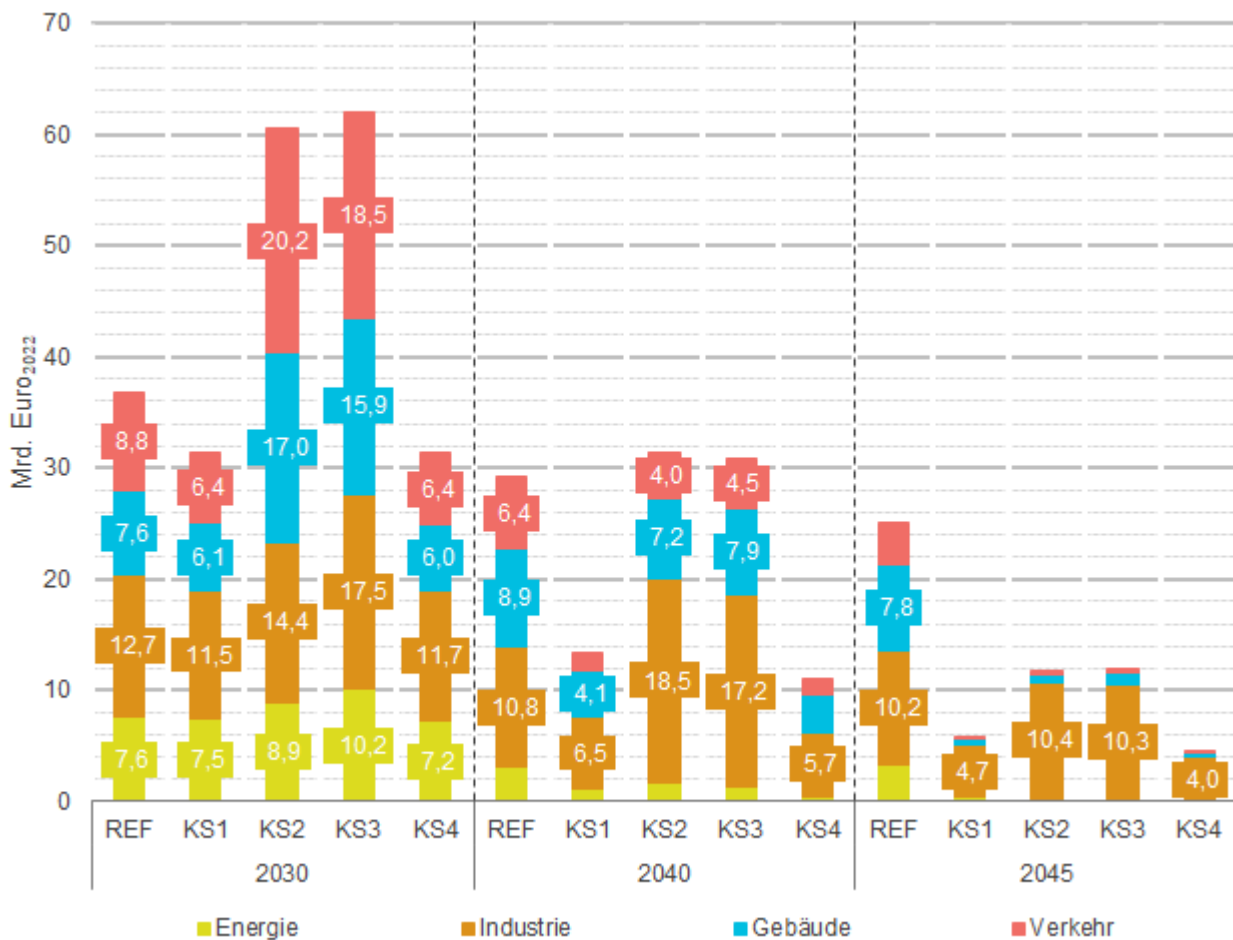
Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien zeigen sich in Hinblick auf Abgaben und Subventionen in den Sektoren Gebäude und Verkehr. Die unterschiedliche Ausgestaltung der

Szenarien führt dazu, dass im Gebäudesektor in KS1 und KS4 mehr Subventionen fließen als in der Referenz, in KS2 und KS3 hingegen weniger. Im Verkehrssektor wirken in KS1 und KS4 die Einnahmen durch die Maut im Vergleich zur Referenz positiv.

Der Gesamteffekt ist in der Abbildung als Raute dargestellt und mit Zahlenwert hinterlegt. In KS2 und KS3 ist der Gesamteffekt im Vergleich zur Referenz im Jahr 2030 zunächst deutlich positiv, wird jedoch im Jahr 2045 deutlich negativ. In KS1 zeigt sich ein leicht negativer Effekt auf den Staatshaushalt im Vergleich zur Referenz. In KS4 ist der Gesamteffekt zunächst negativ (insbesondere im Jahr 2040), im Jahr 2045 aber leicht positiv.

Abbildung 12: Einnahmen aus dem Emissionshandel in den Sektoren pro Stützjahr



Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI); Modellrechnungen: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Die Einnahmen aus den Emissionshandelssystemen werden in Abbildung 12 noch einmal separat dargestellt. Während Klimaschutz im KS1 eher durch Förderanreize und im KS4 durch ordnungsrechtliche Maßnahmen angereizt wird, werden die Klimaschutzziele in den Szenarien KS2/3 maßgeblich durch die Bepreisung von Treibhausgasemissionen erreicht. Daraus ergeben sich zwischen den Szenarien erhebliche Unterschiede in Bezug auf die Einnahmen aus dem Emissionshandel, die für die Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen verwendet werden können.

Abbildung 12 zeigt die CO₂-Preis-Einnahmen über die Sektoren Energie, Industrie, Gebäude und Verkehr in den verschiedenen Szenarien. Im Zeitverlauf sinken die Einnahmen in allen

Klimaschutzszenarien deutlich, während die Einnahmen im Referenzszenario nur leicht sinken. Zusätzlicher Klimaschutz führt mittelfristig vor allem zu einer schnelleren Abkehr von fossilen Energieträgern und damit zu Emissionseinsparungen. Damit sinken auch die Einnahmen aus dem Emissionshandel. Selbst bei sehr hohen CO₂ Preisen im KS2/3 sind nach 2040 niedrigere Einnahmen zu erwarten als im Referenzszenario.

In den Szenarien KS1/4, in denen zusätzlicher Klimaschutz primär durch andere Maßnahmen und komplementär durch CO₂ Preise angereizt wird und in denen die CO₂-Preise geringer sind, liegen die Einnahmen aus dem Emissionshandel unter dem Niveau der Referenz und deutlich unter dem Niveau der Szenarien KS2/3.

Insbesondere in den Sektoren Gebäude und Verkehr sind die Unterschiede zwischen den Szenarien um das Jahr 2030 beträchtlich, da hier auch in den Klimaschutzszenarien bis in die 2030iger hinein noch große Emissionsmengen anfallen. Bis 2045 wird in den Klimaschutzszenarien dann aufgeholt und es sinken die Emissionen und damit die Einnahmen sowohl im Verkehr als auch bei den Gebäuden auf ein geringes Niveau, während die Einnahmen in der Referenz im Gebäudesektor sogar ansteigen bis zum Jahr 2040.

Im Energiesektor befinden sich die Emissionen und damit die Einnahmen in allen Szenarien bereits um das Jahr 2030 auf einem moderaten Niveau, da die Transformation hier schon weit voran geschritten sein wird. Nach 2030 sinken die Einnahmen in den Klimaschutzszenarien schnell auf ein geringes Niveau.

Im Industriesektor zeigen sich vor allem nach 2030 große Unterschiede in den CO₂-Preis-Einnahmen zwischen den Szenarien. Die Emissionsminderungen in den Klimaschutzszenarien sind im Vergleich zu den anderen Sektoren nur moderat. Die höheren CO₂-Preise in KS2/3 überkompensieren bis zuletzt die Emissionsminderung, sodass das Einnahmenniveau über dem der Referenz bleibt. In den Szenarien KS1/4 sinken die Einnahmen dagegen auf unter die Hälfte.

3.2.4 Ergebnisse

Das folgende Kapitel enthält die Ergebnisse der gesamtwirtschaftlichen Folgenabschätzung. Es handelt sich um Modellergebnisse aus ISI-Macro. Die Funktionsweise des Modells sowie die Impulse für die Folgenabschätzung sind in den beiden vorhergehenden Kapiteln beschrieben.

Die gesamtwirtschaftliche Folgewirkungen für Deutschland werden zunächst in Form der relativen Abweichung des BIP in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz dargestellt. Außerdem wird die Abweichung der absoluten Bruttowertschöpfung differenziert nach betroffenen Wirtschaftsbereichen untersucht. Abschließend wird gezeigt, welcher Arbeitskräftebedarf mit den jeweiligen makroökonomischen Simulationen der Klimaschutzszenarien verbunden ist

Die Modellergebnisse beruhen auf den Annahmen eines ausgeglichenen Staatshaushalts und unbeschränkt möglicher Investitionstätigkeit. Dabei reduzieren Haushaltsdefizite, die sich aus dem Impuls auf den Staatshaushalt ergeben den sonstigen Staatskonsum in gleicher Höhe. Überschüsse ermöglichen zusätzlichen Staatskonsum.

Für die aggregierten Ergebnisse auf das deutsche BIP werden zusätzlichen zwei Sensitivitäten dargestellt, die alternative Annahmen in Hinblick auf den Umgang mit den Impulsen auf den Staatshaushalt sowie der getätigten Investitionen untersuchen. Einmal wird alternativ von einem starken Crowding-Out ausgegangen, wobei sowohl das gesamtwirtschaftliche Investitionsniveau konstant gehalten wird und zudem der Staatshaushalt statt über einen angepassten Staatskonsum

über eine angepasste Investitionstätigkeit ausgeglichen wird. Die zweite betrachtete Alternative geht davon aus, dass Investitionen, wie in der Hauptrechnung, uneingeschränkt möglich sind, und außerdem Staatsschulden aufgebaut werden können. Positive Impulse auf den Staatshaushalt münden dabei in keine Mehrausgaben des Staates.

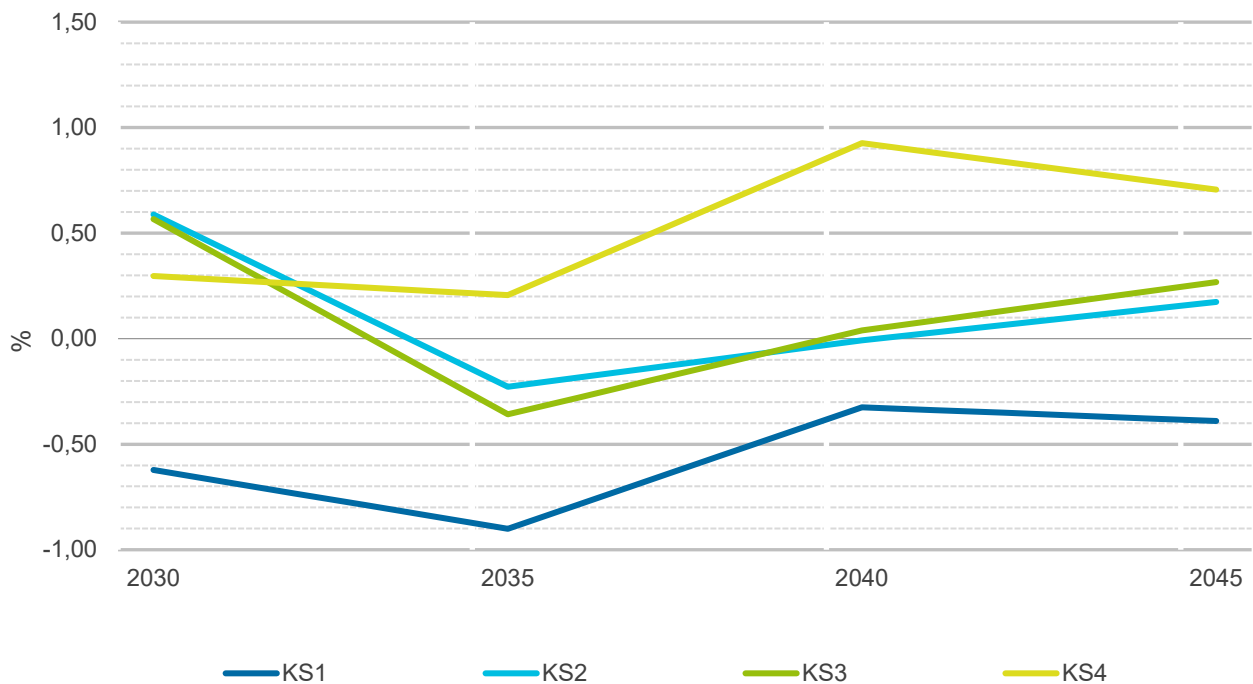
3.2.4.1 BIP

Abbildung 13 zeigt die relative Abweichung des Bruttoinlandsprodukts der Klimaschutzszenarien von der Referenz. Sie liegt zwischen -1 % und +1 %.

Negative Effekte im Vergleich zur Referenz sind insbesondere in KS1 deutlich. Zum einen wirkt der negative Impuls auf die Handelsbilanz im Vergleich zur Referenz negativ auf das BIP. Zum anderen führen unter anderem die ausgezahlten Investitionszuschüsse zu einem negativen Impuls auf den Staatshaushalt mit entsprechend negativer Wirkung auf die Gesamtwirtschaft. Die entlastende Wirkung der empfangenen Investitionszuschüsse bei den Unternehmen ist hingegen über einen größeren Zeitraum verteilt und kann diesen Effekt daher nicht direkt ausgleichen. Zudem ist KS1 das Klimaschutzszenario mit den geringsten Investitionen.

Die am deutlichsten positive Effekte im Vergleich zur Referenz treten in KS4 auf. Insbesondere im Jahr 2040 wird in diesem Szenario deutlich mehr investiert als in den anderen Szenarien, was als positiver Nachfrageeffekt auf die Gesamtwirtschaft wirkt. Ein dämpfender Effekt durch damit einhergehende höhere Abschreibungen wirkt hingegen erst langfristig.

Allerdings wird im Rahmen der Szenariodefinition in keinem der Szenarien von potenziellen Abwanderungen oder Investitionsverlagerungen ausgegangen, es findet weder Carbon Leakage noch Green Leakage statt. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass die für die Transformation benötigten Investitionen, Prozessumstellungen und Energieträgerwechsel getätigt werden. Die daraus resultierenden Kosten und ihrer Verteilung auf unterschiedliche Akteure werden berücksichtigt. Von besonderer Relevanz ist dieser Aspekt für die Grundstoffindustrie in KS4, wo die Differenzkosten zu konventionellen Verfahren weder durch Subventionen (wie in KS1) noch durch hohe CO₂-Preise (wie in KS2/3) ausgeglichen werden können. Damit einhergehende Weiterreichung der Kosten entlang der Wertschöpfungskette bis hin zum Endkunden könnten möglicherweise die Wettbewerbsfähigkeit deutlich negativ beeinflussen, was so nicht in der Modellierung berücksichtigt ist. Insbesondere die Ergebnisse in KS4 sind dahingehend mit Vorsicht zu interpretieren.

Abbildung 13: BIP – Relative Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz

Quelle: Eigene Darstellung und Modellrechnung (Fraunhofer ISI).

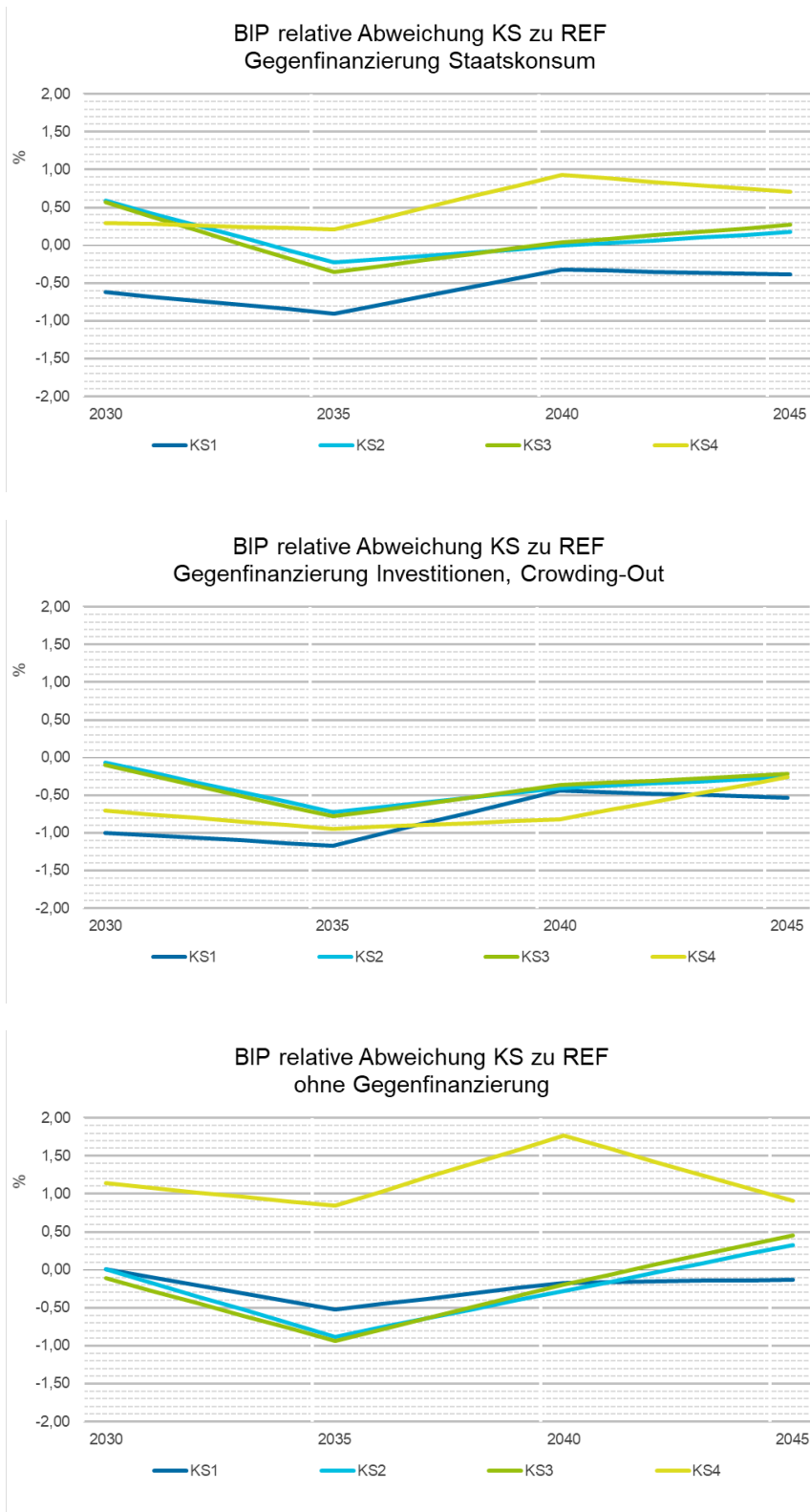
Wie in der Einleitung des Kapitels beschrieben, sind Ergebnisse auch abhängig von Annahmen zum möglichen Investitionsniveau sowie zum Ausgleichen des Staatshaushaltes. Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Hauptvariante (Gegenfinanzierung Staatsdefizit über Staatskonsum) sowie die zwei beschriebenen Sensitivitäten (Crowding-Out und Gegenfinanzierung Staatsdefizite über Investitionen, keine Gegenfinanzierung) vergleichend dargestellt. Abbildung 14 zeigt für diese drei Varianten jeweils die relativen Abweichungen des BIP der Klimaschutzszenarien von der Referenz-

Die gesamte Bandbreite der relativen Abweichung der Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz über alle Szenarien und Sensitivitäten liegt im Rahmen von -1,2 % bis +1,8 %. Beim Blick auf einzelne Szenarien zeigt insbesondere KS4 großer Volatilität in Bezug auf Sensitivitäten. Ein Grund dafür ist das hohe Investitionsniveau in KS4.

Unter der Annahme, dass Investitionen durch Klimaschutzinvestitionen und durch Staatsdefizit verdrängt werden, fällt das BIP in allen Klimaschutzszenarien geringer aus als in der Hauptvariante, wie die entsprechende Sensitivität zeigt. Besonders deutlich ist dies im Jahr 2040 im KS4. In allen Klimaschutzszenarien ist das BIP geringer als in der Referenz. Die Klimaschutzszenarien liegen zudem näher beieinander, weil Unterschiede bei den Investitionen weniger ins Gewicht fallen.

Wenn angenommen wird, dass sich Staatsdefizits / -überschuss nicht auf die Gesamtwirtschaft auswirken, wird in KS4 ein deutlich höheres BIP erzielt als in der Hauptvariante. Insgesamt ist für diese Sensitivität das BIP stark durch Investitionsimpuls getrieben

Abbildung 14: Vergleich der Sensitivitäten BIP – Relative Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



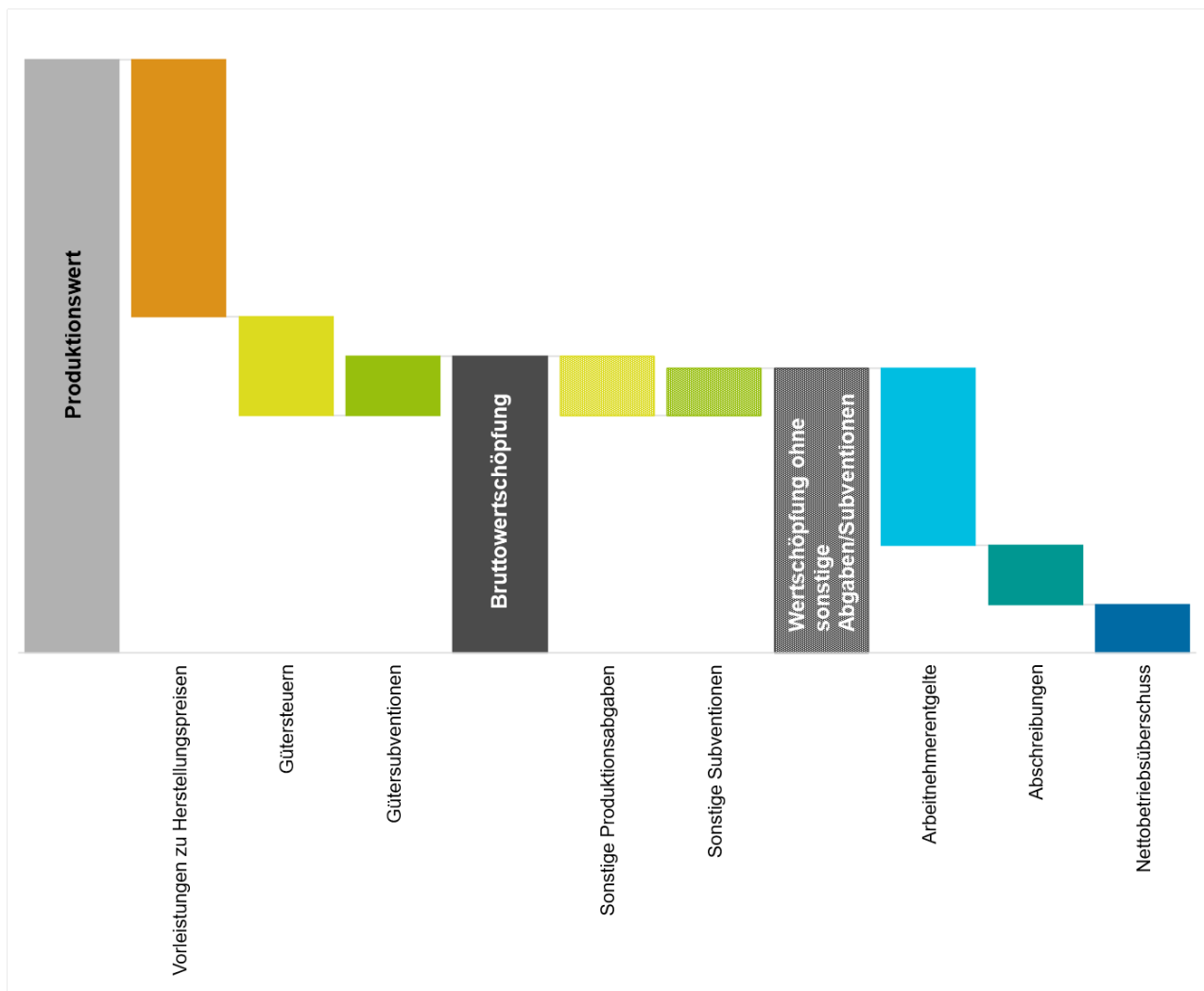
Quelle: Eigene Darstellung und Modellrechnung (Fraunhofer ISI).

3.2.4.2 Wertschöpfung

Bevor im folgenden Abschnitt die Ergebnisse zur Bruttowertschöpfung gezeigt werden, wird zunächst der Wertschöpfungsbegriff in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung beschrieben und die Bestandteile erläutert. ISI-Macro hat einen Input-Output Kern und orientiert sich damit an den Konventionen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung.

Abbildung 15 enthält eine schematische Darstellung der Komponenten der Bruttowertschöpfung und des Zusammenhangs mit dem Produktionswert.

Abbildung 15: Schematische Darstellung zum Wertschöpfungsbegriff in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung

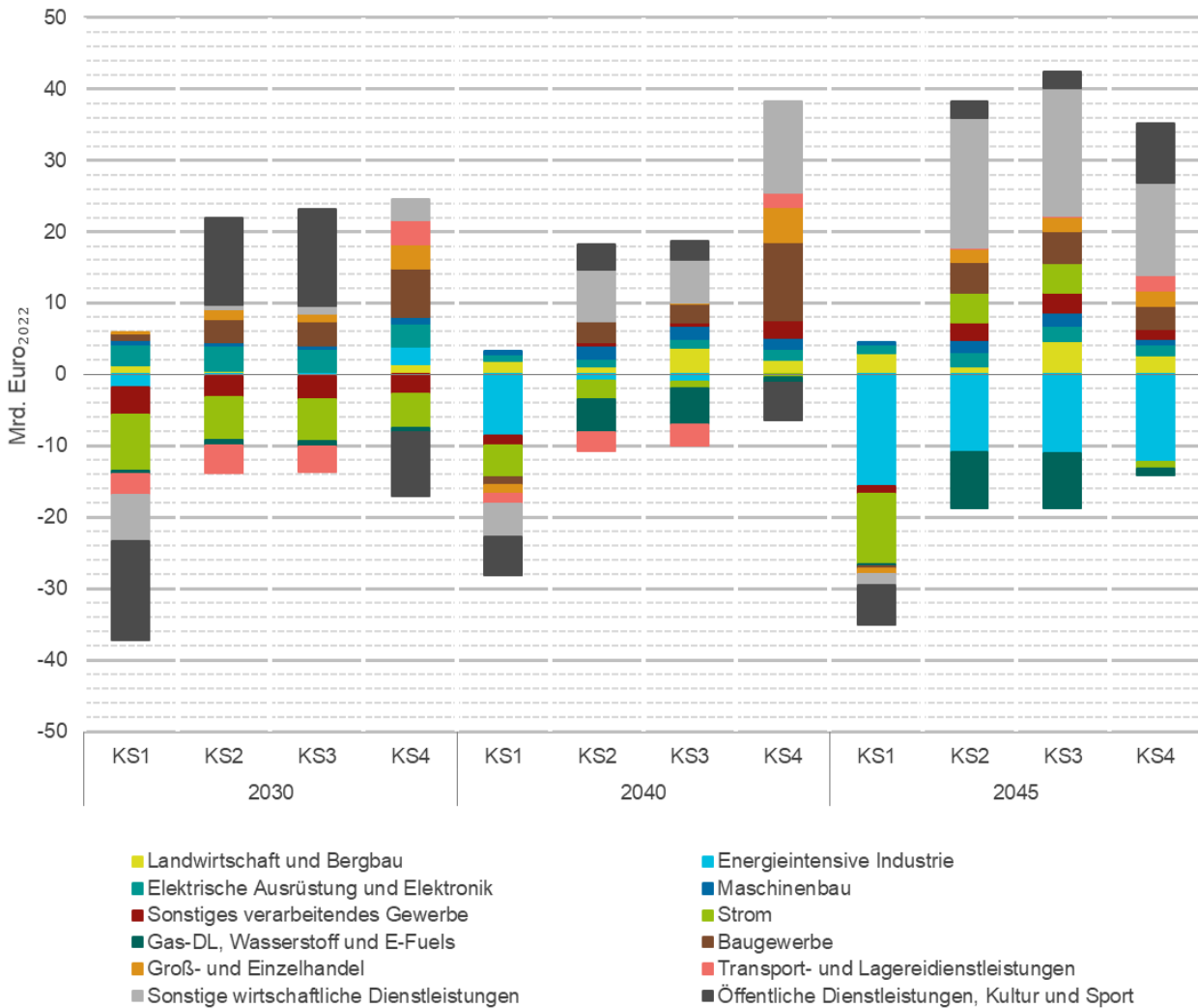


Quelle: Eigene Darstellung (Fraunhofer ISI).

In der Grafik von links nach rechts betrachtet, kann die Bruttowertschöpfung berechnet werden als Produktionswert abzüglich Vorleistungen zu Anschaffungspreisen. Vorleistungen zu Anschaffungspreisen können dabei berechnet werden aus Vorleistungen zu Herstellungspreisen zuzüglich die darauf entfallenden Gütersteuern (z.B. CO₂-Kosten im Gebäude-Bereich und Verkehr oder Energiesteuern) abzüglich Gütersubventionen.

In der Grafik von rechts nach links betrachtet, besteht die Bruttowertschöpfung aus Gewinnen bzw. dem Nettobetriebsüberschuss, Abschreibungen, Arbeitnehmerentgelten, sonstigen Produktionsabgaben (z.B. CO₂-Kosten in Industrie und Energiewirtschaft, Maut und Kfz-Steuer des gewerblichen Verkehrs) abzüglich sonstiger Subventionen (z.B. Erneuerbaren-Förderung in der Energiewirtschaft, Betriebskostenzuschüsse in der Industrie).

Abbildung 16: Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung und Modellrechnung (Fraunhofer ISI).

In Abbildung 16 ist die absolute Abweichung der Bruttowertschöpfung in den Klimaschutzszenarien zur Referenz gezeigt. Dabei werden die 72 Wirtschaftszweige in der Input-Output Tabelle zu 12 Wirtschaftsbereichen zusammengefasst. Gestapelte Balken zeigen Wertschöpfung in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen.

Die Bruttowertschöpfung im Bereich Strom ist in allen Klimaschutzszenarien vor 2045 geringer als in der Referenz. Im Jahr 2030 ist die Produktion geringer als in der Referenz. Aber auch längerfristig fällt die Wertschöpfung trotz höherer Produktion geringer aus als in der Referenz, was an überproportional höheren Ausgaben für bezogene Vorleistungen liegt.

Der Impuls auf den Staatshaushalt wirkt sich auf die Bruttowertschöpfung im Bereich Öffentliche Dienstleistungen aus, da Überschüsse oder Defizite durch entsprechende Mehr- oder Minderausgaben ausgeglichen werden. So ist die Bruttowertschöpfung im Jahr 2030 in den Szenarien KS2/KS3 höher (Staatsüberschuss) und in KS1/KS4 geringer (Staatsdefizit) als in der Referenz.

Die Bruttowertschöpfung der sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen ist in 2040/2045 in KS2, KS3 und KS4 höher als in der Referenz. Dies liegt unter anderem an den höheren Ausgaben für Wohnen in diesen Szenarien.

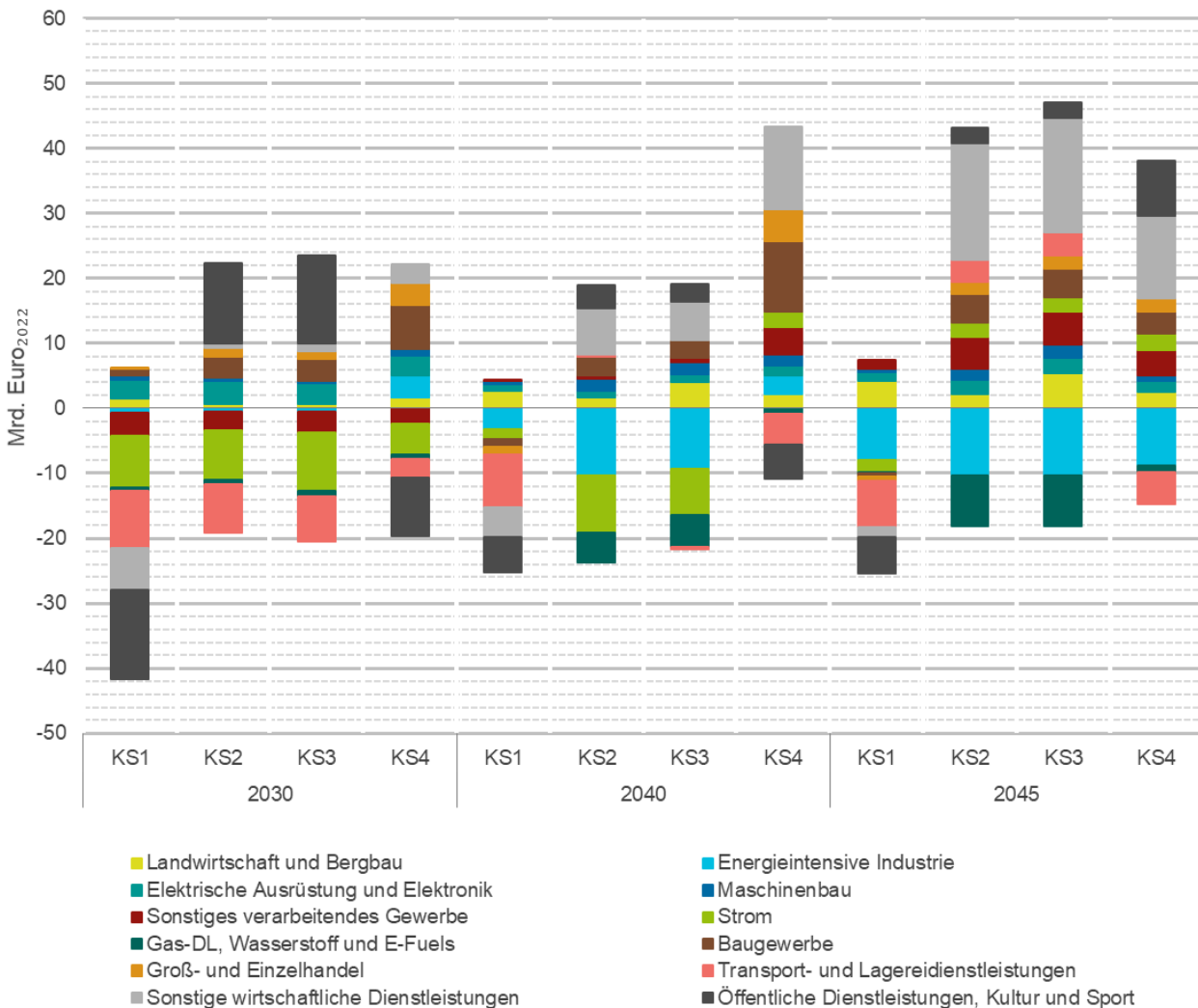
Im Jahr 2040 ist die Bruttowertschöpfung der energieintensiven Industrie in KS1 geringer als in der Referenz. Dies liegt an höheren Ausgaben für bezogenen Vorleistungen (insbesondere höhere Energiekosten). Die höheren Ausgaben für bezogene Vorleistungen werden in KS4 durch die Nachfrage kompensiert, welche durch die Gebäudeinvestitionen in diversen energieintensiven Branchen entsteht. In KS1 ist dies jedoch nicht der Fall. Im Jahr 2045 überwiegen die höheren Kosten und die Bruttowertschöpfung der energieintensiven Industrie ist in allen Klimaschutzszenarien geringer als in der Referenz.

Die Gebäudeinvestitionen sind auch der Hauptgrund für die im Vergleich zur Referenz höheren Bruttowertschöpfung des Baugewerbes. Besonders deutlich ist dies in KS4, am geringsten in KS1.

Die Impulse zu Steuern bzw. Abgaben und Subventionen wurden in die Kategorie Gütersteuern bzw. Gütersubventionen und die Kategorie sonstige Produktionsabgaben bzw. sonstige Subventionen aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgt zur Bestimmung der Wertschöpfung gemäß der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung. Welches Politikinstrument in welche Kategorie fällt, ist im einleitenden Teil zur Bruttowertschöpfung aufgeführt.

Zur Verdeutlichung der Rolle von sonstigen Produktionsabgaben und Subventionen in Hinblick auf den Wertschöpfungsbegriff aber auch in Hinblick auf Gewinne, Arbeitnehmerentgelte und Abschreibungen ist in Abbildung 17 die Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen gezeigt. Die Abbildung zeigt also, wie die Summe von Gewinnen, Arbeitnehmerentgelten und Abschreibungen in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz ausfällt (vgl. rechter dunkelgrauer Balken in Abbildung 15).

Abbildung 17: Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung und Modellrechnung (Fraunhofer ISI).

Am Beispiel der Stromerzeugung und der EEG-Förderung lässt sich die Wirkung im Jahr 2040 illustrieren. Die Wertschöpfung, wie in Abbildung 16 gezeigt, liegt in KS1 im Jahr 2040 im Vergleich zu den anderen Klimaschutzszenarien am deutlichsten unter der Referenz. In KS2 und KS3 liegt die Wertschöpfung nur gering unter der Referenz.

Betrachtet man nun die Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen (vgl. Abbildung 17), ändert sich das Bild. Nun liegt KS1 deutlich näher an der Referenz, während KS2 und KS3 größere negative Abweichungen zur Referenz aufzeigen. Dieser Unterschied ist insbesondere auf die EEG-Förderung zurückzuführen. Wie in Abschnitt 3.2.3.4 gezeigt zahlt der Staat in KS1 im Jahr 2040 im Vergleich zur Referenz mehr Subventionen an die Energiewirtschaft, in KS2 und KS3 weniger. Dieses weniger an Subventionszahlungen in KS2 und KS3 bedeutet, dass die Summe aus Gewinnen, Arbeitnehmerentgelten und Abschreibungen geringer sein muss (vgl. Abbildung 15)

Trotz der vermeintlich geringeren Abweichung der gesamten Bruttowertschöpfung in KS2 und KS3 im Vergleich zur Referenz kann mit geringeren Gewinnen oder Löhnen gerechnet werden. Das Auslaufen der Zahlungen im Rahmen der EEG-Förderung ab 2030 und die hohen CO₂-Preise im Szenariendesign von KS2 und KS3 würde unter derzeitigen Rahmenbedingungen mit höheren Strompreisen im Vergleich zu den anderen Szenarien einhergehen, die die negativen Effekte auf Gewinne und Löhne ausgleichen könnten. Dieser ausgleichende Effekt durch höhere Preise ist aufgrund der Nutzung der Rahmendatenpreise in allen Klimaschutzszenarien nicht abgebildet. In KS2 und KS3 wurde dafür angenommen, dass ein entsprechendes Strommarktdesign diese niedrigeren Preise ermöglicht.

Würde beispielsweise in KS2 hypothetisch die EEG-Förderung über 2030 hinaus vollständig ausgezahlt werden, würde die Summe aus Gewinnen, Löhnen und Abschreibungen im Jahr 2040 bis zu 8 Mrd. € über der Entwicklung in der Referenz liegen. Das entspräche gleichzeitig einer Mehrbelastung des Staatshaushalts durch die EEG-Förderung von über 17 Mrd. €. Aufgrund dieser Mehrbelastung ergäbe sich gesamtwirtschaftlich ein leicht geringerer BIP-Verlauf in KS2 im Vergleich zur Referenz.

Auch bei Transport und Lagereidienstleistungen sieht man im Jahr 2040 deutlich, dass die gesamte Bruttowertschöpfung, die auch die Maut inkludiert, in KS1 und KS4 höher ist als in der Referenz. Der Effekt auf Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen, d.h. ohne die Maut, fällt hingegen geringer aus als in der Referenz.

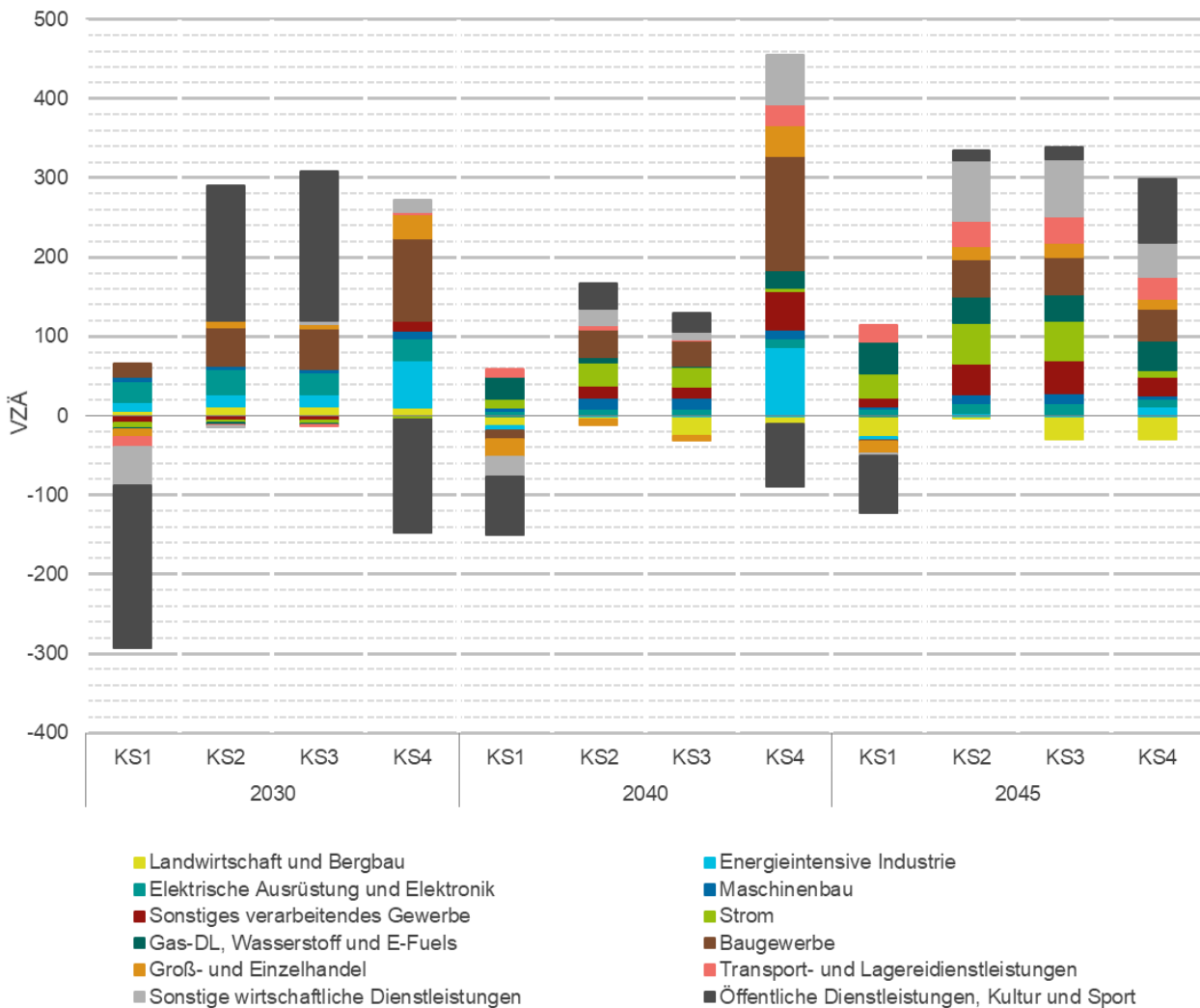
In der energieintensiven Industrie führen höhere CO₂-Kosten als in der Referenz dazu, dass die Wertschöpfung ohne Sonstige Produktionsabgaben und Subventionen geringer ist als die gesamte Wertschöpfung (in KS2 und KS3 im Jahr 2040 sehr deutlich erkennbar). Geringere CO₂-Kosten führen zu höherer Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und Subventionen im Vergleich zur gesamten Wertschöpfung (aufgrund der stärkeren Dekarbonisierung im Vergleich zur Referenz in KS1 und KS4 sichtbar). Mehr Subventionen steigern die Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und Subventionen (in KS1 weiterer Teileffekt).

3.2.4.3 Beschäftigung

Der folgende Abschnitt enthält die Ergebnisse zur Abschätzung des Arbeitskräftebedarfs in den unterschiedlichen Klimaschutzszenarien. Der Arbeitskräftebedarf wird in Vollzeitäquivalenten (VZÄ) angegeben. Abbildung 18 zeigt auf, wie viele Arbeitskräfte benötigt würden, um die Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz bereitzustellen.

Der Aufbau der Grafik ist vergleichbar zur Darstellung der Wertschöpfung. Gestapelte Balken zeigen den Arbeitskräftebedarf in den aggregierten Wirtschaftsbereichen in den Klimaschutzszenarien im Vergleich zur Referenz. Die Abbildung unterscheidet sich in der Struktur von der Abbildung der Wertschöpfung. Die Berechnung des Arbeitskräftebedarfs ist an den Produktionswert in den Wirtschaftszweigen gekoppelt, nicht an die Wertschöpfung. Zudem unterscheidet sich die Arbeitsproduktivität bzw. Beschäftigungsintensität der verschiedenen Wirtschaftsbereiche. So kann der Effekt auf den Arbeitskräftebedarf in beschäftigungsintensiven Wirtschaftsbereichen wie dem Baugewerbe oder öffentlichen Dienstleistungen deutlicher ausfallen als für die Wertschöpfung.

Abbildung 18: Arbeitskräftebedarf in VZÄ – Absolute Abweichung der Klimaschutzszenarien zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung und Modellrechnung (Fraunhofer ISI).

Öffentliche Dienstleistungen werden insbesondere vom Staat nachgefragt und sind durch die Gegenfinanzierung von Staatsdefiziten bzw. der Verwendung von Staatsüberschüssen stark von den Impulsen auf den Staatshaushalt bestimmt. So wird der negative Impuls auf den Staatshaushalt in KS1 und KS4 durch geringeren Staatskonsum ausgeglichen, was sich insbesondere zu Beginn durch einen geringeren Arbeitskräftebedarf als in der Referenz äußert. In KS2 und KS3 ist das Gegenteil der Fall.

Das Baugewerbe erfährt vor allem durch die hohen Investitionen im Gebäudebereich Nachfrage. Diese Mehrnachfrage nach Arbeitskräften ist entsprechend in KS4 im Vergleich zur Referenz besonders deutlich.

Auch in der Energieintensiven Industrie ist der in KS4 deutlich sichtbare Mehrbedarf an Arbeitskräften im Vergleich zur Referenz insbesondere auf die Investitionen im Baugewerbe zurückzuführen, was die Nachfrage nach chemischen Erzeugnissen und Glas erhöht.

Strom zeigt ebenfalls höheren Arbeitskräftebedarf durch höhere Stromnachfrage. Das unterstreicht, wie kritisch die Finanzierungslücke im Energiesektor in KS2 und KS3 ist

3.3 Soziale Folgewirkungen

Das folgende Kapitel beleuchtet die Verteilungswirkungen zusätzlicher Klimaschutzmaßnahmen in den verschiedenen Klimaschutzszenarien. Aus der Perspektive der Privathaushalte werden die Kostenbelastungen in den Bereichen Gebäude und Verkehr analysiert. Dabei stehen insbesondere die unterschiedlichen Kosten zwischen den Klimaschutzszenarien und der Referenz im Fokus. Konkret wird bei der Analyse die Verteilung der Kosten auf verschiedene Einkommensgruppen betrachtet.

Eine besondere Rolle spielen bei der Analyse der Verteilungswirkungen die zusätzlichen CO₂-Kosten in den Szenarien KS2 und KS3, die erhebliche Kostenbelastungen für private Haushalte zur Folge haben. In einem Exkurs wird deshalb die öffentliche Einnahmenseite der CO₂-Bepreisung untersucht, die in den Verteilungsanalysen nicht berücksichtigt wird. Ziel ist es, die verfügbaren Einnahmen und ihre Verwendung im Verhältnis zu den Förderbedarfen in den Klimaschutzszenarien zu bewerten.

Abschließend wird auf weitere soziale Folgewirkungen eingegangen, die durch die Maßnahmen in den Klimaschutzszenarien entstehen. Dazu gehören spezifische Preissteigerungen, etwa bei Fleischprodukten oder Feuerholz, sowie deren potenzielle Auswirkungen auf einkommensschwache Haushalte.

3.3.1 Gebäude

Die Verteilungswirkungen im Gebäudebereich werden zum einen durch höhere Effizienzstandards im Wohnungsbau und zum anderen durch die Wärmewende bestimmt. Höhere Investitionskosten für klimafreundliche Wärmeerzeugung, Wohngebäudesanierungen und -neubau erhöhen die Kosten sowohl für Mietende als auch für Haushalte mit Eigenheim. Zusätzlich führen Maßnahmen, die eine Verteuerung von fossilen Wärmeträgern zur Folge haben, zu Kostenbelastungen, die allerdings durch Kostenersparnisse aus Effizienzsteigerungen bei der Wärmeversorgung und staatliche Förderprogramme teilweise, komplett oder sogar überkompensiert werden.

3.3.1.1 Methode

Basis der Verteilungsanalyse über alle Einkommensgruppen ist das Mikrosimulationsmodell SEEK des Öko-Instituts (siehe nachfolgende Box).

Textbox 2: Mikrosimulationsmodell SEEK des Öko-Instituts

Jedes energie- und klimapolitische Instrument zieht Verteilungseffekte in der Bevölkerung nach sich. Auf Basis detaillierter Haushaltsdaten können Verteilungseffekte verschiedenster Instrumente auf die Bevölkerung in Deutschland mit dem Mikrosimulationsmodell SEEK bestimmt werden. Dabei wird abgebildet, wie Veränderungen in den Ausgaben, z. B. durch zusätzliche Investitionen, durch die Einsparung fossiler Brennstoffe oder Veränderungen in den Preisen auf unterschiedliche Haushaltstypen wirken. Betrachtete Verteildimensionen umfassen z. B. das verfügbare Einkommen, die Haushaltszusammensetzung oder den Erwerbstätigkeitsstatus eines Haushaltes.

Als Inputdaten des Mikrosimulationsmodells SEEK dienen die Mikrodatensätze der großen in Deutschland durchgeführten Haushaltsbefragungen. Dazu gehören die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS), das Sozio-ökonomische Panel (SOEP) und die Mobilität in Deutschland (MiD). Je nach Fragestellung wird der Schwerpunkt auf den geeigneten Datensatz

gelegt. In der vorliegenden Studie ist der Datensatz der EVS in seiner letzten erhobenen Welle aus dem Jahr 2018 relevant.

Die Verteilungsanalyse mit Hilfe des Modells SEEK und über die gesamte Einkommensverteilung in Deutschland erfolgt für die Sektoren Gebäude und Verkehr. Wir betrachten, welche Unterschiede in der Verteilung von Kosten und Nutzen sich zwischen den Klimaschutzszenarien und der Referenz ergeben. Wir analysieren die Be- und Entlastung der privaten Haushalte in den verschiedenen Einkommensgruppen für das Jahr 2035. Da das Modell SEEK auf der Bevölkerungsstruktur und den Charakteristika des Gebäude- und Verkehrssektors im Jahr 2018 beruht, wäre eine Weiterführung der Analyse über das Jahr 2035 hinaus mit zunehmenden Unsicherheiten behaftet.

Die Informationen zu den für private Haushalte relevanten Einsparungen und Kosten in der Referenz und in den Klimaschutzszenarien kommen aus speziellen Auswertungen der Sektormodellierung (siehe Sektorbericht Gebäude) und stellen den Anteil der gesamten Einsparungen und Kosten dar, die für private Haushalte relevant sind.

Die Information über die für private Haushalte relevanten Kosten und Einsparungen für Wohngebäude wurden aus dem Sektormodell BuildingStar aufgeschlüsselt nach den folgenden Charakteristika ausgespielt

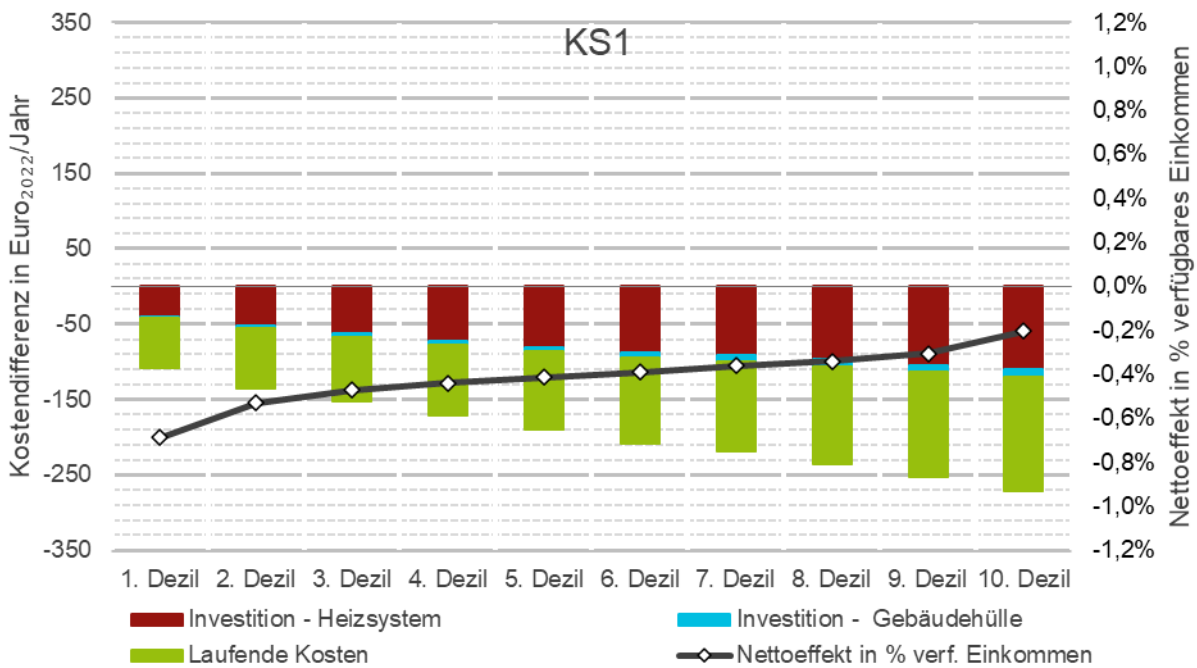
- Gebäudetyp: Ein- oder Zweifamilienhaus, Mehrfamilienhaus
- Baualterklasse: bis 1990, 1991-2019

Auf Basis dieser Informationen werden die Inputdaten an das Modell SEEK herangespielt. In SEEK sind diese Informationen zur Wohnsituation der Haushalte ebenfalls enthalten. Die Verteilungsanalyse bezieht sich ausschließlich auf den Wohngebäudebestand, da eine Betrachtung der Neubauaktivität eine weitergehende Analyse des Umzugsverhaltens der Haushalte erfordern würde. Der Neubau ist in der Kohorte „ab 2011“ enthalten. Aktivitäten in dieser Kohorte sind fast ausschließlich dem Neubau zuzuordnen und werden deshalb in der Analyse ausgeklammert.

Informationen dazu, wo wie saniert wird und in welchen Gebäuden die Heizung getauscht wird, werden vom Sektormodell an das Mikrosimulationsmodell weitergegeben. Die strukturellen Unterschiede in den Sanierungs- und Heizungstauschaktivitäten, die sich für die unterschiedlichen Gebäude und die Haushalte, die in diesen Gebäuden wohnen, ergeben, beruhen also auf den Ergebnissen aus dem Sektormodell. Dabei werden die Investitionen und Energie- sowie Betriebskosten in EUR/qm umgerechnet, um den Gebäudebestand im Sektormodell BuildingStar und dem Mikrosimulationsmodell auf den gleichen Wert zu skalieren. Implizit liegt damit die Annahme zugrunde, dass in den differenzierten Gebäudeklassen alle Haushalte entsprechend ihrer Wohnfläche gleichverteilt sanieren bzw. die Heizung tauschen. Diese Annahme kann variiert werden, wenn Information darüber zur Verfügung stehen, in welchen Haushalten in den jeweiligen Gebäuden vermehrt saniert wird oder die Heizung getauscht wird. Diese Informationen stehen allerdings nicht zur Verfügung, sondern könnten nur über Annahmen variiert werden, z.B. auf Basis vergangener Evaluationen der Bundesförderung effiziente Gebäude.

3.3.1.2 Ergebnisse

Abbildung 19: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS1 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut); Modellrechnung: SEEK auf Basis EVS 2018 (Destatis 2022) mit Input Modellrechnung BuildingStar. Anmerkungen: Energetische Mehrkosten ohne Ohnehin-Kosten; alle Steuern und Abgaben enthalten; reales Einkommenswachstum von pauschal 1 % p. a. angenommen. Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

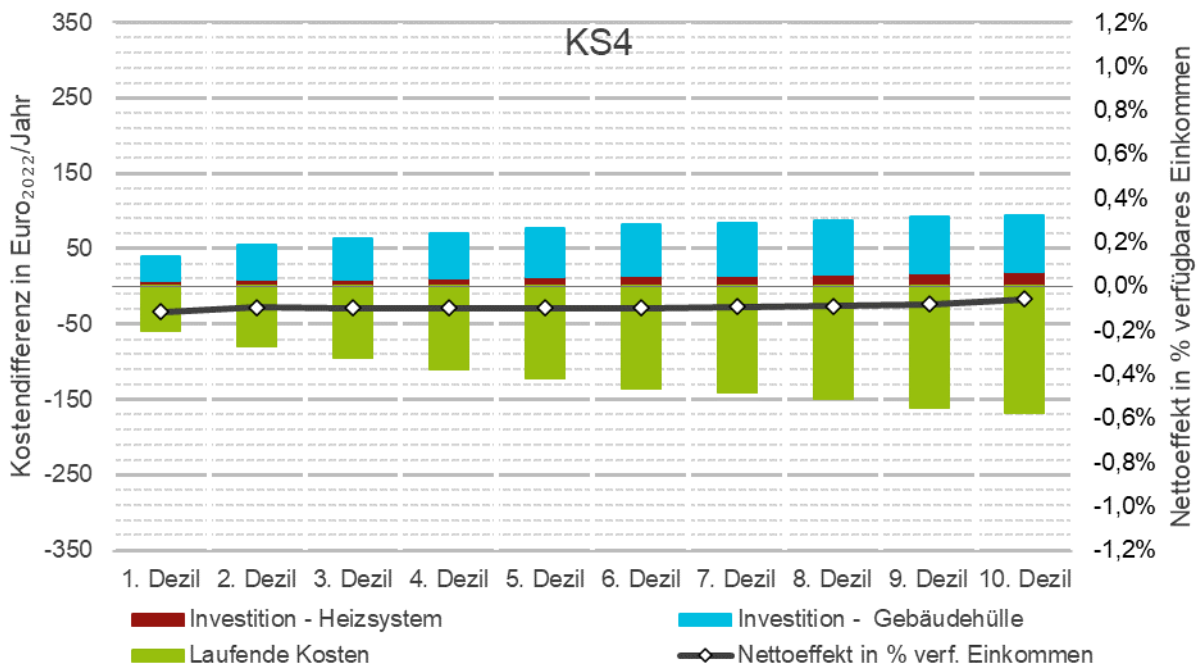
Abbildung 19 zeigt die Auswirkungen der im Szenario KS1 umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen auf die verschiedenen Einkommensgruppen. Insgesamt profitieren private Haushalte in KS1 von geringeren Kosten im Vergleich zur Referenz. Die erzielten Einsparungen variieren dabei erheblich zwischen den Einkommensgruppen: sie reichen von durchschnittlich etwa 110 Euro pro Jahr im ersten Dezil (den einkommensschwächsten Haushalten) bis hin zu über 270 Euro pro Jahr im zehnten Dezil (den einkommensstärksten Haushalten).

Die größten Einsparungen ergeben sich durch Investitionen in Heizsysteme, insbesondere durch die verstärkte Förderung von Wärmepumpen. Diese Förderung führt zu Einsparungen zwischen 50 und 100 Euro pro Jahr, was fast die Hälfte der Gesamtersparnisse ausmacht. Investitionen in die Gebäudehülle spielen hingegen eine eher untergeordnete Rolle und haben nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtkosten.

Ein weiterer bedeutender Faktor für die Einsparungen sind die reduzierten laufenden Kosten. Da im Szenario KS1 mehr Wärmepumpen installiert werden als in der Referenz, profitieren Haushalte von deren höherer Effizienz im Vergleich zu fossilen Heizsystemen, was sich positiv auf die Heizkosten auswirkt.

Gemessen am verfügbaren Einkommen profitieren insbesondere Haushalte mit niedrigem Einkommen von den Maßnahmen im Szenario KS1. Das unterste Einkommensdezil spart etwa 0,7 % des verfügbaren Einkommens ein, während das oberste Dezil nur etwa 0,2 % einspart. Dies zeigt eine positive Verteilungswirkung, da die Maßnahmen im Szenario KS1 eine stärkere Entlastung für einkommensschwächere Haushalte bedeuten.

Abbildung 20: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS4 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut); Modellrechnung: SEEK auf Basis EVS 2018 (Destatis 2022) mit Input Modellrechnung BuildingStar. Anmerkungen: Energetische Mehrkosten ohne Ökoin-Kosten; alle Steuern und Abgaben enthalten; reales Einkommenswachstum von pauschal 1 % p. a. angenommen. Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

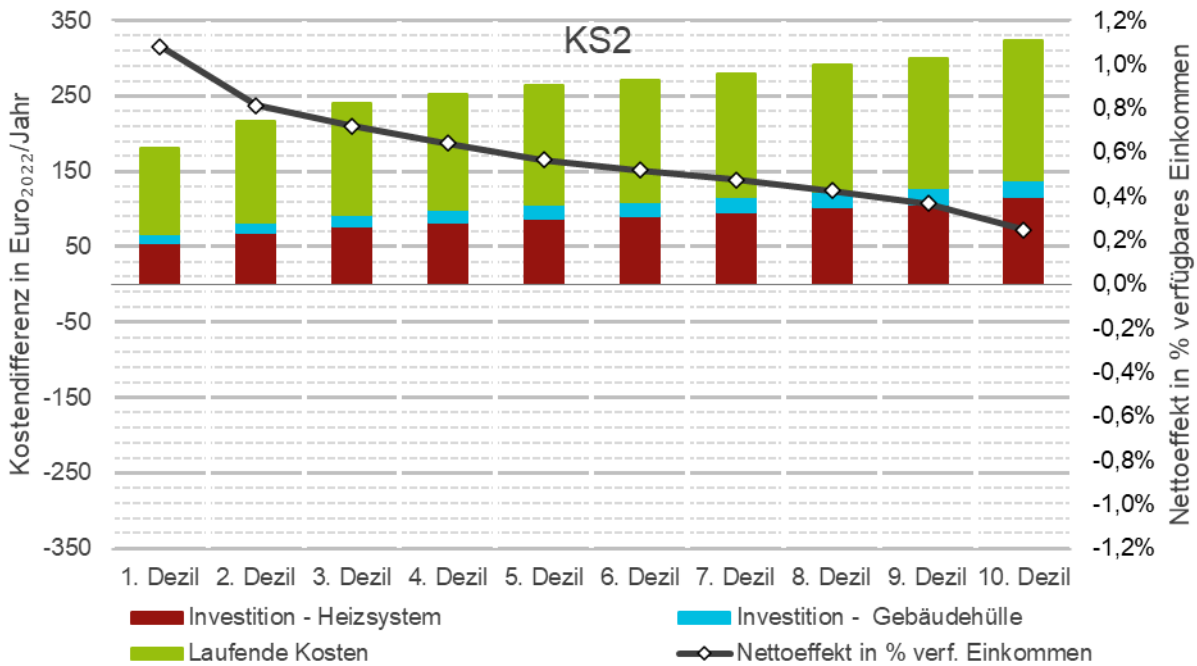
Abbildung 20 zeigt die Auswirkungen der im Szenario KS4 umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen auf die verschiedenen Einkommensgruppen. Insgesamt profitieren private Haushalte im Szenario KS4 von leicht reduzierten Kosten im Vergleich zur Referenz. Die erzielten Einsparungen variieren dabei je nach Einkommensgruppe und reichen von etwa 20 Euro pro Jahr im ersten Dezil bis zu über 75 Euro im zehnten Dezil.

Die Kostensteigerungen für die Haushalte ergeben sich sowohl aus Investitionen in die Wärmeerzeugung als auch in die Gebäudehülle. Insbesondere die Investitionen in die Gebäudehülle, die durch strengere Effizienzstandards im KS4 regulatorisch vorgeschrieben werden, sind hier ausschlaggebend und dominieren die Kostenstruktur. Im Gegensatz zu KS1 werden Wärmepumpen in KS4 nicht zusätzlich gefördert, was den Fokus auf die Gebäudesanierung verstärkt.

Die höhere Sanierungsrate im KS4 führt jedoch zu erheblichen Kosteneinsparungen bei den laufenden Betriebskosten, die die Sanierungskosten weitgehend kompensieren. Diese Einsparungen belaufen sich auf etwa 60 Euro pro Jahr im ersten Dezil und bis zu 170 Euro im zehnten Dezil, was die positiven Effekte der Effizienzmaßnahmen unterstreicht.

Gemessen am verfügbaren Einkommen ergeben sich insgesamt geringe Einsparungen von etwa 0,1 %. Die Verteilungswirkungen sind damit weitgehend ausgeglichen, da keine Einkommensgruppe überproportional stark von den Maßnahmen betroffen ist.

Abbildung 21: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS2 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut); Modellrechnung: SEEK auf Basis EVS 2018 (Destatis 2022) mit Input Modellrechnung BuildingStar. Anmerkungen: Energetische Mehrkosten ohne Ohnehin-Kosten; alle Steuern und Abgaben enthalten; reales Einkommenswachstum von pauschal 1 % p. a. angenommen. Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

Abbildung 21 und Abbildung 22 verdeutlichen die sehr ähnlichen Auswirkungen der zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen in den Szenarien KS2 und KS3 auf verschiedene Einkommensgruppen. Im Gegensatz zu KS1 führen die Maßnahmen in KS2 und KS3 zu höheren Kosten für private Haushalte im Vergleich zur Referenz. Die zusätzlichen Kosten variieren dabei je nach Einkommensgruppe: Sie reichen von etwa 180 Euro pro Jahr im ersten Dezil bis zu mehr als 300 Euro pro Jahr im zehnten Dezil.

Ein wesentlicher Unterschied in diesen Szenarien besteht darin, dass Investitionen in Wärmepumpen nicht durch Förderungen unterstützt werden. Stattdessen werden die Investitionen in effizientere Heizungssysteme durch einen hohen CO₂-Preis stimuliert, der im KS2-Szenario bei 350 Euro pro Tonne CO₂ und im KS3-Szenario bei 300 Euro pro Tonne CO₂ liegt. Dies führt zu erheblichen zusätzlichen Kosten für emissionsärmere Heizungssysteme im Vergleich zur Referenz, die zwischen etwa 50 Euro pro Jahr im ersten Dezil und über 100 Euro pro Jahr im letzten Dezil betragen.

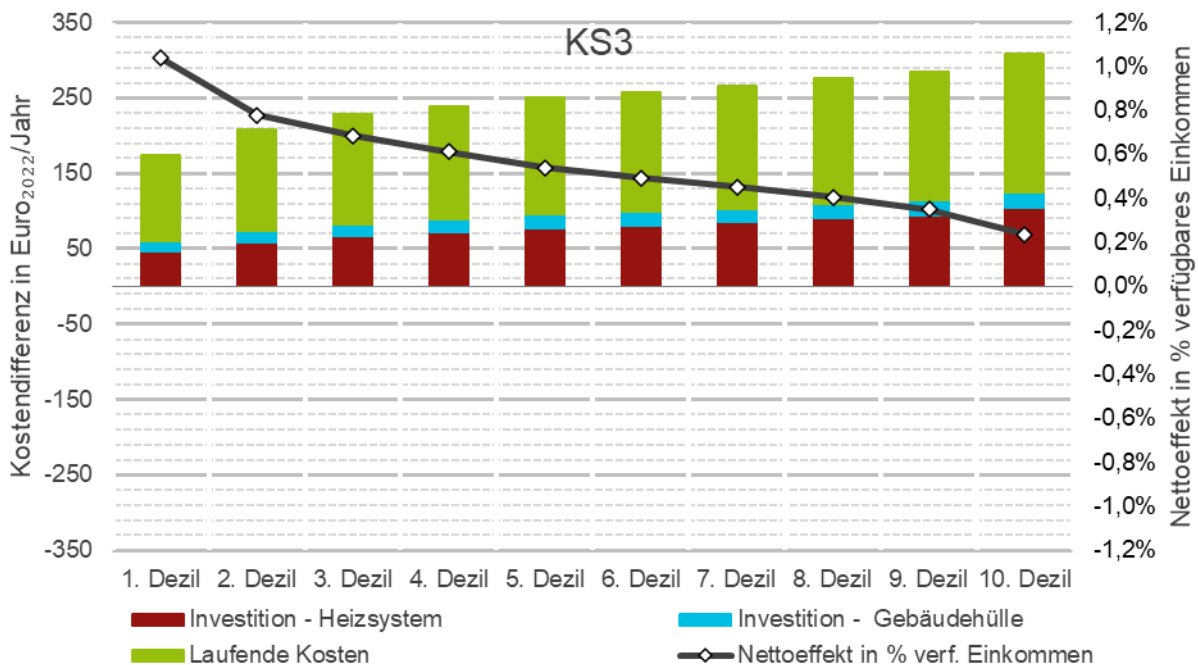
Zusätzlich zu den Investitionskosten führen die hohen CO₂-Preise und eine im Vergleich zur Referenz verzögerte Sanierung zu einem deutlichen Anstieg der laufenden Kosten bis zum Jahr 2035. Haushalte im ersten Dezil sehen sich mit einem Anstieg der laufenden Kosten von über 110 Euro pro Jahr konfrontiert, während im letzten Dezil die laufenden Kosten um mehr als 180 Euro steigen.

Gemessen am verfügbaren Einkommen führt dies zu signifikanten Kostensteigerungen im Vergleich zur Referenz. Der Nettoeffekt beträgt im ersten Dezil mehr als 1 % des verfügbaren Einkommens, während er im zehnten Dezil bei etwa 0,25 % liegt. Dies bedeutet, dass insbesondere die unteren

Einkommensgruppen überproportional stark durch die Maßnahmen in den Szenarien KS2 und KS3 belastet werden.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die in den Abbildungen dargestellten Effekte die potenziellen Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung sowie deren mögliche Rückverteilung an die Haushalte, zum Beispiel durch die Förderung weiterer Klimaschutzmaßnahmen, nicht berücksichtigen. Diese Aspekte werden im Abschnitt 3.3.3 ausführlicher behandelt.

Abbildung 22: Gebäude: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS3 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Quelle: Eigene Darstellung (Öko-Institut); Modellrechnung: SEEK auf Basis EVS 2018 (Destatis 2022) mit Input Modellrechnung BuildingStar. Anmerkungen: Energetische Mehrkosten ohne Ohnehin-Kosten; alle Steuern und Abgaben enthalten; reales Einkommenswachstum von pauschal 1 % p. a. angenommen. Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass Klimaschutzmaßnahmen, die allein durch einen hohen CO₂-Preis angeregt werden, negative Verteilungswirkungen zur Folge haben, wenn die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung nicht angemessen an die Haushalte zurückverteilt werden. Insbesondere die unteren Einkommensgruppen tragen eine überproportional hohe Last, da die steigenden Heiz- und Sanierungskosten einen größeren Anteil ihres verfügbaren Einkommens beanspruchen. Im Gegensatz dazu zeigt sich, dass Förderprogramme, die gezielt Investitionen in emissionsärmere Heizungssysteme unterstützen, vor allem einkommensschwache Haushalte entlasten. Diese profitieren überproportional von der Förderung, da die Kosten für Investitionen in energieeffiziente Systeme und die laufenden Betriebskosten in diesen Haushalten stärker ins Gewicht fallen. Eine ausgewogene Klimapolitik, die sowohl einen wirksamen CO₂-Preis als auch zielgerichtete Förderungen umfasst, kann somit die negativen Verteilungseffekte abmildern und gleichzeitig eine sozial gerechte Energiewende unterstützen.

3.3.2 Mobilität

Die Verteilungsanalyse im Verkehrssektor steht ganz im Zeichen der Antriebswende. Im Fokus stehen die Auswirkungen der Klimaschutzmaßnahmen in den verschiedenen Zielszenarien auf die Haushaltsausgaben für die Anschaffung und Nutzung privater Pkw im Vergleich zum Referenzszenario. Dabei wird untersucht, wie sich die Kostenveränderungen durch den Umstieg auf emissionsärmere Antriebstechnologien und die damit verbundenen Anpassungen im Verkehrssektor auf die privaten Haushalte auswirken.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Verteilung dieser Kostenänderungen zwischen den verschiedenen Einkommensgruppen. Es werden sowohl die absoluten Kosten als auch die relative Belastung, gemessen am verfügbaren Haushaltseinkommen, analysiert. So können mögliche Unterschiede in der Kostenverteilung zwischen einkommensstarken und einkommensschwächeren Haushalten aufgezeigt werden, um die sozialen Auswirkungen Klimaschutzmaßnahmen und der damit verbundenen Antriebswende umfassend zu bewerten.

3.3.2.1 Methode

Der Kern der Verteilungsanalyse im Verkehrssektor besteht in der Verknüpfung der Daten aus der Sektormodellierung (TEMPS; siehe Sektorbericht Verkehr) mit den Haushaltsdaten des Mobilitätspanels (MOP) der Jahre 2020 bis 2022. Dies ermöglicht eine detaillierte Zuordnung der anfallenden Energiekosten (Strom- und Kraftstoffkosten), Energiesteuern, CO₂-Kosten, Mautkosten, sonstiger variabler Kosten sowie der Investitions- und Fixkosten zu repräsentativen Haushalten. Die Kosten werden dabei wie folgt differenziert:

- Fahrzeugantrieb: batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), Plugin-Hybridfahrzeuge, Benzinfahrzeuge, Dieselfahrzeuge
- Fahrzeuggröße: klein, mittel, groß

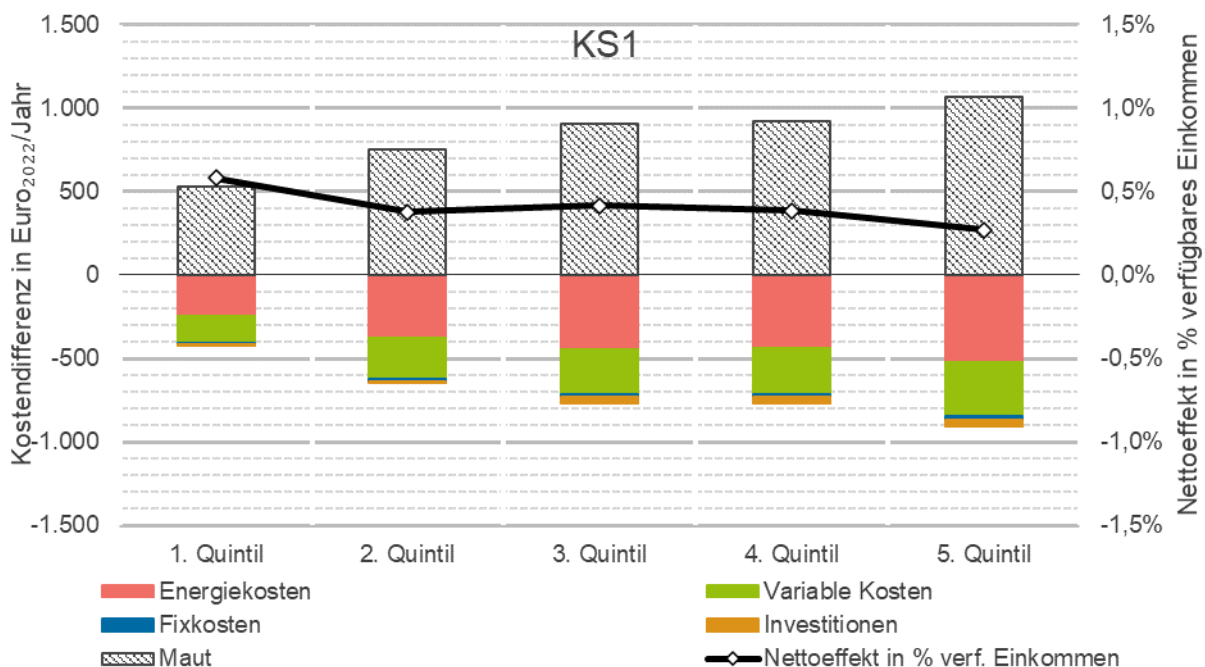
Während die Energiekosten, Abgaben und variablen Kosten entsprechend der Fahrzeugfahrleistung in den Haushalten berechnet werden, fallen die Investitions- und sonstigen Fixkosten pro Fahrzeug an. Um Veränderungen in den Fahrleistungen in den verschiedenen Klimaschutzszenarien darzustellen, wurden die Fahrleistungen über alle Fahrzeug- und Antriebstypen hinweg aggregiert. Dies bedeutet, dass die Fahrleistung über alle Fahrzeug- und Antriebstypen hinweg im gleichen Maße steigt oder sinkt. Die Anzahl der Fahrzeuge ist dabei, wie in der Sektormodellierung angenommen, zu jedem Zeitpunkt in allen Szenarien identisch. Die Wahl der Fahrzeuggröße bleibt innerhalb der Haushalte ebenfalls über die Jahre konstant, während die Entscheidung für den Antriebstyp dynamisch simuliert wird. In den Klimaschutzszenarien verändern sich im Vergleich zur Referenz also die Fahrzeugfahrleistungen und die Anteile der Antriebstypen, während die Gesamtanzahl der Fahrzeuge im Bestand und die Anteile der Fahrzeuggrößen identisch zur Referenz bleiben.

Für die dynamische Modellierung der Antriebswahl wird eine Logit-Regressionsanalyse verwendet, um die Wahrscheinlichkeiten zu schätzen, mit denen Haushalte auf BEV umsteigen. Diese Wahrscheinlichkeiten geben Aufschluss darüber, welche Haushalte frühzeitig die Antriebswende vollziehen und welche erst später folgen. Erwartungsgemäß aufgrund häufig fehlender finanzieller Mittel für notwendige Investitionen zählen einkommensschwächere Haushalte eher zu den Nachzügler*innen, während höhere Einkommensgruppen bereits frühzeitig auf emissionsärmere Fahrzeuge umsteigen.

Die Unterschiede in den Investitionskosten zwischen den Klimaschutzszenarien betreffen per Annahme ausschließlich den Neuwagenmarkt. Um darzustellen, welche Haushalte von den Kostenunterschieden zwischen den Szenarien und der Referenz hauptsächlich betroffen sind, wurden Wahrscheinlichkeiten für den Kauf eines Neuwagens im Vergleich zum Kauf eines Gebrauchtwagens geschätzt. Die Investitionskosten wurden basierend auf diesen Wahrscheinlichkeiten auf die Haushalte verteilt.

3.3.2.2 Ergebnisse

Abbildung 23: Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS1 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Eigene Darstellung (Öko-Institut); Eigene Modellrechnung auf Basis MOP 2021, 2022 und 2023 (KIT 2021; 2022; 2023) mit Input Modellrechnung TEMPS.

Anmerkungen: Alle Angaben inkl. Mehrwertsteuer; Energiekosten inklusive CO₂-Kosten und Energiesteuern; Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

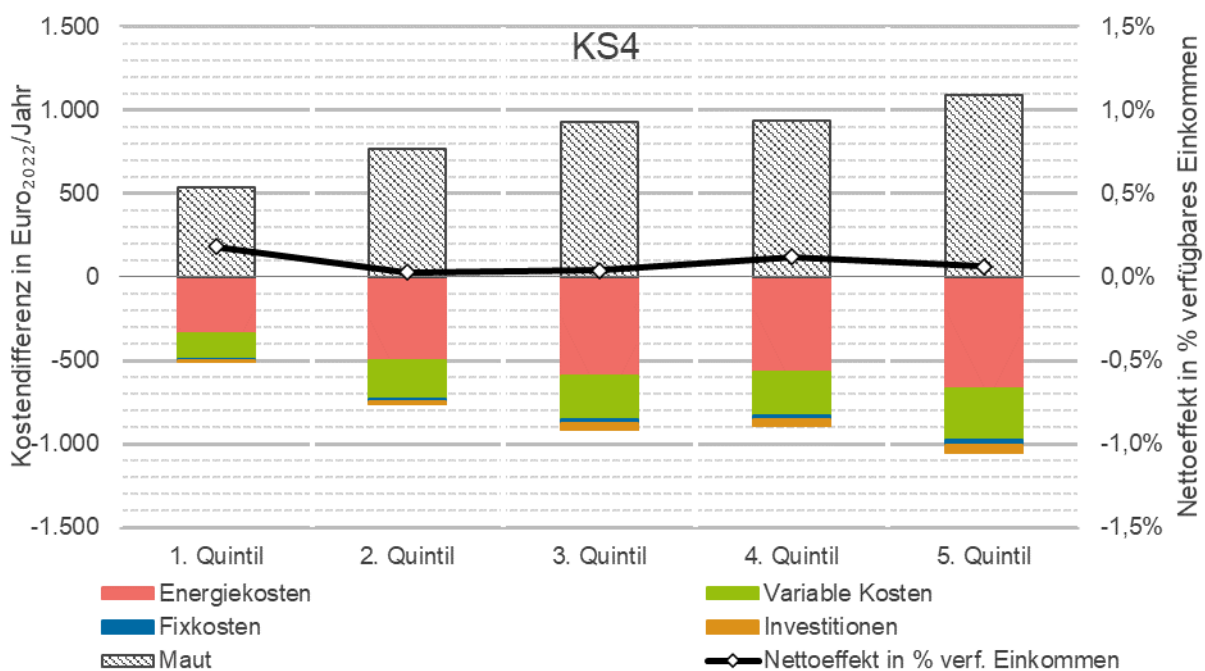
In Abbildung 23 wird die Belastung der Haushalte durch die zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen im Szenario KS1 im Vergleich zur Referenz dargestellt. Insgesamt zeigt sich, dass die Energiekosten, einschließlich CO₂-Preis und Energiesteuer, sowie die variablen Kosten im Vergleich zur Referenz sinken. Dies ist teilweise auf den schnelleren Hochlauf von Elektrofahrzeugen zurückzuführen, die im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor effizienter sind und somit geringere Betriebskosten verursachen. Von diesen Kostensenkungen profitieren erwartungsgemäß vor allem die Haushalte mit höheren Einkommen, da sie häufiger in der Lage sind, frühzeitig auf Elektrofahrzeuge umzusteigen und dadurch stärkere Kostenersparnisse zu erzielen.

Ein weiterer Faktor, der zu den geringeren durchschnittlichen Pkw-Nutzungskosten beiträgt, ist die Verlagerung des Verkehrs auf andere Verkehrsmittel. Diese Verlagerung wird insbesondere durch die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut angeregt, die im KS1 eingeführt wird. Allerdings führt diese Pkw-Maut gleichzeitig zu neuen, zusätzlichen Kosten, die die Einsparungen durch die verringerte Fahrleistung teilweise überkompensieren. Im Durchschnitt resultiert dies in einer Mehrbelastung von rund 130 Euro pro Jahr für private Haushalte. Zusätzlich muss

einschränkend angemerkt werden, dass Mehrkosten aus der Nutzung anderer Verkehrsmittel nicht Teil dieser Analyse sind und daher nicht berücksichtigt werden können.

Die Analyse der Verteilung der Kosten nach Einkommensgruppen zeigt, dass die Belastung durch die Klimaschutzmaßnahmen im Verhältnis zum verfügbaren Einkommen im ersten Einkommensquintil am höchsten ist. Hier liegt der Nettoeffekt bei etwa 0,6 % des verfügbaren Einkommens. In den höheren Einkommensquintilen sinkt dieser Anteil stetig und erreicht im fünften Quintil lediglich noch 0,3 % des verfügbaren Einkommens. Die Unterschiede in der Belastung zwischen den Einkommensgruppen sind ab dem zweiten Quintil nur noch geringfügig. Insgesamt ist die Verteilungswirkung der Politikinstrumente im KS1 jedoch als regressiv zu beurteilen.

Abbildung 24: Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS4 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Eigene Darstellung (Öko-Institut); Eigene Modellrechnung auf Basis MOP 2021, 2022 und 2023 (KIT 2021; 2022; 2023) mit Input Modellrechnung TEMPS.

Anmerkungen: Alle Angaben inkl. Mehrwertsteuer; Energiekosten inklusive CO2-Kosten und Energiesteuern; Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

Die Verteilungswirkungen der Klimaschutzmaßnahmen im Szenario KS4 (Abbildung 24) ähneln in weiten Teilen denen des Szenarios KS1, allerdings auf einem niedrigeren Niveau. Wie in KS1 sinkt die Belastung der Haushalte durch Energiekosten sowie variable Kosten im Vergleich zur Referenz. Neben der zunehmenden Elektrifizierung des Verkehrs ist auch eine signifikante Verkehrsverlagerung auf andere Verkehrsmittel verantwortlich für die niedrigeren Kostenbelastungen im Szenario KS4.

Ein wesentlicher Unterschied zum Szenario KS1 besteht in der Einführung eines Tempolimits, das zu einer deutlichen Effizienzsteigerung im Straßenverkehr führt. Dies resultiert in weiteren Einsparungen bei den Nutzungskosten für private Pkw. Die Effizienzgewinne durch das Tempolimit tragen wesentlich dazu bei, die Pkw-Betriebskosten für die Haushalte weiter zu reduzieren.

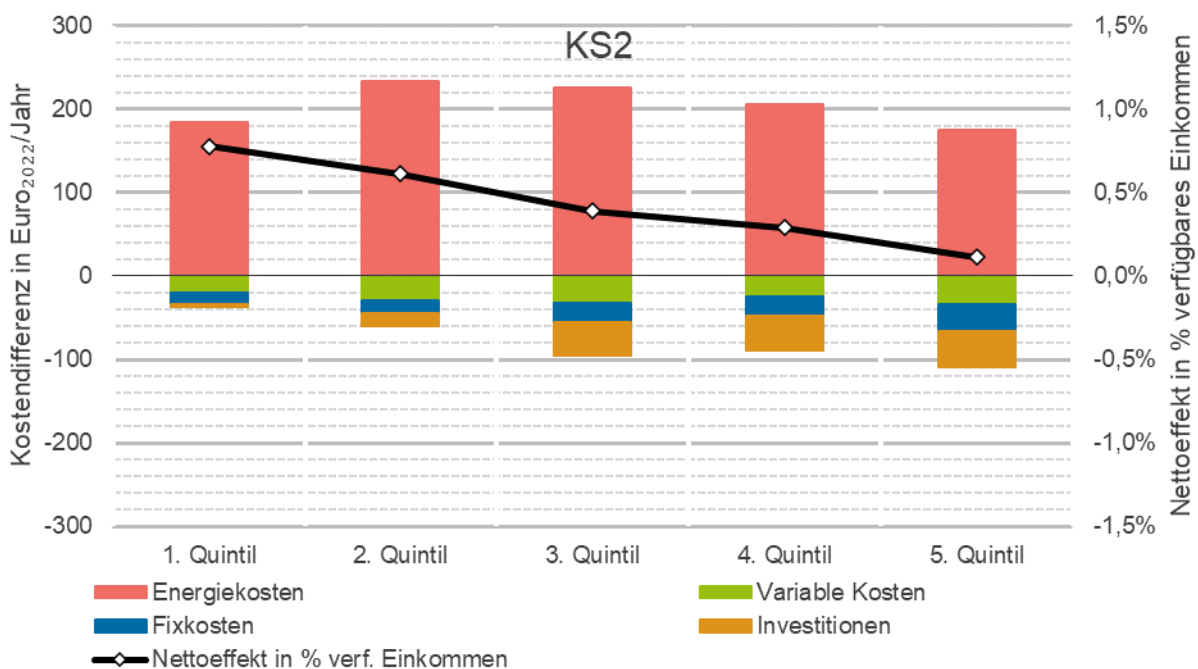
Dennoch bleibt die im Szenario KS4 eingeführte Pkw-Maut ein erheblicher Kostenfaktor. Die durch das Tempolimit und die reduzierte Fahrleistung gesunkenen Betriebskosten können nicht ganz die

zusätzlichen Kosten kompensieren, die durch die Pkw-Maut entstehen. Für private Haushalte bleibt damit im Durchschnitt eine Mehrbelastung von rund 30 Euro pro Jahr.

Im Verhältnis zum verfügbaren Einkommen fällt die durchschnittliche Belastung im ersten Einkommensquintil am höchsten aus. Hier beträgt der Nettoeffekt etwa 0,2 % des verfügbaren Einkommens. In den höheren Einkommensquintilen ist der Anteil der Belastung im Vergleich zum verfügbaren Einkommen geringer, und die Unterschiede zwischen den Quintilen bleiben insgesamt relativ klein. Damit bewegen sich die relativen Kostenbelastungen für alle Einkommensgruppen auf einem insgesamt niedrigen Niveau.

Es ist jedoch zu beachten, dass in der Analyse ein wichtiger Aspekt nicht berücksichtigt wurde. So wurden gesellschaftliche Kosten, die durch eine mögliche fehlende Akzeptanz ordnungsrechtlicher Maßnahmen entstehen könnten, nicht in die Betrachtung einbezogen. Die gilt es bei der Umsetzung ordnungsrechtlicher Maßnahmen wie sie im KS4 ausgestaltet sind zu berücksichtigen.

Abbildung 25: Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS2 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Eigene Darstellung (Öko-Institut); Eigene Modellrechnung auf Basis MOP 2021, 2022 und 2023 (KIT 2021; 2022; 2023) mit Input Modellrechnung TEMPS.

Anmerkungen: Alle Angaben inkl. Mehrwertsteuer; Energiekosten inklusive CO₂-Kosten und Energiesteuern; Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

In den Szenarien KS2 und KS3 fallen im Jahr 2035 deutlich höhere Nutzungskosten für private Haushalte im Vergleich zur Referenz an. Dies ist vor allem auf die signifikant höheren Energiekosten zurückzuführen, die durch die in diesen Szenarien veranschlagten hohen CO₂-Preise von 350 Euro (KS2) bzw. 300 Euro (KS3) pro Tonne CO₂ getrieben werden. Besonders betroffen sind die mittleren unteren Einkommensgruppen, da diese eine höhere Fahrleistung als das unterste Quintil aufweisen und gleichzeitig eine geringere Elektrifizierungsquote als die höheren Quintile.

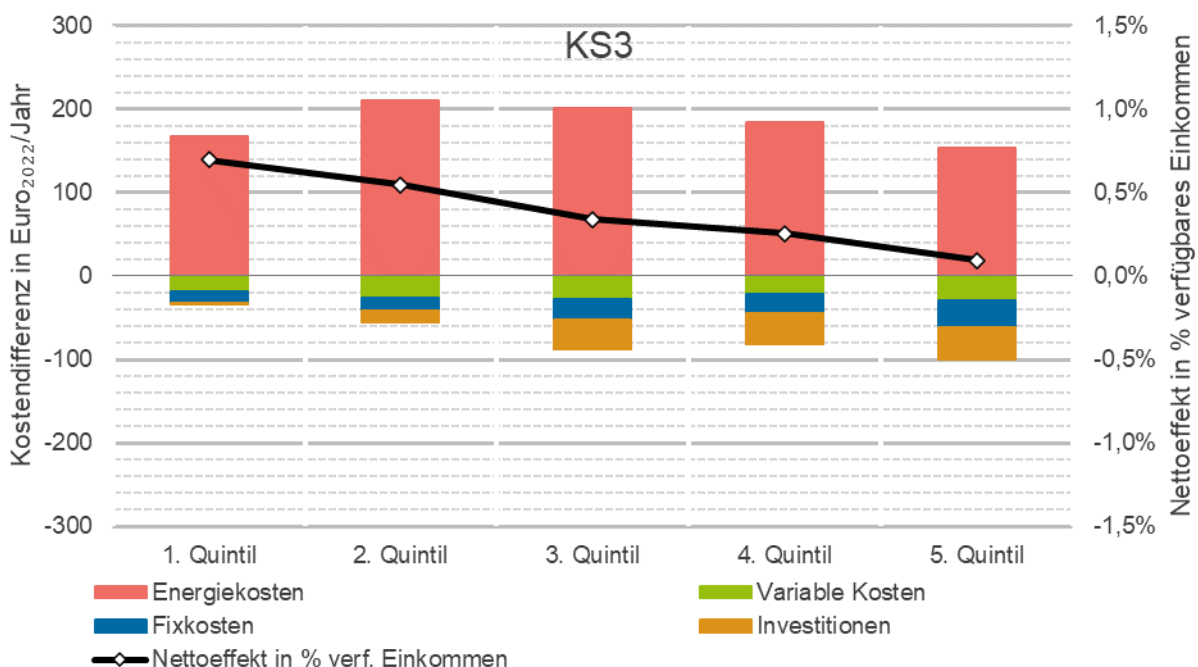
Die jährlichen durchschnittlichen Mehrbelastungen belaufen sich in KS2 auf etwa 110 Euro pro Haushalt, in KS3 auf etwa 125 Euro pro Haushalt. Je nach Einkommensniveau variiert die Belastung deutlich. Im ersten Einkommensquintil beträgt die durchschnittliche Belastung rund 0,8 % des

verfügbaren Einkommens, was die höchste relative Belastung unter allen Einkommensgruppen darstellt. Mit steigendem Einkommen sinkt der Anteil der Belastung am verfügbaren Einkommen, sodass Haushalte im fünften Quintil nur noch eine Belastung von etwa 0,1 % ihres Einkommens zu tragen haben.

Diese Entwicklung zeigt, dass die Maßnahmen zur CO₂-Bepreisung in den Szenarien KS2 und KS3 eine stark regressiv Wirkung haben. Das bedeutet, dass einkommensschwächere Haushalte relativ gesehen deutlich stärker belastet werden als einkommensstärkere Haushalte. Die höheren CO₂-Preise führen in Kombination mit der geringeren Elektrifizierung in den unteren Einkommensgruppen zu einer disproportionalen Kostenbelastung, während wohlhabendere Haushalte durch höhere Elektrifizierungsquoten und damit geringeren relativen Energiekosten entlastet werden.

Es ist jedoch zu beachten, dass in dieser Analyse die potenziellen Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung und deren mögliche Rückverteilung an die Haushalte nicht berücksichtigt wurden. Maßnahmen wie die Förderung weiterer Klimaschutzprojekte oder andere Rückverteilungsmechanismen könnten die Belastungen, insbesondere für einkommensschwächere Haushalte, deutlich abmildern. Diese Aspekte werden in Abschnitt 3.3.3 detaillierter behandelt.

Abbildung 26: Verkehr: Verteilungswirkungen nach Einkommensdezilen im Szenario KS3 im Vergleich zur Referenz - Jahr 2035



Eigene Darstellung (Öko-Institut); Eigene Modellrechnung auf Basis MOP 2021, 2022 und 2023 (KIT 2021; 2022; 2023) mit Input Modellrechnung TEMPS.

Anmerkungen: Alle Angaben inkl. Mehrwertsteuer; Energiekosten inklusive CO₂-Kosten und Energiesteuern; Negative Werte bedeuten Einsparungen für die Haushalte gegenüber der Referenz, positive Werte bedeuten zusätzliche Kosten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zusätzlicher Klimaschutz in allen Szenarien zu höheren Kosten für die Pkw-Nutzung in allen Haushalten führt. Die Klimaschutzmaßnahmen verursachen in jedem Szenario Mehrbelastungen, allerdings variieren die Verteilungswirkungen je nach Szenario.

In den Szenarien KS1 und KS4 sind die Haushalte aus verteilungspolitischer Sicht weniger stark belastet. Insbesondere die unterem Einkommensgruppen tragen hier die höchste Belastung, jedoch sind die Unterschiede zu den höheren Einkommensgruppen, gemessen am verfügbaren Einkommen, relativ gering. Dies liegt daran, dass in diesen Szenarien durch zusätzliche Effizienzsteigerungen und Verkehrsverlagerungen Kostenersparnisse erzielt werden, die die Belastung abmildern.

In den Szenarien KS2 und KS3 zeigen sich hingegen deutlich regressive Verteilungswirkungen. Haushalte mit höherem Einkommen können schneller auf Elektromobilität umsteigen und so von den Vorteilen emissionsarmer Fahrzeuge profitieren. Finanzschwächere Haushalte hingegen befinden sich eher in einem „Carbon-Lock-in“, da sie es sich häufig nicht leisten können, auf teurere, zumeist neue emissionsärmere Fahrzeuge umzusteigen, was zu einer überproportionalen Belastung führt.

Zu beachten ist, dass sich die dargestellten zusätzlichen Kostenbelastungen unter den einkommensschwachen Haushalten auf anteilig weniger Haushalte verteilt, da viele der Haushalte keinen Pkw besitzen. Es ist somit davon auszugehen, dass innerhalb dieser Gruppe Haushalte existieren, die von massiven Kostensteigerungen betroffen sind, da sie aufgrund mangelnder Alternativen eine starke Pkw-Abhängigkeit aufweisen.

Besonders deutlich wird in allen Szenarien, dass die Einführung der Pkw-Maut sowie die CO₂-Bepreisung die Hauptkostentreiber sind. Diese Maßnahmen belasten alle Haushalte zusätzlich, wobei die CO₂-Preisszenarien (KS2/3) die stärksten regressiven Verteilungseffekte aufweisen.

Das ordnungsrechtliche Szenario KS4 schneidet im Vergleich hinsichtlich der zusätzlichen Kostenbelastung für die Haushalte am besten ab, während die CO₂-Preisszenarien KS2 und KS3 die stärkste zusätzliche Belastung, insbesondere für einkommensschwache Haushalte, aufweisen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in dieser Analyse die externen Kosten für die Umsetzung von ordnungsrechtlichen Maßnahmen sowie potenzielle gesellschaftliche Widerstände gegen solche Maßnahmen nicht berücksichtigt wurden. Ebenso bleibt unberücksichtigt, inwiefern Rückverteilungsmechanismen, etwa durch die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung, die Belastungen, insbesondere für einkommensschwache Haushalte, abmildern könnten.

3.3.3 Exkurs: Einnahmenverwendung aus der CO₂-Bepreisung

Gerade in KS2 und KS3 werden deutliche Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung erzielt, die nach Emissionshandelsrichtlinie der EU für klima- und sozialrelevante Zwecke verwendet werden können. Derzeit fließen die Einnahmen in den Klima- und Transformationsfonds und werden für Förderprogramme, Infrastrukturentwicklung, Abschaffung der EEG-Umlage, Strompreiskompensation ETS 1 und Unterstützung von Transformationsinvestitionen genutzt.

Um einen besseren Einblick zu geben, welche Einnahmen in den verschiedenen Szenarien zur Verfügung stehen und wie diese im Verhältnis zu den Fördermitteln stehen, die für die Förderprogramme in den Szenarien KS1 bis KS4 vorgesehen sind, werden hier die Einnahmen aus CO₂-Kosten privater Haushalte jeweils in den Bereichen Gebäude und Mobilität und in Summe für die Stützjahre 2030 und 2035 ausgewiesen. Demgegenüber wird die Förderung für private Haushalte in Szenarien und den jeweiligen Jahren gestellt und ein Saldo gezogen.

Tabelle 3 stellt die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung der Privathaushalte, die im Rahmen des ETS 2 in den Stützjahren 2030 und 2035 im Referenz- und in den Klimaschutzszenarien anfallen,

dem Förderbedarf für Privathaushalte in den Sektoren Gebäude und Verkehr gegenüber. Im Referenzszenario ergibt sich aus der Differenz von CO₂-Preis-Einnahmen und dem Förderbedarf in beiden Stützjahren ein Plus von ungefähr 5 Mrd. Euro. Der Förderbedarf, der hier nur im Gebäudesektor anfällt, kann also ohne Weiteres von den Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung gedeckt werden und es bleiben noch Mittel für weitere Programme übrig.

In KS1 und KS4 wird mehr gefördert und aufgrund einer schnelleren Abkehr weg von fossilen Energieträgern werden weniger Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung generiert. Im Gegensatz zum Referenzszenario entstehen hier keine Überschüsse. Die größte Diskrepanz zwischen Einnahmen und Förderbedarf zeigt sich in im KS1. Insbesondere im Jahr 2030 kann nur ein Bruchteil des Förderbedarfs aus den Einnahmen der CO₂-Bepreisung gedeckt werden. Im Gebäudebereich fallen hier Förderungen in Höhe von fast 16,3 Mrd. Euro an, die insgesamt an die Privathaushalte ausgezahlt werden. Dem gegenüber stehen Einnahmen von unter 10 Mrd. Euro von privaten Verbraucher*innen aus der CO₂-Bepreisung in den Sektoren Verkehr und Gebäude, die nicht mal zwei Drittel des Förderbedarfs abdecken können. Die restlichen ungefähr 7 Mrd. Euro müssen aus anderen Quellen finanziert werden. Im Jahr 2035 ist der Förderbedarf mit über 12 Mrd. Euro immer noch hoch, aber deutlich niedriger. Dem gegenüber stehen Einnahmen von knapp 8 Mrd. Euro, sodass noch ein Finanzierungslücke von knapp 5 Mrd. geschlossen werden muss.

Ganz ähnlich sieht es im KS4 aus. Allerdings ist hier der Förderbedarf im Jahr 2030 mit 11,5 Mrd. Euro deutlich geringer als im KS1, sinkt bis 2035 jedoch nicht, sondern bleibt auf einem ähnlichen Niveau. Gleichzeitig sinken jedoch ähnlich wie im KS1 die CO₂-Preis-Einnahmen von ungefähr 9 Mrd. Euro auf gut 7 Mrd. Euro. Dadurch wächst im KS4 die Finanzierungslücke von gut 2 Mrd. Euro im Jahr 2030 auf 4,5 Mrd. Euro im Jahr 2035.

Ein anderes Bild zeigt sich in den CO₂-Preis-Szenarien KS2 und KS3. Hier ist aufgrund des anderen politischen Ansatzes mit deutlich niedrigeren Fördersummen zu rechnen, während gleichzeitig aufgrund des deutlich höheren CO₂-Preises mit hohen Einnahmen gerechnet werden kann. Im Jahr 2030 stehen hier Förderungen an die Privathaushalte in Höhe von ungefähr 4 Mrd. Euro an, die leicht über die Einnahmen in Höhe von über 30 Mrd. Euro gedeckt werden können. Für die weitere Verwendung bleiben hier bis zu 29 Mrd. Euro im KS2 und 26. Mrd. Euro im KS3 übrig. In den Folgejahren sinken die Einnahmen aufgrund der durch die CO₂-Bepreisung angeregten Fortschritte etwas. Bis 2035 bleiben allerdings immerhin noch fast 20 Mrd. Euro, nach wie vor gedeckt werden können und immerhin noch über ungefähr 15 Mrd. übrigbleiben, die für weitere Programme genutzt werden können. Beispielhaft könnte das bedeuten, dass Privathaushalte im Jahr 2035 im Durchschnitt mit bis zu 2 Euro pro Quadratmeter und pro Jahr z.B. bei der Finanzierung von Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen unterstützt werden könnten und gleichzeitig könnten bis zu 200 Euro über Programme für eine faire Verkehrswende an die Haushalte fließen.

Im Zusammenhang mit der Analyse der Verteilungswirkungen in den vorherigen Kapiteln lassen sich die Vorteile einer sozialgestaffelten Förderung und zielgerichteter Unterstützung ableiten. Während in KS1 hohe Förderung Investitionen in Gebäudesanierung und Heizungstausch bewirkt und positive Verteilungswirkungen hat, führen diese jedoch zu einem hohen Förderbedarf. Positive Verteilungswirkungen mit geringem Förderbedarf ließen sich durch sozial gestaffelte Förderung umsetzen. Dies gilt ebenso für das KS4. In den Szenarien mit Fokus auf CO₂-Bepreisung ließen sich dagegen die negativen Verteilungswirkungen durch höhere Förderung abmildern. Die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung können für eine sozial gestaffelte Förderung verwendet werden. Gleichzeitig können hohe Belastung von Haushalten mit wenig oder mittlerem Einkommen in der Übergangsphase bis zur Investition in klimafreundliche Alternativen zum Teil durch Verwendung der

Einnahmen kompensiert werden. Wichtig ist hierbei, dass die Einnahmen nicht pauschal ausgeschüttet werden, sondern für sozial differenzierte Förderung und Unterstützung verwendet werden.

Tabelle 3: Vergleich Einnahmen aus CO₂-Bepreisung und Ausgaben für Förderung (Investitions- oder Betriebskostenzuschuss)

	REF	KS1	KS2	KS3	KS4
2030					
Förderungen Gesamt (private Haushalte)	7,2	16,3	3,5	4,2	11,5
Gebäude (Förderbedarf Gebäudehülle und Heizung)	7,2	16,3	3,5	4,2	11,5
Verkehr (Kaufprämie)	-	-	-	-	-
Einnahmen aus CO₂-Bepreisung Privathaushalte (Mrd. Euro_{real2022})	11,8	9,5	32,0	30,4	9,2
Gebäude	6,2	5,4	16,6	15,0	5,3
Verkehr	5,6	4,1	15,4	15,4	3,9
Saldo	4,7	-6,9	28,6	26,2	-2,3
Gebäude	-1,0	-10,9	13,1	10,7	-6,2
Verkehr	5,6	4,1	15,4	15,4	3,9
2035					
Förderungen Gesamt (private Haushalte)	7,8	12,4	4,1	4,0	11,8
Gebäude (Förderbedarf Gebäudehülle und Heizung)	7,8	12,4	4,1	4,0	11,8
Verkehr (Kaufprämie)	-	-	-	-	-
Einnahmen aus CO₂-Bepreisung Privathaushalte (Mrd. Euro_{real2022})	13,3	7,8	19,7	18,7	7,3
Gebäude	7,1	5,0	11,3	10,7	4,6
Verkehr	6,3	2,8	8,4	8,0	2,7
Saldo	5,5	-4,7	15,6	14,7	-4,5
Gebäude	-0,8	-7,4	7,2	6,7	-7,2

	REF	KS1	KS2	KS3	KS4
Verkehr	6,3	2,8	8,4	8,0	2,7

Quelle: Eigene Berechnungen

3.3.4 Weitere soziale Wirkungen

Preissteigerungen in den anderen Sektoren haben ebenfalls soziale Wirkungen. In der Landwirtschaft wird sich das Preisniveau und die Preisrelation von Lebensmitteln mit den Klimaschutzmaßnahmen verschieben. Tierische Produkte werden teurer, pflanzliche Produkte relativ günstiger. Bei Umstellung der Ernährungsgewohnheiten ergeben sich daraus nicht notwendigerweise negative Verteilungswirkungen, in dem Sinne, dass Haushalte mit geringem Einkommen, die ohnehin einen deutlichen höheren Anteil ihres Einkommens für Bedarfe des alltäglichen Lebens ausgeben müssen, stärker belastet werden. Werden Ernährungsgewohnheiten nicht umgestellt, so ist die Belastung für Haushalte mit geringem Einkommen höher. Es ist daher wichtig, ergänzend Informations- und gesundheitliche Anreizprogramme zu schaffen, die diese Umstellung motivieren.

Auch andere Preisgefüge können sich ändern, wenn Klimaschutzmaßnahmen zu höheren fossilen Brennstoffkosten führen und entsprechende Investitionen und Verhaltensänderungen auslösen. Dies ist insbesondere in den Szenarien KS2 und KS3 der Fall, in denen der CO₂-Preis ein Haupttreiber ist. Unternehmen schlagen die Kosten entweder auf ihre Produktpreise auf oder investieren und müssen sich über höhere Preise refinanzieren. Dadurch werden Produkte mit größerem CO₂-Fußabdruck teurer, aber auch die Preise für klimafreundliche Produkte können steigen, zum einen da die Nachfrage steigt und zum anderen da Unternehmen ihre Marge zur Refinanzierung aufsetzen. Darüber hinaus führt der Fachkräftemangel in einigen Branchen zu höheren Kosten. Deutlich zu sehen ist dies bspw. in den Baukosten³, die nicht nur aufgrund der allgemeinen Inflation, sondern auch aufgrund von Engpässen und höherer Nachfrage steigen. Auf der anderen Seite können Produkte auch günstiger werden, wenn die Nachfrage steigt, da sich Skaleneffekte in der Produktion einstellen. Dies wird bspw. für Wärmepumpen⁴ und auch E-Fahrzeuge erwartet. Ein Nettoeffekt kann erst im Zeitverlauf mit Verfügbarkeit weiterer empirischer Daten abgeschätzt werden.

Um die Senken aus dem Bereich Landnutzung und Forstwirtschaft in Anspruch zu nehmen, muss die Holzentnahme aus dem Wald reduziert werden. Bleibt Laubholz im Wald beeinflusst dies regionale Wertschöpfungsketten, in der vorliegenden Modellierung maßgeblich für Feuerholz (vgl. Schmidt et al. 2017). Dies kann mit einem Verlust an Arbeitsplätzen und regionaler Wertschöpfung in meist strukturschwachen Regionen verbunden sein. Eine Möglichkeit, dem entgegenzuwirken, liegt darin, auch die Klimaschutzleistung des Waldes finanziell angemessen zu honorieren.

in einigen Sektoren ist eine Veränderung der Wertschöpfungsstruktur zu erwarten, die sich regional unterschiedlich auf Arbeitsplätze und regionale Strukturen auswirkt. Diese Wirkungen sind frühzeitig zu berücksichtigen, indem Strukturförderungsprogramme aufgesetzt werden, die zielgenau und passend wirken müssen.

³ <https://bki.de/baupreisindex>

⁴ <https://blog.paradigma.de/waermepumpe-kosten-und-preise-2024-im-ueberblick/>

Ein umfassendes, wirksames und soziales Klimaschutzprogramm muss Aspekte der Gerechtigkeit und sozialen Teilhabe, aber auch der Motivation und Ansprache von Akteuren von Anfang an mitdenken. Daher sollte zusätzlich zu den üblichen Gesetzes- und Maßnahmenfolgenabschätzungen künftig auch ein ex-ante Sozialmonitoring durchgeführt werden, wie es im Klimaschutzprogramm 2023 angelegt ist.

4 Zusammenfassende Bewertung

Für die Szenarienanalysen („Klimaschutzszenarien 2050“) in diesem Bericht steht das Zielbild der Treibhausgasneutralität im Vordergrund. Es wurden neben einem Referenzszenario vier Zielszenarien modelliert, die jeweils die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes erreichen, d.h. Treibhausgasneutralität bis 2045 und die Zwischenziele für 2030 und 2040. Treibhausgasemissionen sollen dabei so weit wie möglich reduziert werden und nur die verbleibenden, schwer vermeidbaren Emissionen durch (bevorzugt) natürliche und technische Kohlenstoffsinken ausgeglichen werden. Die Szenarien unterschieden sich in den Schwerpunkten der politischen Instrumente. Das erste Szenario (KS1) bildet eine Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentenmixes aus ordnungsrechtlichen, fiskalischen, ökonomischen und flankierenden Instrumenten ab. Das zweite (KS2) und dritte (KS3) Szenario stellen vor allem auf die CO₂-Bepreisung in unterschiedlichen Zuschnitten ab. Das vierte Szenario (KS4) wiederum fokussiert auf die Zielerreichung durch eine Verschärfung ordnungsrechtlicher Instrumente.

Das Ziel, die Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) bis 2040 um 88 % gegenüber 1990 zu mindern, wird in den Klimaschutzszenarien - mit Ausnahme des CO₂-Preisszenarios mit getrennten Handelssystemen - eingehalten. Die größten Emissionsunterschiede zwischen den einzelnen Klimaschutzszenarien für das Jahr 2040 zeigen sich bei der Landwirtschaft. Das Ziel der Treibhausgasneutralität wird im Jahr 2045 in einem Szenario (KS3) erreicht und in zwei Szenarien (KS1 und KS4) knapp, mit weniger als einem Prozent, verfehlt. Die wenigen verbleibenden Emissionen werden durch LULUCF-Senken kompensiert, im Szenario KS3 sogar so weit, dass sich eine leichte Nettosenke ergibt.

Im Entwicklungspfad zeigt sich, dass die Emissionsminderungen in den Szenarien mit Schwerpunkt auf CO₂-Bepreisung (Szenarien KS2 und KS3) zeitlich in spätere Jahre verlagert werden. Folglich haben diese beiden Szenarien ohne Berücksichtigung von LULUCF die höchsten kumulativen Treibhausgasemissionen 2031 bis 2045, während das erweiterte Policy-Mix-Szenario KS1 die geringsten kumulativen Emissionen aufweist.

Die Ausgestaltung der Szenarien in den verschiedenen Sektoren unterscheidet sich maßgeblich vor allem bezüglich der technischen Möglichkeiten, der verbleibenden Lösungsräume und der Anreizstrukturen, die sich durch die jeweiligen Instrumente- und Maßnahmenschwerpunkte ergeben. Dies hat nicht nur Folgen für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen, sondern auch für die Auswirkungen auf wirtschaftlicher, sozialer und fiskalischer Ebene. Diese Aspekte stehen daher in der vorliegenden Folgenabschätzung im Vordergrund. Der Bericht ergänzt die sektoralen Folgenabschätzungen, die die technische Ausgestaltung, strukturelle Entwicklung, damit verbundene Investitionsbedarfe und Kosteneinsparungen sowie die Entwicklung des Energieverbrauchs und der sektoralen Treibhausgasemissionen darlegen und Kernbotschaften ableiten. Die sektoralen Folgenabschätzungen zeigen deutlich, dass kein Szenario in jeder Hinsicht am besten ist. In den CO₂-Preisszenarien werden Investitionen verzögert, bis der CO₂-Preis eine ausreichende Höhe erreicht, um Backstop-Technologien wirtschaftlich zu machen. Aus

Investorensicht ist Förderung essentiell für die Wirtschaftlichkeit von Investitionen. Im Policy Mix Szenario (KS1) stellt sich Förderung als wesentliches Anreizinstrument dar. Aber auch im Szenario mit Schwerpunkt auf ordnungsrechtlichen Ansätzen (KS4) spielt Förderung für die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. Dies zeigt sich insbesondere im Gebäudesektor, aber auch in der Industrie und Energiewirtschaft. Die CO₂-Preisszenarien (KS2 und KS3) sind mit einer stärkeren Elektrifizierung verbunden. Der Bruttostromverbrauch ist deutlich höher, z.B. wird im Gebäudesektor weniger häufig und weniger ambitioniert saniert, so dass größere Wärmepumpen installiert werden müssen, im Verkehrssektor ist die Fahrleistung höher und es wird mehr Ladestrom benötigt. Dies hat entsprechende Implikationen für die Energiewirtschaft und den Ausbau bzw. Umbau von Infrastruktur.

Die gesamtwirtschaftliche Analyse erfolgt im Vergleich der Szenarien zur Referenzentwicklung. Gesamtwirtschaftlich relevant ist vor allem das Wechselspiel aus Investitionen, Konsumausgaben, Staatseinnahmen und die Gegenfinanzierung der Investitionen. In Bezug auf die Staatseinnahmen/-ausgaben zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien in den Sektoren Gebäude und Verkehr. Die unterschiedliche Ausgestaltung der Szenarien führt dazu, dass im Gebäudesektor in KS1 und KS4 mehr Subventionen fließen als in der Referenz, in KS2 und KS3 hingegen weniger. Im Verkehrssektor wirken in KS1 und KS4 die Einnahmen durch die Maut im Vergleich zur Referenz positiv.

Die Wirkungen insgesamt auf das Bruttoinlandsprodukt sind abhängig von der Szenarioausgestaltung und den Annahmen zum möglichen Investitionsniveau sowie zum Ausgleichen des Staatshaushaltes. Das BIP in den Klimaschutzszenarien liegt je nach Szenario und Zeitpunkt etwas geringer (bis zu -1,2%) oder etwas höher (bis zu +1,8%) als in der Referenz. Unter den Annahmen der Hauptanalyse, dass der Staatshaushalt über den Staatskonsum ausgeglichen wird und dass Klimaschutzinvestitionen das Investitionsniveau erhöhen, wirken sich die hohen Investitionen im durch Ordnungsrecht geprägten Szenario (KS4) positiv auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung aus, während die hohe Belastung des Staatshaushaltes und die geringen Investitionen im erweiterten Policy-Mix-Szenario (KS1) zu einem geringeren BIP als in der Referenz führen.

Für die Bruttowertschöpfung ergeben sich in allen Klimaschutzszenarien deutliche strukturelle Änderungen im Vergleich zur Referenz, jeweils mit Wirtschaftsbereichen mit höherer und geringerer Wertschöpfung. Auch untereinander unterscheiden sich die Klimaschutzszenarien. Zusätzliche Investitionen in KS4 zeigen sich auch strukturell durch höhere Wertschöpfung in den Bereichen, die die entsprechenden Güter und Dienstleistungen liefern, bspw. bewirken höhere Investitionen in Gebäudedämmung höhere Wertschöpfung im Baugewerbe und bei den dazugehörigen Dienstleistungen. Eine zusätzliche Betrachtung der Wertschöpfung ohne sonstige Produktionsabgaben und sonstige Subventionen, zeigt in Teilbereichen nochmals deutlich die Wirkung der unterschiedlichen Instrumentierung in den Klimaschutzszenarien.

In Bezug auf den Arbeitskräftebedarf ergibt sich ein höherer Bedarf in allen Szenarien gegenüber der Referenz bis auf das Szenario mit erweitertem Policy Mix (KS 1). Die Analyse weist deutliche strukturelle Unterschiede zwischen den Szenarien auf. Effekte in beschäftigungsintensiven Wirtschaftsbereichen wie öffentliche Dienstleistungen oder Baugewerbe sind besonders deutlich.

Für die soziale Folgenwirkungen wird vor allem die Verteilung der Kosten auf private Haushalte differenziert nach Einkommen betrachtet. Die Analyse erfolgt für das Jahr 2035, ein stellvertretendes Jahr inmitten der Transformationsphase. Die Verteilungswirkungen werden gegenüber der Referenz in diesem Jahr dargestellt. Eine Kostenbelastung ergibt sich in den CO₂-Preisszenarien (KS2 und

KS3) durch die CO₂-Kosten, die für fossile Heiz- und Kraftstoffe bezahlt werden müssen, solange noch keine Umstellung auf klimafreundliche Heizungen oder Verkehrsmittel erfolgt ist. Dies betrifft insbesondere einkommensschwache Verbraucher*innen, denen zumeist die Mittel oder Entscheidungsmöglichkeiten für die Umstellung der Heizung oder die Sanierung der Gebäude, in denen sie wohnen fehlen. Die Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung werden für Förderprogramme verwendet. Insbesondere im erweiterten Policy-Mix-Szenario reichen sie jedoch nicht aus, um den Förderbedarf zu decken. In den Szenarien mit Fokus auf CO₂-Bepreisung dagegen sind die Einnahmen höher und können für weitere Rückverteilungszwecke verwendet werden.

Im erweiterten Policy-Mix-Szenario (KS1) und im Szenario mit ordnungsrechtlichem Schwerpunkt (KS4) führen Investitionen in Gebäudesanierung und Heizungstausch sowie klimafreundliche Mobilität zu starken Kosteneinsparungen für die Verbraucher*innen. Ein Teil der Einsparungen wird jedoch für Haushalte mit Pkw von den Mehrbelastungen durch die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut reduziert. Es lässt sich festhalten, dass insbesondere Haushalte mit geringem Einkommen stark von den Einsparungen in den Szenarien KS1 und KS4 profitieren, sofern Förderungen zielgerichtet vor allem auch einkommensschwachen Haushalten zugutekommen und die Akzeptanz von ordnungsrechtlichen Maßnahmen gewährleistet ist.

Als Schlussfolgerung lässt sich festhalten, dass ein optimaler Policy Mix Elemente aus allen Szenarien enthalten sollte. Förderung spielt eine essentielle Rolle für die Wirtschaftlichkeit aus Investorensicht und bietet damit die Grundlage für viele Investitionsentscheidungen. Förderung ist zudem essentiell in Sektoren, in den durch die Investitionen keine direkten Kosteneinsparungen erzielt werden können und eine Refinanzierung somit gar nicht oder nur durch veränderte Produktpreise erzielt werden kann. Beispiele hierfür sind der Landwirtschaftssektor, die Abfallwirtschaft und LULUCF. Für die Anreizwirkung von Förderung zeigt sich allerdings auch, dass Förderung alleine in der Regel nicht ausreicht, um genügend Anreize für Investoren zu schaffen. Als Beispiel hierfür dient die Stagnation der Sanierungsraten im Gebäudesektor in vergangenen Jahren, in den bereits vielfältige Förderungen zur Verfügung standen. Ordnungsrechtliche Vorgaben, z.B. in Form von Mindesteffizienzstandards, Flottengrenzwerten und anderen Standards, können aus Investoren- bzw. Nutzerperspektive positiv sein, da sie Investoren einen Planungshorizont vorgeben. Förderung und CO₂-Preisen verbessern dann die Wirtschaftlichkeit deutlich. Im Szenario mit ordnungsrechtlichem Schwerpunkt (KS4) führt dies zu früheren und ambitionierteren Klimaschutzinvestitionen, die sich unter den gegebenen und in der Analyse gewiss vereinfachten Annahmen positiv für Investoren und Nutzer*innen darstellen. Die Szenarien mit Schwerpunkt auf CO₂-Bepreisung weisen auf, dass CO₂-Preise auf über 300 Euro/t CO₂ ansteigen müssen, um Backstop-Technologien wirtschaftlich zu machen. Hier ist hervorzuheben, dass auch bei diesen Szenarien weitere Instrumente benötigt werden, um Spitzen von Vermeidungskosten abzufangen.

In einem optimalen Policy-Mix-Szenario müssen alle Instrumente abgestimmt aufeinander zusammenspielen und nicht nur nebeneinander eingesetzt werden. Förderung sollte zielgerichtet sein, um hohe Anfangsinvestitionen zu mindern und damit Anreize und Möglichkeiten für Investitionen bieten. CO₂-Preise bieten ebenfalls durch ihre Lenkungswirkung einen Anreiz und verbessern die Wirtschaftlichkeit der klimafreundlichen Investition gegenüber der herkömmlichen Technologie. Zudem erzielen sie Einnahmen, die für Förderung und Unterstützung besonders betroffener in der Übergangsphase der Transformation genutzt werden können. Ordnungsrechtliche Vorgaben geben technologieoffen oder technologiefokussiert einen Weg zur Klimaneutralität vor und bieten damit Planungssicherheit und Investitionsanreize für Investoren. Im Zusammenspiel mit diesen Vorgaben kommt dem CO₂-Preis und der Förderung dann insbesondere die Rolle der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Absenkung von Investitionshemmnissen zu. CO₂-Preise

müssen dann nicht die Höhe der Grenzvermeidungskosten der Backstop-Technologie erreichen, was sich positiv auf die Akzeptanz auswirken kann.

Bei allen Kombinationen ist auf eine sozial ausgerichtete Umsetzung zu achten. Teile der Bevölkerung haben keine eigenen Handlungsmöglichkeiten. Sie sind auf Vermieter*innen, Ausbau der öffentlichen Infrastruktur und weiteres angewiesen, um klimafreundlich leben zu können. Gerade hohe CO₂-Preise belasten sie sehr, solange keine Möglichkeit zur Umstellung oder Investition gegeben ist. Wichtig ist es also, durch den Policy-Mix Anreize bei denjenigen zu schaffen, die über Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten verfügen und die Maßnahmen so auszugestalten, dass insbesondere Haushalte mit niedrigem Einkommen nicht durch höhere Warmmieten, Mobilitätskosten oder Produktpreise zusätzlich belastet werden. Sozial gestaffelte Förderung kann zudem höhere Unterstützung für Haushalte mit geringem Einkommen bieten und Mitnahmeeffekte bei höheren Einkommen mindern.

Die vorliegende Szenarienanalyse bietet einen erkenntnisreichen Vergleich zwischen den verschiedenen politischen Schwerpunkten im Instrumentenmix. Allerdings sei an dieser Stelle auch auf eine Reihe an Herausforderung verwiesen, die zur Einordnung der Ergebnisse wichtig ist. So muss darauf hingewiesen werden, dass vor allem die CO₂-Bepreisungsszenarien sowie das ordnungsrechtliche Szenario Limitierungen im Vergleich zu einer Weiterentwicklung des Instrumentenmixes aufweisen. So sind bei einer reinen Fokussierung auf CO₂-Bepreisung sehr hohe CO₂-Preise zu erwarten. Für sehr hohe CO₂-Preise liegen jedoch zum Teil keine empirischen Daten vor, welche Reaktion von Marktteilnehmern zu erwarten sind (Elastizitäten). Zum anderen können sehr hohe CO₂-Preise auf Akzeptanzprobleme hindeuten. Ein rein ordnungsrechtliches Szenario wiederum kann ebenfalls auf Akzeptanzprobleme hindeuten („erzwungene Transformation“). Mögliche Verlagerungseffekte aufgrund hoher Kosten durch CO₂-Preise oder Ordnungspolitik (Carbon Leakage) oder günstigeren Bedingungen für klimaneutrale Produktion (Green Leakage) wurden in der Modellierung nicht abgebildet. Deshalb sollen die Szenarien als idealtypisch betrachtet werden, um zu beleuchten, wie sich unterschiedliche Instrumentenausrichtungen auswirken.

5 Herausforderungen und weitere Forschungsbedarf

Auch in Bezug auf die Modellierung ist auf Limitierungen hinzuweisen, die als weiterer Forschungsbedarf formuliert werden. Dazu gehören unter anderem Wirkungen auf Produktpreise, die sich durch Kostenüberwälzung ergeben und die nur in sehr beschränktem Rahmen in die Analyse eingeflossen sind. Insbesondere zur Refinanzierung von Investitionen erhöhen Wirtschaftsakteure die Preise ihrer Produkte. In den sektoralen Wirtschaftlichkeitsanalysen wurden die dadurch erzielten höheren Einnahmen nicht berücksichtigt, sondern die Investitionen nur im Vergleich zu den bewirkten Energie- und Betriebskosteneinsparungen beleuchtet. Besonders deutlich wird dies in der sektoralen Betrachtung der Energiewirtschaft, in der Investitionen in Stromerzeugungskapazitäten oder Infrastruktur keinen wesentlichen sektorinternen Betriebskosteneinsparungen gegenüberstehen, jedoch deutliche Erlöse durch Verkauf an die anderen Sektoren erzielt werden. In der gesamtwirtschaftlichen Analyse werden diese Erlöse berücksichtigt, jedoch besteht hier Verbesserungsbedarf in Bezug auf die tatsächlich Höhe der Erlöse. Da keine iterative Modellierung erfolgte, in der für jedes Szenario ein spezifischer Strompreis anhand der nachgefragten Mengen aus den Abnahmesektoren errechnet wird, wurde ein mittlerer Strompreis angelegt. Hier besteht Verbesserungsbedarf, der jedoch nur durch iterative Modellierung mit deutlich mehr Zeit- und Ressourcenaufwand abgedeckt werden kann.

Eine Limitierung ergibt sich auch darin, dass die CO₂-Preispfade nicht modellendogen hergeleitet wurden. Der im Vorhaben gewählte Modellierungsansatz basiert auf einem Verbund von individuellen Sektormodellen, die durch Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell gekoppelt werden. Darüber hinaus werden Impulse an ein gesamtwirtschaftliches Modell übergeben. Die Modelle nutzen harmonisierte Rahmendaten und übergeben Variablen, z.B. sektorspezifische Strom- und Energienachfragen, Strompreise und weiteres. Es findet jedoch keine integrierte oder iterative Modellierung statt, in der Angebot und Nachfrage zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen und Preise abgeleitet werden. Auch lassen sich anhand der Grenzvermeidungskosten keine sektorübergreifenden Schattenpreise bestimmen. Die CO₂-Preispfade werden daher in diesem Vorhaben anhand des jeweils preissetzenden Sektors abgeleitet. In Preisszenarien mit getrennten Handelssystemen für Energiewirtschaft/Industrie und Verkehr/Gebäude (KS2) ist der Industriesektor in einem System und der Verkehrssektor im anderen System der preissetzende Sektor. Der CO₂-Preis wurde so gewählt, dass die Vermeidungskosten bei gegebenen Energiepreisen einen Break-even zu konventionellen Technologien darstellen. Im gemeinsamen Handelssystem für alle Sektoren (KS3) wurden drei verschiedene Preispfade gerechnet und daraus der zur Zielerreichung passende Preispfad abgeleitet. Der Landwirtschaftssektor ist in diesem sektorübergreifendem Handelssystem der preissetzende Sektor. Das gewählte („trial-and-error“) Vorgehen erlaubt, CO₂-Preise so zu wählen, dass die Treibhausgasminderungsziele unter Berücksichtigung aller komplementären Instrumente und Maßnahmen, die auf Sektorebene wirken. Alternativ kann eine Modellierung von endogenen Preisen mit Hilfe einer gesamtwirtschaftlichen Modellierung erfolgen. Der Vorteil dabei ist, dass sich das Preisgefüge anhand von Angebot und Nachfrage und daraus resultierenden Emissionen bildet. Der Nachteil ist, dass sektorspezifische Instrumente und Maßnahmen in der Regel nur rudimentär abgebildet werden können. In der Regel wird die Produktion oder Nachfrage in Sektoren durch typische Technologien repräsentiert und es können keine Detailinformationen für einzelne Sektoren modelliert werden. Dies hat zur Folge, dass viele komplementäre spezifische Maßnahmen, wie z.B. Wirkungen von Energieberatung, differenzierte Förderung von einzelnen Technologien wie Wärmepumpen, Mindesteffizienzstandards, Modernisierungsumlagen, Wiedervernässung von Mooren etc. nicht berücksichtigt werden können.

Weiterer Forschungsbedarf besteht auch für die Bewertung der Infrastrukturkosten und der Infrastrukturfinanzierung. Gerade die Finanzierung wird ein Thema mit höchster Priorität, wenn die Transformation voranschreitet. Für die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur ergibt sich eine Finanzierungslücke durch den Wegfall von Energiesteuereinnahmen, der Ausbau von Strom- und Wärmenetzen muss finanziert werden, der Rückgang der Erdgasnachfrage macht Investitionen in Gasnetze unwirtschaftlich und erhöht Netzentgelte. Die Finanzierung muss strategisch angegangen und sozial ausgewogen umgesetzt werden. In den vorliegenden Analysen werden Finanzierungskosten zum Teil auf Verbraucher*innen umgelegt. Es ergeben sich jedoch Finanzierungslücken, z.B. im erweiterten Policy-Mix-Szenario (KS1) oder im Ordnungsrechtsszenario (KS4), die im Verkehrssektor durch die Einführung einer Pkw-Maut gefüllt werden jedoch im Vergleich zur Referenz unvollständig sind, da in der Referenz keine Finanzierungslückenfüllung erfolgt.

Literaturverzeichnis

- Destatis - Statistisches Bundesamt (Hg.) (2022): Wirtschaftsrechnungen, Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2018. Aufgabe, Methode und Durchführung (Fachserie, 15 Heft 7). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Einkommen-Einnahmen-Ausgaben/Publikationen/Downloads-Einkommen/evs-aufgabe-methode-durchfuehrung-2152607189004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.02.2024.
- Emele, L.; Moosmann, L. (2022): Modellbeschreibung ENUSEM. Öko-Institut. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/uploads/oeko/das_institut/institutsbereiche/energie-klimaschutz/OEKO-ENUSEM.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2022.
- Harthan, R. O.; Hannah Förster - beide Projektleitung; Borkowski, K.; Hannes Böttcher; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Lena, L.; Jansen; Wolfram Jörß; Kasten, P. et al. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland, Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Climate Change, 39/2023). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/39_2023_cc_p_aktionsbericht_12_23.pdf, zuletzt geprüft am 02.09.2024.
- KIT - Karlsruhe Institute for Technology (2021): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) 2020/2021, Eine Längsschnittstudie zum Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Online verfügbar unter <https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/index.php>.
- KIT - Karlsruhe Institute for Technology (2022): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) 2021/2022, Eine Längsschnittstudie zum Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Online verfügbar unter <https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/index.php>, zuletzt geprüft am 06.06.2025.
- KIT - Karlsruhe Institute for Technology (2023): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) 2022/2023, Eine Längsschnittstudie zum Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Online verfügbar unter <https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/index.php>, zuletzt geprüft am 06.06.2025.
- Mendelevitch, R.; Repenning, J.; Matthes, F. C. (2022): Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmendaten-fuer-den-projektionsbericht-2023>, zuletzt geprüft am 09.08.2023.
- Schmidt, M. S.; Hennenberg, K.; Hünecke, K.; Unseld, R.; Luick, R.; Ruge, S. (2017): Kleinprivatwald – Energieholzversorgung und regionale Wertschöpfung (KLEN), Teilvorhaben 1: Bewertung von Wertschöpfungsketten. Abschlussbericht. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (Hg.). Rottenburg.