

Studie

Investitionen für Klimaschutz

Notwendige Investitionen zur Erreichung von
Klimaneutralität in Deutschland

ENDBERICHT



Quelle:

© AdobeStock-Sebastian.jpeg

Studie

Investitionen für Klimaschutz

Notwendige Investitionen zur Erreichung von
Klimaneutralität in Deutschland

ENDBERICHT

Von

Sven Kreidelmeyer
Jana Breitenstein
Andreas Kemmler
Jan Limbers
Andreas Brutsche
Alex Piégssa

Im Auftrag der

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

Datum

Juni 2026

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie – unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft – durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 150 Experteninnen und Experten ist das Unternehmen an acht Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, Hamburg, München und Stuttgart. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

CH-270.3.003.262-6

Mehrwertsteuernummer/UID

CH-107.308.511

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Gründungsjahr

1959

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Tel: +32 280 89-947

Prognos AG

Hermannstraße 13
(C/O WeWork)
20095 Hamburg | Deutschland
Tel.: +49 40 554 37 00-28

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 845 16-410
Fax: +49 421 845 16-428

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 23
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

info@prognos.com | www.prognos.com | www.twitter.com/prognos_ag

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einführung	3
2 Methodik und Vorgehen	4
3 Auswahl und Beschreibung der Energieszenarien	8
3.1 Auswahl der Szenarienarbeiten	8
3.2 Vergleich der ausgewählten Zielszenarien	12
4 Quantifizierung der Investitionsbedarfe nach Sektoren und Betreffnissen	16
4.1 Methodische Anmerkungen und Einschränkungen	16
4.2 Sektor Private Haushalte	19
4.3 Sektor Gewerbe Handel Dienstleistungen	24
4.4 Sektor Industrie	29
4.5 Sektor Verkehr	35
4.6 Sektor Energie	40
4.7 Energie- und Klimaschutzrelevante Infrastruktur	46
4.8 Vergleich der Investitionsbedarfe in den Sektoren	48
5 Relevante Akteursgruppen	58
5.1 Investitionen des öffentlichen Bereichs	58
5.2 Größenklassen der Unternehmen	65
5.3 Aufteilung nach Wirtschaftsbereichen	74
6 Anhang	82
7 Quellenverzeichnis	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick und Vergleich der drei berücksichtigten Zielszenarien	14
Tabelle 2: Klimaschutzinvestitionen in Deutschland, insgesamt und Anteil öffentlicher Bereich	62
Tabelle 3: Definition der Größenklassen von KMU nach Statistischem Bundesamt	66
Tabelle 4: Definition des Mittelstands nach KfW-Definition	66
Tabelle 5: Roadmap-Szenario: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen	71
Tabelle 6: Roadmap-Szenario: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen	71
Tabelle 7: Szenario KNDE: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen	73
Tabelle 8: Szenario KNDE: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen	74
Tabelle 9: Klimaschutzinvestitionen – Anteil des öffentlichen Bereichs und verwendete Quellen	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Kosten- und Investitionsaggregate	6
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo	7
Abbildung 3: Jährliche Klimaschutzinvestitionen (Brutto-Werte) im Zeitraum 2018-2023	18
Abbildung 4: Bedarf an KSI im Sektor PHH nach Betreffnissen – Szenario Roadmap	21
Abbildung 5: Bedarf an KSI im Sektor PHH nach Betreffnissen – Szenario KNDE	22
Abbildung 6: Sektor Private Haushalte – jährliche KSI nach Betreffnis	23
Abbildung 7: Bedarf an KSI im Gebäudesektor nach Betreffnissen – LFS	24
Abbildung 8: Bedarf an KSI im Sektor GHD nach Betreffnissen – Szenario Roadmap	26
Abbildung 9: Bedarf an KSI im Sektor GHD nach Betreffnissen – Szenario KNDE	28
Abbildung 10: Sektor GHD – jährliche KSI nach Betreffnis	29
Abbildung 11: Bedarf an KSI im Sektor Industrie nach Betreffnissen – Szenario Roadmap	33
Abbildung 12: Bedarf an KSI im Sektor Industrie nach Betreffnissen – Szenario KNDE	34
Abbildung 13: Sektor Industrie – jährliche KSI nach Betreffnis	35
Abbildung 14: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – Szenario Roadmap	37
Abbildung 15: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – Szenario KNDE	38
Abbildung 16: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – LFS	39
Abbildung 17: Sektor Verkehr – jährliche KSI nach Betreffnis	40
Abbildung 18: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen – Roadmap-Szenario	42
Abbildung 19: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen – Szenario KNDE	43
Abbildung 20: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen – LFS	44

Abbildung 21: Sektor Energie – kumulierte KSI nach Betreffnis	45
Abbildung 22: Sektor Energie – jährliche KSI nach Betreffnis	45
Abbildung 23: Bedarf an KSI für Energie-Infrastruktur – Szenario Roadmap	47
Abbildung 24: Bedarf an KSI für Energie-Infrastruktur – Szenario KNDE	48
Abbildung 25: Szenarienvergleich: Bandbreiten der KSI in den Sektoren	49
Abbildung 26: Szenarienvergleich: Bandbreiten der zusätzlichen KSI in den Sektoren	50
Abbildung 27: Szenarienvergleich: Gesamte KSI nach Sektoren	51
Abbildung 28: Ariadne – Szenario Technologiemix: jährliche (linke Seite) und kumulierte KSI (rechts)	52
Abbildung 29: Roadmap-Szenario – Anteile der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen	54
Abbildung 30: Szenario KNDE – Anteile der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen	54
Abbildung 31: Alle Sektoren – Szenarienvergleich: Bruttoanlageinvestitionen, KSI- brutto und KSI-netto	55
Abbildung 32: Roadmap-Szenario – Investitionsaggregate nach Sektoren	56
Abbildung 33: Szenario KNDE – Investitionsaggregate nach Sektoren	57
Abbildung 34: Schalenkonzept der Finanzstatistik- Abgrenzung des Staatssektors	59
Abbildung 35: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Roadmap-Szenario – Anteil KMU	70
Abbildung 36: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Roadmap-Szenario – Anteil Mittelstand	70
Abbildung 37: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Szenario KNDE – Anteil KMU	72
Abbildung 38: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Szenario KNDE – Anteil Mittelstand	73
Abbildung 39: KSI aufgeteilt nach Wirtschaftssectoren der VGR	76
Abbildung 40: Klimaschutzinvestitionen im Industriesektor nach Wirtschaftsbranchen	77
Abbildung 41: Klimaschutzinvestitionen nach Wirtschaftsbranchen	79
Abbildung 42: Investitionsquote für Klimaschutz bezogen auf die BWS der jeweiligen Branchen	80

Abkürzungsverzeichnis

BECCS	Verbrennung von Biomasse mit nachgelagerter CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung (Bioenergy with Carbon Capture and Storage)
BWS	Bruttowertschöpfung
CCS	CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage)
DACCS	CO ₂ -Abscheidung aus der Umgebungsluft mit nachfolgender Speicherung (Direct Air Carbon Capture and Storage)
Destatis	Statistisches Bundesamt
EE	Erneuerbare Energien
FW	Fernwärme
GHD	Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleitung
H ₂	Wasserstoff
KBA	Kraftfahrt Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KSI	Klimaschutzinvestitionen
KSG	Klimaschutzgesetz
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LULUCF	Emissionen aus Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land-Use Change, and Forestry)
NET	Negativ-Emissionstechnologie
PHH	Sektor Private Haushalte
Pkw	Personenkraftwagen
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
THG	Treibhausgas
WP	Wärmepumpen

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht den Investitionsbedarf, der erforderlich ist, um in Deutschland Klimaneutralität bis spätestens 2045 zu erreichen. Ausgangspunkt ist die Zielsetzung der Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen bis 2030 deutlich zu reduzieren und anschließend vollständig auf Netto-Null zu senken. Die Transformation des Energiesystems und der gesamten Volkswirtschaft wird dabei als technisch grundsätzlich machbar eingeschätzt, erfordert jedoch erhebliche Umstellungen sowie eine deutliche Ausweitung der Investitionen in klimafreundliche Technologien.

Methodisch basiert die Untersuchung auf einem Vergleich mehrerer etablierter Energieszenarien, insbesondere der Roadmap Energieeffizienz 2045, des Szenarios „Klimaneutrales Deutschland 2045“ sowie der Langfristszenarien des BMWK. Die Investitionsbedarfe werden hierbei als sogenannte Klimaschutzinvestitionen definiert, also als Investitionen in Technologien und Anlagen, die direkt zur Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen. Im Mittelpunkt steht dabei die Betrachtung von Bruttoinvestitionen, also der gesamten Investitionsvolumina, die in klimafreundliche Technologien fließen, unabhängig davon, ob ein Teil davon ohnehin notwendig gewesen wäre.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich der gesamte Investitionsbedarf für den Zeitraum von 2025 bis 2045 auf rund 5,7 bis 6,4 Billionen Euro beläuft. Dies entspricht jährlichen Investitionen in einer Größenordnung von etwa 270 bis 300 Milliarden Euro. Im Vergleich zum aktuellen Investitionsniveau bedeutet dies eine erhebliche Steigerung: Gegenüber dem Status quo ergibt sich ein zusätzlicher Investitionsbedarf von etwa 160 bis 220 Milliarden Euro pro Jahr. Wird ausschließlich der tatsächlich durch Klimaschutz ausgelöste Mehrbedarf betrachtet, liegt dieser bei rund 135 bis 153 Milliarden Euro jährlich. Insgesamt steht damit rund ein Drittel der gesamtwirtschaftlichen Investitionen im Zusammenhang mit Klimaschutzmaßnahmen.

Die Verteilung der Investitionen über die einzelnen Sektoren zeigt deutliche Unterschiede. Den mit Abstand größten Anteil nimmt der Verkehrssektor ein, mit kumulierten Investitionen von rund 2,6 bis 2,9 Billionen Euro. Dies ist vor allem auf die Elektrifizierung des Straßenverkehrs zurückzuführen, insbesondere auf den Ersatz konventioneller Pkw durch Elektrofahrzeuge. Allerdings ist ein großer Teil dieser Investitionen strukturell bedingt, da Fahrzeuge ohnehin regelmäßig ersetzt werden. Der Energiesektor folgt mit Investitionen in Höhe von etwa 1,3 bis 1,8 Billionen Euro. Hier dominieren der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung, der Netzinfrastuktur sowie Investitionen in Wasserstoff- und Wärmesysteme. Sehr hoch sind auch die Bedarfe im Gebäudebereich, insbesondere für private Haushalte. Hier belaufen sich die Investitionen auf rund eine Billion Euro und konzentrieren sich vor allem auf energetische Sanierungen sowie den Austausch fossiler Heizsysteme durch Wärmepumpen.

Im Vergleich dazu fallen die Investitionen im Industriesektor mit rund 500 Milliarden Euro moderat aus. Dies darf jedoch nicht dahingehend missverstanden werden, dass die Transformation hier einfach wäre. Vielmehr konzentrieren sich die Investitionen auf wenige energieintensive Branchen, in denen die Umstellung der Produktionsprozesse mit sehr hohen Einzelinvestitionen verbunden ist. Insbesondere in Bereichen wie Stahl, Chemie oder Zement bestehen erhebliche Herausforderungen, da neben den Investitionskosten auch Fragen der internationalen Wettbewerbsfähigkeit eine zentrale Rolle spielen.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis betrifft die Rolle der Energieinfrastruktur. Der Ausbau von Stromnetzen, Ladeinfrastruktur, Fernwärmesystemen sowie Wasserstoff- und CO₂-Netzen erfordert bis 2045 zusätzliche Investitionen von rund 800 bis über 1.000 Milliarden Euro. Diese Infrastrukturinvestitionen gelten als zentrale Voraussetzung für das Gelingen der Transformation, da sie die Integration erneuerbarer Energien, die Elektrifizierung sowie die Nutzung neuer Energieträger ermöglichen.

Die Analyse der Akteursverteilung zeigt, dass der überwiegende Teil der Investitionen von privaten Haushalten und Unternehmen getragen wird. Der öffentliche Sektor übernimmt hingegen einen Anteil von etwa 11 bis 13 Prozent, was einem Volumen von rund 650 bis 800 Milliarden Euro entspricht. Seine Rolle ist dennoch zentral, insbesondere im Bereich der Infrastruktur, beim Ausbau des Schienenverkehrs sowie in kommunalen Energiesystemen wie Fernwärmenetzen. Innerhalb des öffentlichen Sektors tragen vor allem Kommunen einen großen Teil der Investitionen, häufig über kommunale Unternehmen wie Stadtwerke oder Wohnungsbaugesellschaften. Die Zahlen sind daher nicht direkt mit Belastungen für öffentliche Haushalte gleichzusetzen.

Auch kleine und mittlere Unternehmen leisten einen relevanten Beitrag zur Transformation. Je nach Abgrenzung entfallen zwischen 15 und 28 Prozent der gesamten Klimaschutzinvestitionen auf diesen Unternehmensbereich. Gleichzeitig wird deutlich, dass insbesondere große Unternehmen und Haushalte den größten Teil der Investitionen stemmen, während KMU eine wichtige, aber nicht dominierende Rolle einnehmen.

Die Erreichung der Klimaziele erfordert eine langfristige und tiefgreifende Umgestaltung der Investitionsströme. Die Studie verdeutlicht, dass die Transformation zur Klimaneutralität weniger durch einen absoluten Mangel an Kapital begrenzt ist als vielmehr durch die Fähigkeit, Investitionen rechtzeitig und in ausreichendem Umfang umzusetzen. Ein erheblicher Teil der notwendigen Investitionen ersetzt bestehende Technologien und ist somit integraler Bestandteil des Kapitalstockumbaus. Gleichzeitig führen Effizienzgewinne langfristig zu sinkenden Energiekosten, was einen Teil der zusätzlichen Investitionen kompensieren kann.

1 Einführung

Die Europäische Union strebt mit dem European Green Deal an, bis 2050 die Klimaneutralität zu erreichen und eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz anzustreben (Netto-Null-Ziel). Deutschland verfolgt ein ambitionierteres Ziel, die Klimaneutralität soll spätestens 2045 erreicht werden. Bereits bis zum Jahr 2030 sollen gemäß aktuell geltendem Klimaschutzgesetz (KSG) die nationalen Treibhausgasemissionen um 65 Prozent reduziert werden (bezogen auf das Basisjahr 1990).

Die zur Erreichung der Klimaziele notwendige Transformation klimarelevanter Systeme und Prozesse ist mit heute bekannten Technologien grundsätzlich möglich. Sie erfordert aber deutliche Umsteuerungen und signifikante private und öffentliche Investitionen – insbesondere in klimafreundliche Technologien, die die Treibhausgasemissionen im Zeitverlauf dauerhaft senken.

Die Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft bis zum Jahr 2045 wird zudem die komparativen Vorteile der globalen Produktionsstandorte neu definieren. Der Standort Deutschland hat nur begrenzte und vergleichsweise stark fluktuierende Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energien – und hierdurch auch vergleichsweise hohe Energiegestehungskosten. Zudem ist Deutschland in der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen für transformative Technologien von Importen abhängig. Hierdurch werden sich die Voraussetzungen für Wertschöpfung in Deutschland verändern – und damit auch die Branchenstruktur sowie die Lieferketten bzw. -netzwerke der deutschen Unternehmenslandschaft.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, aufzuzeigen, welche Klimaschutzinvestitionen bis zum Jahr 2045 nach aktuellem Kenntnisstand erforderlich sind und durch wen sie zu tätigen sind. Die Studie umfasst drei Themenschwerpunkte:

- Ermittlung der erforderlichen Klimaschutzinvestitionen nach Sektoren und Technologiebereichen,
- Aufbereitung der Investitionsbedarfe nach Akteursgruppen sowie
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgewählter Branchen (nicht Teil des Zwischenberichts).

In dieser Studie werden die Ergebnisse der Vorgängerstudie „Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland“ (Prognos, Nextra Consulting, NKI, 2021) und der ergänzenden Kurzstudie zum Öffentlichen Anteil an Klimaschutzinvestitionen (Prognos, 2022) aktualisiert. Für eine gute Vergleichbarkeit der Studien werden identische Begriffsdefinitionen, Abgrenzungen sowie auch identische Darstellungen verwendet.

2 Methodik und Vorgehen

Zur Erfüllung der THG-Reduktionsziele sind erhebliche Investitionen erforderlich. Ein zentrales Ziel der Studie ist das Aufzeigen der nach aktuellem Kenntnisstand für die Transformation notwendigen Klimaschutzinvestitionen. Der Bedarf wird im Rahmen einer Meta-Studie anhand vorliegender Studien abgeschätzt und mittels ergänzender statistischer Informationen auf Akteursgruppen aufgeteilt. Berücksichtigt werden folgende Energiesystemanalysen bzw. daraus abgeleitete Investitionsbedarfe:

- Roadmap Energieeffizienz 2045 (Auftraggeber BMWK)
- Klimaneutrales Deutschland 2045 – Update (Auftraggeber Agora Think Tanks)
- Langfristszenarien – O45-Strom (Auftraggeber BMWK)

Während in den ersten beiden Publikationen Angaben zu Investitionen publiziert sind, wurden im Rahmen der Langfristszenarien bislang keine Investitionen veröffentlicht. Die im Szenario notwendigen Investitionen werden deshalb auf Grundlage publizierter Angaben zu den physischen Mengen (z. B. Bestände an Anlagen, Fahrzeugen, Kraftwerkspark und Infrastruktur) und Annahmen zu den spezifischen Technologiekosten näherungsweise bestimmt. Dieses Vorgehen ist aufgrund der Datenverfügbarkeit jedoch nicht für alle Technologiebereiche umsetzbar. Insbesondere zum Industriesektor stehen nur wenige Berechnungsgrundlagen zur Verfügung. Die unterschiedliche Abdeckung der Technologiebereiche ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Bislang gibt es keine allgemein gültige **Definition** des Begriffs Klimaschutzinvestitionen. **Klimaschutzinvestitionen (KSI)** werden hier als Investitionen in „grüne“ Technologien bzw. Sachgüter verstanden. KSI tragen zum Umbau des volkswirtschaftlichen Kapitalstocks zum Zwecke der Erreichung der Klimaschutzziele bei. Dies beinhaltet sowohl die Vermeidung, die Zurückhaltung als auch die Entnahme von Treibhausgasemissionen. Nicht berücksichtigt werden dabei Investitionen in das Natur- oder Humankapital, z. B. Aufwendungen zur Wiedervernässung von Mooren oder die Waldbewirtschaftung.¹ Ebenfalls nicht berücksichtigt werden Maßnahmen, welche primär der Klimaanpassung dienen, wie z. B. Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas, zum Schutz vor Hitze oder zum Schutz vor Hochwasser.

Bei Klimaschutzinvestitionen wird teilweise nach **„Brutto-“ und „Netto-“ Investitionen** unterschieden. Bei der Betrachtung der Brutto-Investitionen wird die gesamte Investition in eine Klimaschutztechnologie als KSI betrachtet, beispielweise die Gesamtinvestition in eine Wärmepumpe oder einen Elektro-Pkw. Bei der Netto-Betrachtung werden lediglich die Mehrinvestitionen (ggf. Minderinvestitionen) gegenüber einer konventionellen (fossilen) Referenztechnologie berücksichtigt, die ohnehin getätigt werden müssten. Dies sind beispielweise die Mehrkosten einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasbrennwertheizung. Die Brutto-Investitionen geben Auskunft, welche Investitionen insgesamt in „grüne“ Technologien getätigt werden müssen, während die Netto-Investitionen Auskunft über den Umfang derjenigen Investitionen geben, welche ohne Klimaschutz nicht getätigt würden (Mehrinvestitionen aufgrund

¹ In der Studie „Investitionen für ein Klimaneutrales Deutschland - Finanzbedarfe und Politikoptionen“ (Agora Energiewende 2024) wurden die Klimaschutzinvestitionen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft sowie im Abfallsektor mitbetrachtet. In Bezug auf die gesamten Klimaschutzinvestitionen sind sie von untergeordneter Bedeutung. Ihr Anteil an den Energiesystem- und Klimaschutzbezogenen Bruttoanlageinvestitionen im Zeitraum 2025 – 2045 liegt in der Studie bei lediglich rund 1 %.

von Klimaschutz). Der Fokus in dieser Studie liegt auf den Brutto-Investitionen.² Punktuell werden ergänzende Angaben zu den Netto-Investitionen ausgewiesen, jedoch nur auf Ebene der Sektoren und nicht auf Ebene der einzelnen Technologien (Kapitel 4.8.3).

In der Modellierung der hier betrachteten Energieszenarien wird das Alter und die Lebensdauer der Güter berücksichtigt. Ersatzinvestitionen werden in der Regel erst nach Ablauf der Lebensdauer der Güter getätigt (keine vorzeitigen Stilllegungen). Beispielweise werden energetische Sanierungen von Gebäuden im Rahmen ohnehin stattfindender Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt und die Umstellung von Industrieprozessen erfolgt im Rahmen von üblichen Ersatzzyklen. Ausnahme bilden Teile der Gasinfrastruktur und Kohlekraftwerke. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise Gasheizungen, die vor Ende ihrer Lebensdauer durch Wärmepumpen oder Fernwärme ersetzt werden, erhöhte KSI zur Folge haben.

Die **Bruttoanlageninvestitionen** einer Volkswirtschaft sind deutlich höher als die KSI. Die Bruttoanlageninvestitionen beinhalten die gesamten Investitionen, die in einer Volkswirtschaft in Sachanlagen und Geistiges Eigentum getätigt werden. Dies sind z.B. Investitionen in Bauten, Ausrüstungen wie Fahrzeuge, Maschinen aber auch in Forschung und Entwicklung sowie Software oder Urheberrechte. Die Bruttoanlageninvestitionen enthalten damit neben den KSI auch alle anderen Investitionen, die in den jeweiligen Sektoren (bzw. Betreffnissen) getätigt werden. Um die Bedeutung der KSI für die deutsche Volkswirtschaft einordnen zu können, werden die KSI ins Verhältnis zu den Bruttoanlageninvestitionen gesetzt (Anteil der KSI an den Bruttoanlageninvestitionen; insgesamt und auf Ebene der Sektoren, vgl. Kapitel 4.8.2). Grundlage für die Angaben zu den Bruttoanlageinvestitionen bilden die Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2025 des UBA (Prognos, 2025) sowie eigene Annahmen zur Aufteilung auf die Sektoren.

In der Vorgängerstudie wurden außerdem die **Differenzinvestitionen bzw. Mehrinvestitionen** gegenüber einer Referenzentwicklung mit nicht ausreichendem Klimaschutz betrachtet. Aktuelle Referenzentwicklungen nähern sich aufgrund der zunehmenden Klimaschutzanstrengungen und der stetig ambitionierteren Instrumentierung bereits stark den Zielszenarien an, beispielweise verringern sich im Mit-Maßnahmen-Szenario der Treibhausgas-Projektionen 2025 des UBA bis 2045 die THG-Emissionen um rund 85 % im Vergleich zum Jahr 1990 (UBA, 2025). Durch die hohe Reduktion der THG-Emissionen in aktuellen Referenzentwicklungen verringert sich die Differenz gegenüber den Zielszenarien, sowohl in Bezug auf die THG-Emissionen als auch in Bezug auf die zusätzlichen KSI. Die Aussagekraft der abgeschätzten Mehrinvestitionen ist dadurch begrenzt. Im Rahmen dieser Studie wird deshalb auf die Betrachtung einer Referenzentwicklung und die Berechnung von Mehrinvestitionen gegenüber einer Referenzentwicklung verzichtet. Ausgewertet werden stattdessen die **Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo**, d.h. gegenüber den durchschnittlichen KSI in den Jahren 2018 bis 2023. Dadurch kann abgeschätzt werden, wie stark sich die KSI im Vergleich zum Niveau der letzten Jahre ausweiten müssen, wenn die Klimaschutzziele bis 2045 erreicht werden sollen.

Die KSI sind nicht mit den Kosten für Klimaschutz gleichzusetzen. Durch die KSI verändert sich der Kapitalstock und damit auch die damit verbundenen Ausgaben für Energie sowie den Unterhalt und Betrieb der Anlagen und Fahrzeuge. In der Regel führen die KSI infolge von Effizienzgewinnen zu einer Reduktion der Energie- (und Unterhalts-)Kosten und kompensieren somit zumindest teilweise die höheren Investitionen. Die **Gesamtkosten des Klimaschutzes**, als

² Dadurch sind die ausgewiesenen Investitionen mit der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2021 direkt vergleichbar, welche die identische Abgrenzung verfolgte. In den Publikationen von Prognos (2024) und Agora (2024) wurde der Fokus hingegen auf die Netto-Investitionen gelegt.

Summe der laufenden Kosten und Investitionen, werden in dieser Studie nicht betrachtet (Abbildung 1). Ebenfalls nicht betrachtet werden die Kosten des Klimawandels.

In den berücksichtigten Studien wurden die Zielszenarien mit Bottom-up-Energiesystemmodellen berechnet. Dabei werden die Investitionen anhand der Mengengerüste und Angaben zur den jährlich neu in Verkehr gebrachten Fahrzeugen, Anlagen, Wärmeerzeugern berechnet. Die Bottom-up-Energiesystemmodelle ermöglichen jedoch keine Aussagen zu den Auswirkungen der erforderlichen Investitionen auf gesamtwirtschaftliche Kenngrößen (z. B. BIP, Beschäftigung) oder auf Verteilungseffekte. Zur Bestimmung dieser Effekte ist die Nutzung gesamtwirtschaftlicher Modelle notwendig, die eine ganzheitliche Betrachtung der gesamten Volkswirtschaft erlauben (top-down). Solche Berechnungen sind nicht Teil des Aufgabenspektrums der vorliegenden Studie und werden hier nicht angestellt.

Dargestellte Investitionen bzw. Investitionsaggregate

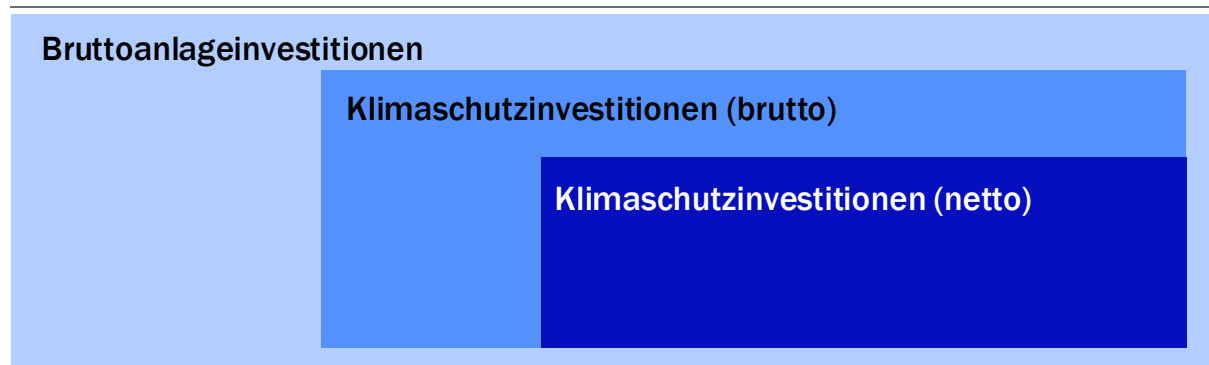
Die Investitionen werden aus Zielszenarien bestehender Studien abgeleitet. Aus dem Vergleich von mehreren Szenarien werden Bandbreiten für die notwendigen KSI abgeschätzt. Betrachtet werden sowohl die im Zeitraum 2025 bis 2045 kumulierten Investitionen als auch die jährlichen Investitionen. Dadurch kann abgeschätzt werden, wie sich die notwendigen Investitionen über den Betrachtungszeitraum verteilen und bis wann sie getätigt werden sollten. Zusammenfassend werden in der Studie folgende Größen abgeschätzt:

- KSI- Brutto-Werte, nach Sektoren und Technologiebereichen,
- Anteile der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen der Volkswirtschaft,
- Betrachtung der Klimaschutz-Netto-Investitionen nach Sektoren, als Indikator für den zusätzlichen Investitionsbedarf gegenüber einer Entwicklung ohne Klimaschutz,
- Mehrinvestitionen der KSI zum Status Quo – notwendige Zunahme der Investitionen in Klimaschutztechnologien, um die Klimaschutzziele zu erreichen (Brutto-Werte),

In den nachfolgenden Abbildung 1 und 2 sind die unterschiedenen Investitionsaggregate dargestellt, in Anlehnung an die Darstellung in der Vorgängerstudie (Prognos, Nextra Consulting, NKI, 2021). Wie bereits erwähnt sind innerhalb dieser Aggregate nicht die vollständigen Kosten des Klimaschutzes enthalten, da mögliche Veränderung der Betriebskosten sowie Veränderung der Kosten für Energieträgerimporte nicht betrachtet werden.

Abbildung 1: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Kosten- und Investitionsaggregate

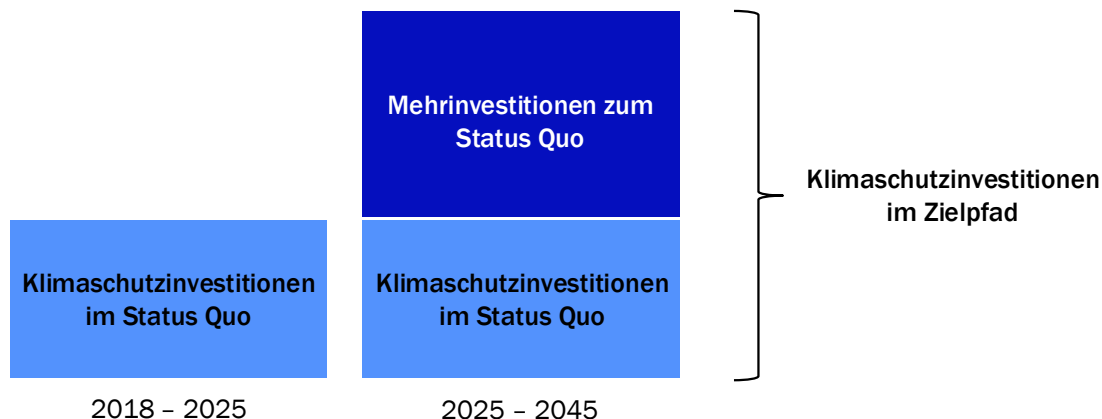
Verhältnis der Größe der Rechtecke ist nicht interpretierbar



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

Verhältnis der Größe der Rechtecke ist nicht interpretierbar



Quelle: Eigene Darstellung

Die Darstellung nach Sektoren orientiert sich grundsätzlich an den Sektoren der Energiebilanz. Im Gegensatz zu den Sektoren des Klimaschutzgesetzes werden in der Energiebilanz anstelle des Gebäudesektors die Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) unterschieden. Wo keine Aufteilung auf diese Sektoren möglich ist, werden Angaben zum Gebäudesektor dargestellt. Dies betrifft insbesondere die Werte zu den Langfristszenarien des BMWK.

Im nachfolgenden Kapitel 3 werden die in der Analyse berücksichtigten Energiesystemanalysen und Szenarien beschrieben und charakterisiert. In Kapitel 4 werden anschließend die KSI der Szenarien nach Sektoren und Technologiebereichen dargestellt. Die KSI werden für die einzelnen Szenarien sowie im Vergleich der Szenarien beschrieben.

Anhand von ergänzenden Statistiken und Annahmen werden im Nachgang die KSI auf Akteursgruppen aufgeteilt: nach öffentlichen und privaten Investitionen (Kapitel 5.1), nach Unternehmensgröße (inkl. Anteile der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU); Kapitel 5.2) sowie die Klimaschutzinvestitionen des Industriesektors nach Wirtschaftsbranchen (Kapitel 5.3). Die dazu verwendeten Annahmen werden in den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

3 Auswahl und Beschreibung der Energieszenarien

3.1 Auswahl der Szenarienarbeiten

Um einen Korridor für die gesamtwirtschaftlichen und branchenspezifischen Bedarfe an KSI der nächsten Jahrzehnte zu ermitteln, werden drei Szenarien aus aktuellen Energiesystemanalysen ausgewählt. Die Auswahl der Studien erfolgte auf Basis der folgenden Kriterien:

- Ziel der Klimaneutralität Deutschlands bis spätestens 2045
- Modellbasierte Szenarien auf möglichst detaillierter Technologieebene
- Angaben zu den Investitionsbedarfen oder alternativ detaillierte Angaben zum physischen Mengengerüst vorliegend
- Vergleichbarkeit des Betrachtungszeitraums

Beim Vergleich der notwendigen KSI berücksichtigt werden folgende Studien und Szenarien:

- Roadmap Energieeffizienz 2045, Roadmap-Szenario (Auftraggeber BMWK)
- Klimaneutrales Deutschland 2045 – Szenario KNDE Update (Auftraggeber Agora Think Tanks)
- Langfristszenarien (LFS); Szenario O45-Strom (Auftraggeber BMWK)

Zu den Szenarien der Roadmap Energieeffizienz und Klimaneutrales Deutschland wurden die Investitionsbedarfe in anderen Studien bereits umfangreich dokumentiert, u.a. in Prognos (2024) und Agora Energiewende (2024). Die LFS zählen zu den zentralen Szenarienarbeiten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), welche periodisch aktualisiert werden. Mit ihnen untersucht das BMWK, wie Deutschland seine Klima- und Energieziele erreichen kann. Die aktuellen Szenarien sind die O45-Szenarien. Zu den LFS wurden bislang keine Angaben zu den Investitionen veröffentlicht. Aufgrund der hohen Bedeutung der Szenarien, wurden die LFS gleichwohl für den Vergleich ausgewählt. Die Investitionen werden näherungsweise aus den veröffentlichten Angaben zum physischen Mengengerüst abgeschätzt.

Im Frühjahr 2025 wurden die aktualisierten Ariadne-Szenarien veröffentlicht.³ Diese aktuelle Studie enthält ebenfalls Abschätzungen zum Investitionsbedarf für die Transformation des Energiesystems. Aufgrund des Publikationszeitpunktes der Ariadne-Szenarien wurde sie nicht mehr in den Vergleich aufgenommen. In Kapitel 4.8.1 werden jedoch die Hauptergebnisse zu den Klimaschutzinvestitionen mit den hier im Detail betrachteten Szenarien verglichen und die Unterschiede eingeordnet.

Zu den wichtigsten Energieszenarien in Deutschland zählt auch die Treibhausgas-Projektionen für Deutschland („Projektionsberichte“; UBA, 2025; Öko-Institut et al. 2025), welche mittlerweile jährlich aktualisiert und veröffentlicht werden.⁴ Da es sich dabei nicht um Zielszenarien handelt, werden die Szenarien hier nicht für den Vergleich der KSI berücksichtigt.

³ https://ariadneprojekt.de/media/2025/03/Ariadne-Report_Szenarien2025_Maerz2025_lowres.pdf

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-fuer-die-klimaschutz-energiepolitik/integrierte-energie-treibhausgasprojektionen>

Nachfolgend werden die drei ausgewählten Energiesystemstudien und Szenarien kurz beschrieben.

3.1.1 Roadmap Energieeffizienz 2045: Roadmap-Szenario:

Das Dialogforum „Roadmap Energieeffizienz 2045“ wurde im Jahr 2020 von der Bundesregierung ins Leben gerufen. Es erörterte, wie Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden kann und welche technischen Maßnahmen der Energieeffizienz für die Zielerreichung erforderlich sind sowie mit welchen politischen Instrumenten die Umsetzung unterstützt werden kann. Im Austausch mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft wurden konkrete (technische) Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz entwickelt. Diese Vorschläge flossen in die „Roadmap Energieeffizienz 2045“ ein (BMWK, 2023). Die Roadmap enthält einen Maßnahmenkatalog sowie verschiedene Szenarien. Die Berechnung der Energieszenarien wurde von der Prognos AG durchgeführt. Die Szenarienarbeiten wurden bisher nicht im Detail veröffentlicht, veröffentlicht wurden jedoch die darauf aufbauenden Berechnungen zum Bedarf an Klimaschutzinvestitionen (Prognos, 2024).

Der erstellte Szenarienfächer umfasst ein Referenzszenario und zwei Zielszenarien mit starkem Fokus auf Energieeffizienz. Während beim ersten Zielszenario der Fokus auf technische Effizienzmaßnahmen gelegt wurde, wurden im zweiten Zielszenario zusätzlich politische Instrumente unterstellt (Roadmap-Szenario). Das Roadmap-Szenario ist das Hauptszenario der im Rahmen der Roadmap Energieeffizienz 2045 berechneten Energieszenarien. Für dieses Szenario wurde ergänzend zur Energienachfrage auch das Energieangebot modelliert (Strom- und Fernwärmeerzeugung). Dadurch deckt die Modellierung im Roadmap-Szenario das gesamte Energiesystem ab. Nicht berechnet wurden die THG-Emissionen der Sektoren Landwirtschaft, Abfall und LULUCF. Für die Ergebnisdarstellung und die Überprüfung der Zielerreichung wurden die Emissionen dieser Sektoren aus anderen Studien übernommen. Die für die Berechnung der Energieszenarien eingesetzten Bottom-up-Modelle bilden physische Sachgüter wie Gebäude, Fahrzeuge, Produktionsanlagen in Kohortenmodellen ab. Dabei werden das Alter und die Lebensdauer der Güter berücksichtigt. Ersatzinvestitionen werden in den Energieszenarien in der Regel erst nach Ablauf der Lebensdauer der Güter getätigt (keine vorzeitigen Stilllegungen).

Das Roadmap-Szenario ist ein ambitioniertes Zielszenario, in dem die Ziele des Klimaschutzgesetzes erreicht werden: die sektoralen THG-Reduktionsziele für das Jahr 2030 (insgesamt -65 % ggü. 1990) und die Klimaneutralität bis zum Jahr 2045. Ein Teil der schwer vermeidbaren THG-Emissionen werden durch Carbon Capture and Storage (CCS) abgeschieden, im Jahr 2045 rund 32 Mt CO₂-Äq. Im Jahr 2045 noch verbleibende Restemissionen (aus Prozess-emissionen der Industrie, Abfallwirtschaft, Landwirtschaft und LULUCF) werden durch negative Emissionen ausgeglichen (netto-null).

Für die Erreichung der Reduktionsziele im Jahr 2030 werden im Roadmap-Szenario zusätzliche politische Instrumente unterstellt. Den Kern der zusätzlichen Instrumente bilden die Vorschläge und Abschätzungen zum „Klimaschutzsofortprogramm 2022“ (Fraunhofer ISI et al. 2022). Im Zeitraum nach 2030 werden außerdem zusätzliche technische Maßnahmen angenommen, um die Klimaneutralität bis 2045 sicherzustellen. Die Energieeffizienz und die Elektrifizierung nehmen bei der Reduktion der THG-Emissionen einen sehr hohen Stellenwert ein. Die Nettostromerzeugung steigt bis zum Jahr 2045 auf rund 1.100 TWh an. Gleichzeitig ist sowohl der Primär- als auch der Endenergieverbrauch sehr stark rückläufig, im Zeitraum 2025 bis 2045 ist ein Rückgang von 36 % (PEV) bzw. 33 % (EEV) zu beobachten.

Das Roadmap-Szenario basiert nicht auf einer (volkswirtschaftlichen) Kostenoptimierung. Aufgrund der starken Gewichtung der Effizienzmaßnahmen ist zu erwarten, dass die inländischen Investitionen höher ausfallen als bei alternativen Zielszenarien, die beispielsweise stark auf synthetische Energieträger setzen (u. a. Wasserstoff, synthetische Treibstoffe). Aufgrund der stark gesteigerten Energieeffizienz werden im Roadmap-Szenario jedoch der Energieverbrauch und die damit verbundenen Ausgaben für den Energiebezug stark verringert. Dies gilt insbesondere auch für den Einsatz kostenintensiver synthetischer Energieträger. Diese Einsparungen fallen auch nach dem Jahr 2045 weiter an.

3.1.2 Klimaneutrales Deutschland (KNDE) - Von der Zielsetzung zur Umsetzung (Szenario-Update)

Die Studie "Klimaneutrales Deutschland - Von der Zielsetzung zur Umsetzung" wurde von den Agora Think Tanks⁵ in Auftrag gegeben. Sie wurde von Agora Think Tanks und dem Konsortium Prognos AG, Öko-Institut e.V., Wuppertal Institut und Universität Kassel erstellt, wobei die Modellierungsarbeiten vom Konsortium durchgeführt wurden (Agora Think Tanks et al. 2024).

Die Studie ist eine Aktualisierung und Weiterentwicklung des im Jahr 2021 veröffentlichten Szenarios „Klimaneutrales Deutschland 2045“. Mit dem Szenario-Update wird das im Jahr 2021 vorgeschlagene Zielszenario aktualisiert und an die neuen Rahmenbedingungen angepasst. Eine wichtige Neuerung ist die Abbildung konkreter Politikinstrumente, die explizit in die Modellierung eingeflossen sind. Der aktualisierte Zielpfad zeigt, wann welche politischen und technischen Weichen gestellt werden müssen. Neben der Minderung von Treibhausgasen werden auch soziale Aspekte wie Wohn- und Mobilitätsbedürfnisse bei der Festlegung des Zielpfades berücksichtigt, mit dem Ziel, die Verkehrs- und Wärmewende sozial gerecht zu gestalten. Aufbauend auf dem Mengengerüst der Szenarien und den Technologiekosten wurde auch eine detaillierte Aufstellung der notwendigen Klimaschutzinvestitionen nach Sektoren und Technologiefeldern vorgenommen. Dabei wurde der Fokus auf die Klimaschutz-Netto-Investitionen gelegt.

Im Projekt wurde ein einziges Zielszenario modelliert, welches das gesamte Energiesystem sowie die Sektoren Landwirtschaft, Abfall und LULUCF abbildet. Zur Berechnung des Szenarios wurde ein Modellverbund aus mehreren sektoralen Bottom-up-Modellen verwendet. Die zwischen dem Auftraggeber und dem Konsortium abgestimmten Klimaschutz-Instrumente bildeten zusammen mit den Rahmendaten (Bevölkerung, Wertschöpfung, Produktion, Energiepreise) einen zentralen Input für die Modellierung der Energienachfrage und des Energieangebots.

Zentrales Ziel im Szenario KNDE ist die Reduktion der THG-Emissionen auf netto null bis spätestens 2045. Das Ziel soll durch eine günstige und zuverlässige Energieversorgung erreicht werden - die Erneuerbare Energien werden stark ausgebaut, die Stromnachfrage flexibilisiert und der Netzanschluss von Wind-Offshore-Anlagen kostenoptimiert. Durch die Nutzung von CCS, natürlichen Senken und Kohlenstoffspeicherung in Produkten werden in Szenario KNDE bis 2045 netto negative THG-Emissionen erzeugt (-31 Mt CO₂Äq). Auch das Zwischenziel von -65% weniger Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 gegenüber 1990 wird insgesamt erreicht. In den Sektoren Verkehr und Gebäude werden die Sektorziele jedoch verfehlt. Die Elektrifizierung nimmt im Szenario stark zu, die Stromnachfrage steigt auf ca. 1.265 TWh (inkl. Netzverluste, Elektrolyse und Strom für Direkt-Air-Carbon-Capture-and-Storage (DACCS)).

⁵ Agora Think Tanks: Agora Energiewende, Agora Industrie, Agora Agrar, Agora Verkehrswende

Neben der starken Elektrifizierung spielen die nachhaltige Nutzung von Biomasse sowie neue Technologien wichtige Rollen im Szenario. Anbaubiomasse leistet einen bedeutenden Beitrag zur Biomasseproduktion. Die Nutzung der Biomasse verlagert sich von der energetischen Nutzung zur stofflichen Nutzung (Baustoff, chemische Grundstoffe). Auch die Energieeffizienz, die z.T. mit der Elektrifizierung verbunden ist, trägt wesentlich zur Reduktion von Energieverbrauch und Emissionen bei. Der Primär- und der Endenergieverbrauch sind im Szenario deutlich rückläufig. Im Zeitraum 2025 bis 2045 verringert sich der Endenergieverbrauch um rund 25 % auf unter 1.800 TWh.

3.1.3 Langfristszenarien (LFS) – Szenario O45-Strom

Mit dem Projekt „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz werden verschiedene Zukunftsszenarien für das deutsche Energiesystem entwickelt. Diese dienen dazu, Wege zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele zu analysieren. Das Projekt wird vom Fraunhofer ISI koordiniert und zusammen mit Consentec, ifeu und dem Lehrstuhl Energie- und Ressourcenmanagement (E&R) an der TU Berlin bearbeitet (Fraunhofer ISI et al., 2024).

Die Modellierung betrachtet das gesamte Energiesystem und umfasst die Erzeugung von Strom, Wärme und Wasserstoff, die Energienachfrage in den Sektoren Industrie, Verkehr, Gebäude und den Verbrauch für gewerbliche Prozesse und Haushaltsgeräte. Ebenso wird die Infrastruktur der Strom-, Wärme- und Gasnetze in die Modellierung einbezogen. In vereinfachter Form werden außerdem die nichtenergetischen Treibhausgasemissionen der Sektoren Landwirtschaft und LULUCF modelliert.

Durch den Vergleich unterschiedlicher Entwicklungen sollen Erkenntnisse über Potenziale und Herausforderungen verschiedener Transformationspfade des Energiesystems gewonnen werden sowie Pfadabhängigkeiten und robuste Entwicklungen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität identifiziert werden. Wie bei den anderen Szenarienarbeiten wird das Energiesystem aus sektoraler Nachfrage, Energieangebot und hier noch spezifisch der Versorgungsinfrastruktur zusammengesetzt. In den Sektormodellen für die Nachfrage (Industrie, Verkehr, Gebäude, GHD/Elektrogeräte) wird in einem ersten Schritt der Energiebedarf berechnet und regionalisiert. Zur Deckung der so ermittelten regionalisierten Energienachfrage wird anschließend die aus Systemsicht kostenoptimale Deckung der Strom- und Fernwärmennachfrage durch erneuerbare Energien modelliert. Der resultierende Energiemix bildet die Grundlage für die Auslegung der Strom-, Gas- und Wärmenetze.

Über den Verlauf mehrerer Szenariorunden wurden die Fragestellungen kontinuierlich an die gewonnenen Erkenntnisse und an externe Entwicklungen angepasst. In den verschiedenen Szenariorunden wurden jeweils unterschiedliche, aufeinander abgestimmte Szenarien entworfen. Dabei wurden aktuelle Entwicklungen, u. a. Energiepreisentwicklung, Bevölkerungsentwicklung und Wachstumsraten, sowie Erkenntnisse aus den vorangegangenen Szenarien berücksichtigt. Die O45-Szenarien sind die aktuellen Szenarien mit dem Zieljahr 2045. Es wurden zwei Szenarien entwickelt: das Szenario O45-Strom, das stark auf die Nutzung von Strom setzt, und das Szenario O45-H2, das stark auf die Nutzung von Wasserstoff setzt. Die O45-Szenarien sind im Vergleich zu den Vorläuferszenarien (T45-Welten) weniger extrem in der Ausprägung der Unterschiede. Sie orientieren sich stärker an einem tatsächlich zu erwartenden Pfad (O45: Orientierungsszenarien). Dabei werden auch bestehende Politikinstrumente und deren Auswirkungen in der absehbaren Zukunft in die Modellierung einbezogen. Die Umsetzungsgeschwindigkeit orientiert sich zunächst an der tatsächlich zu beobachtenden

Entwicklung und wird nur in einem absehbaren Ausmaß erhöht. Dadurch können z.B. die THG-Ziele für die einzelnen Sektoren im Jahr 2030 nicht immer erreicht werden. Definitionsgemäß erreichen die Szenarien die Klimaneutralität 2045.

Für den nachfolgenden Vergleich in der vorliegenden Studie wurde das Szenario O45-Strom ausgewählt. Im Zielszenario O45-Strom hat die Elektrifizierung eine hohe Bedeutung für die Reduktion der THG-Emissionen (jedoch weniger ausgeprägt als im vorhergehenden Szenario T45-Strom). Der Bruttostromverbrauch steigt bis 2045 auf über 1.300 TWh. Davon werden 145 TWh importiert, der Rest wird inländisch erzeugt. Auch im Szenario O45-Strom ist neben der Elektrifizierung die Energieeffizienz ein wichtiger Hebel zur Zielerreichung. Der Primärenergieverbrauch verringert sich zwischen 2025 und 2045 um 28 %, der Endenergieverbrauch um 27 %.

3.2 Vergleich der ausgewählten Zielszenarien

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den ausgewählten Zielszenarien und ihrer Ausgestaltung. Gemeinsam sind den Szenarien insbesondere folgende Aspekte:

- **Ähnliche Betrachtungszeiträume:** Die Szenarien beginnen zu ähnlichen Zeitpunkten (zwischen 2021 und 2024) und enden im Jahr 2045 bzw. 2050.
- **Ambitionierte THG-Reduktionsziele:** Alle drei Zielszenarien erreichen bis 2045 eine bilanzielle Klimaneutralität (netto-null). Die sektoralen Zwischenziele für das Jahr 2030 werden hingegen nur im Roadmap-Szenario erreicht. Dies hängt auch damit zusammen, dass hier der Szenariozeitraum bereits 2021 beginnt und die THG-Emissionen bereits ab diesem Stichtag deutlich abnehmen.
- Bei den ausgewählten Szenarien wird **keine grundsätzliche Veränderung der deutschen Wirtschaftsstruktur** angenommen. Ein deutlicher Rückgang des industriellen Sektors findet nicht statt. Gleichwohl erfordert die Transformation in allen Szenarien eine signifikante Veränderung der Produktionsweisen.
- **Steigende Stromnachfrage:** Infolge der zunehmenden Elektrifizierung gehen alle Szenarien von einem deutlich steigenden Stromverbrauch bis 2045 aus. Die Effizienzgewinne bei konventionellen Anwendungen und damit einhergehenden Verbrauchsreduktionen, beispielsweise bei der Beleuchtung und bei Haushaltsgeräten, reichen nicht aus, um die steigende Stromnachfrage der neuen Verbraucher zu kompensieren. Wichtige Treiber für die Verbrauchszunahme sind insbesondere die E-Mobilität, die Erzeugung von Elektro-Wärme (Gebäudewärme, Fernwärme, Prozesswärme) sowie die Erzeugung von Elektrolyse-Wasserstoff. In den herangezogenen Zielszenarien beträgt die jährliche Stromnachfrage im Jahr 2045 zwischen rund 1.100 TWh (Roadmap-Szenario) und ca. 1.300 TWh (LFS). Die geringste Nachfrage ergibt sich im Roadmap-Szenario mit der stärksten Zunahme der Energieeffizienz und der tiefsten Bevölkerung.
- **Abkehr von fossilen Energieträgern:** In allen Szenarien erfolgt eine sehr starke Reduzierung der energetischen Nutzung fossiler Energieträger. 2045 werden in allen Szenarien nur noch sehr geringe Mengen verbraucht, dabei handelt es sich insbesondere um fossile Abfälle (z.B. Kunststoffabfälle) und Treibstoffe (u.a. für den Flugverkehr).
- **Einsatz strombasierter Energieträger (inkl. Wasserstoff):** Als Substitut für fossile Treib- und Brennstoffe werden in allen Szenarien langfristig strombasierte Energieträger eingesetzt, hauptsächlich für den Flugverkehr, bei gewissen Anwendungen in der Industrie (u.a. Stahlproduktion), sowie zur Deckung von Lastspitzen bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung. Insgesamt werden in 2045 in den Szenarien rund 300–350 TWh an strombasierten Energieträgern eingesetzt (ohne Nutzung für die Herstellung von Produkten).

- **Senkenwirkung LULUCF-Sektor:** Das THG-Reduktionsziel wird in der Bilanz erreicht – die verbleibenden THG-Emissionen werden durch negative Emissionen kompensiert. Dazu trägt auch die Senkenwirkung des Sektors LULUCF bei (u.a. die Senkenwirkung des Waldes und des Holzproduktespeichers). Die Senkenwirkung des Sektors LULUCF liegt in allen Szenarien in einer ähnlichen Größenordnung (im Jahr 2045: 35-42 Mt CO₂Äq).
- **Ähnliche Technologien:** In allen Szenarien werden die Reduktionsziele im Wesentlichen durch den Einsatz ähnlicher Technologien erreicht (v. a. EE-Technologien, Effizienztechnologien, Elektrifizierung, strombasierte Energieträger sowie Prozessumstellungen). Veränderungen in Verhaltens- und Konsummustern spielen – abgesehen von der Akzeptanz der erforderlichen Technologien – nur eine untergeordnete Rolle. Das heißt, es wurden keine Suffizienz-Maßnahmen unterstellt, welche auf eine bewusste und freiwillige Einschränkung des Konsums und des Ressourcenverbrauchs, insbesondere durch Reduktion der Mengenfaktoren wie Personenkilometer oder Wohnfläche pro Kopf, abzielen.

Um die ambitionierten Reduktionsziele in den Szenarien zu erreichen, wird neben den obengenannten Technologien, die auf die direkte Vermeidung von Treibhausgasen abzielen, zusätzlich CCS genutzt, um CO₂ an Punktquellen, bspw. bei Industrieprozessen, technisch abzuscheiden und im Untergrund zu speichern. CCS ermöglicht eine Reduktion für anderweitig nicht vermeidbare prozessbedingte Emissionen, beispielsweise bei der Zementproduktion oder der Grundstoffindustrie. Zudem bauen Negativ-Emissionstechnologien (NET), die bilanziell negativen Emissionen „erzeugen“, also der Atmosphäre CO₂ langfristig entziehen, ebenfalls auf CCS auf. Dazu zählen beispielsweise DACCS sowie Bioenergy-with-Carbon-Capture-and-Storage (BECCS). Damit bildet die CCS-Technologie einen wichtigen Baustein in vielen Minderungsstrategien zur Erreichung ambitionierter THG-Reduktionsziele. In allen drei berücksichtigten Zielszenarien wird CCS eingesetzt. Die abgeschiedenen Mengen liegen im Jahr 2045 zwischen ca. 30 – 45 Mt CO₂Äq/Jahr.

Tabelle 1: Überblick und Vergleich der drei berücksichtigten Zielszenarien

	Roadmap- Energieeffizienz 2025	Klimaneutrales Deutschland (KNDE)	Langfristszenarien (LFS)
Auftraggeber	BMWK	Agora Think Tanks	BMWK
Jahr Veröffentlichung	2023	2024	2024
abgebildeter Szenarienzeitraum*	2021-2050	2023-2045	2025-2045
Modellierte Sektoren	gesamtes Energiesystem	gesamtes Energiesystem, Landwirtschaft, LULUCF und Abfälle	gesamtes Energiesystem, Landwirtschaft, (LULUCF), Strom und Gasnetze
Bevölkerung 2045	81,1	84,5	84,6
Zwischenziel 2030 gemäß KSG	Sektorziele und Gesamtziel werden erreicht	Gesamtziel wird erreicht	Ziele werden nicht erreicht
THG-Reduktionsziel 2045	netto-null bis 2045	netto-null bis 2045	netto-null bis 2045
Stromnachfrage	starke Zunahme (2045: ca. 1.100 TWh)	starke Zunahme (2045: ca. 1265 TWh)	starke Zunahme (2045: ca. 1300 TWh)
Energieeffizienz – Reduktion Endenergieverbrauch 2045 ggü. 2025	starke Verbrauchsreduktion (-33 %)	Verbrauchsreduktion (-26 %)	Verbrauchsreduktion (-27 %)
Nutzung fossiler Energieträger	< 100 TWh	< 100 TWh	< 200 TWh
Nutzung synthetischer Energieträger (ohne stoffliche Verwendung)	rund 370 TWh	rund 330 TWh	rund 220-340 TWh**
Einsatz von CCS	ja	ja	ja
LULUCF-Senke 2045	-42 Mt CO ₂ Äq	-35 Mt CO ₂ Äq	-40 Mt CO ₂ Äq
Klasse der Hauptmaßnahmen (zur Emissionsreduktion)	Technologien	Technologien	Technologien
Abbildung von Instrumenten	ja, zusätzliche Instrumente für Zeitraum bis 2030	ja, zusätzliche Instrumente für Zeitraum bis 2030/2035	bestehende Instrumente, keine zusätzlichen

^a Die Szenarienergebnisse enthalten zudem Angaben zu weiteren Jahren im Ex-Post-Zeitraum. Dabei handelt es sich in der Regel um Statistikwerte, die nicht Ergebnis der Modellierung sind.

^{**} die publizierten Angaben zu den Flugtreibstoffen konnten nicht eindeutig auf biogene und synthetische Energieträger aufgeteilt werden

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der zitierten Studien

Neben den Gemeinsamkeiten zwischen den Szenarien zeigen sich auch Unterschiede. Zur Konstruktion und Berechnung der Szenarien dienen in allen drei Studien Energiesystemmodelle, die das Wirtschaftssystem aus der technologischen Perspektive anhand seiner prozesstechnischen Strukturen beschreiben. Dazu wird üblicherweise auf einen Bottom-up-Ansatz

zurückgegriffen, der anwendungsspezifische Energieträgerverbräuche mit energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren kombiniert. Output der Energiesystemmodelle sind beispielsweise die mit einem bestimmten Szenario verbundenen Energieverbräuche nach Energieträgern, die Treibhausgas-Emissionen sowie die erforderlichen Investitionen. Die Modellierung des Roadmap-Szenarios ist begrenzt auf das Energiesystem und die industriellen Prozessemissionen. Beim Szenario KNDE werden hingegen die gesamten Treibhausgasemissionen modelliert, inkl. der nichtenergetischen THG-Emissionen der Sektoren Landwirtschaft, Abfall und LULUCF. In den LFS werden zusätzlich zum Energiesystem die Landwirtschaft und in vereinfachter Form der Sektor LULUCF abgebildet. Außerdem werden in den LFS die Strom- und Gasnetze explizit modelliert. Aufgrund der **unterschiedlichen Abdeckung der modellierten Bereiche und Sektoren** unterscheidet sich teilweise die Aussagekraft und die Datenverfügbarkeit zwischen den Szenarien. In allen Szenarien bezieht sich jedoch der Bilanzraum der ausgewiesenen THG-Emissionen und des Reduktionsziels auf das gesamte nationale THG-Inventar.

Den Energiesystemmodellen liegen i. d. R. bestimmte **Rahmendaten** zugrunde, die für alle betrachteten Szenarien innerhalb einer Studie grundsätzlich identisch sind. Dies betrifft beispielsweise Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung, der Erwerbstätigen, der Anzahl der Haushalte, des BIP und der Bruttowertschöpfung (BWS), welche u. a. für die Berechnung des Energieverbrauchs in einer Volkswirtschaft benötigt werden. Das Roadmap-Szenario verwendet etwas ältere Rahmendaten, die auf einer älteren Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamtes basieren. Die **Bevölkerung** wächst im Roadmap-Szenario weniger stark an (2045: ca. 81,1 Mio.), beziehungsweise sie ist langfristig stärker rückläufig als in den LFS und im Szenario KNDE (2045: jeweils ca. 84,5 Mio.). Aufgrund der geringeren Bevölkerung werden weniger Güter wie beispielsweise Pkw oder Wohnungen nachgefragt. Dies resultiert bei sonst identischen Annahmen in einem geringeren Energieverbrauch und tieferen Investitionen. Im Jahr 2024 wurden die Bevölkerungszahlen des Zensus 2022 veröffentlicht. Diese zeigten, dass die Zahl der Bevölkerung in den damals aktuellen Statistiken um rund 1,5 Millionen überschätzt wurde. Aktuelle Bevölkerungsprojektionen, welche die Zahlen des Zensus 2022 berücksichtigen, liegen im Jahr 2045 in etwa in der Mitte der drei Szenarien.⁶

Während in allen Szenarien bis zum Jahr 2045 die Klimaneutralität erreicht wird, unterscheidet sich das **Emissionsniveau im Jahr 2030**. Im Roadmap-Szenario werden die THG-Emissionen ab 2021 stark reduziert, sodass sowohl die sektoralen Zwischenziele des KSG als auch das Gesamtziel erreicht werden. Im Szenario KNDE wird das Gesamtziel 2030 erreicht, während in einigen Sektoren die Ziele verfehlt werden. In den LFS werden sowohl das Gesamtziel 2030 als auch die sektoralen Zwischenziele verfehlt. Das frühzeitigere Verstärken der Klimaschutzmaßnahmen im Roadmap-Szenario beeinflusst auch die Investitionstätigkeit; diese steigt früher an.

Die Szenarien unterscheiden sich außerdem in Bezug auf die **Stromimporte**. In Roadmap-Szenario und im Szenario KNDE bleibt die Bilanz der Stromimporte und Exporte (Importsaldo) über den gesamten Zeitraum weitgehend ausgeglichen. Der Importsaldo beträgt im Jahr 2045 im Roadmap-Szenario rund 30 TWh, im Szenario KNDE 21 TWh. In den LFS steigt der Stromimportsaldo hingegen an, im Jahr 2045 liegt der Import 145 TWh über den Exporten.

⁶ In den Rahmendaten der THG-Projektion 2025 des UBA liegt die Bevölkerung in 2045 bei 83,2 Millionen.

4 Quantifizierung der Investitionsbedarfe nach Sektoren und Betreffnissen

4.1 Methodische Anmerkungen und Einschränkungen

Im Folgenden werden für jeden Sektor der Energiebilanz die für die Transformation erforderlichen Bedarfe an Klimaschutzinvestitionen nach Betreffnissen dargestellt. Dabei wird auf verschiedene Investitionsaggregate abgestellt, die jeweils einen unterschiedlichen Informationsgehalt haben. Entsprechend dem in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehen und Definitionen werden folgende Investitionsaggregate betrachtet:

- **Gesamte Klimaschutzinvestitionen (Brutto-Werte):** Der Hauptfokus der Betrachtung liegt auf den Klimaschutzinvestitionen. Dabei handelt es sich um eine Teilmenge der Bruttoanlageinvestitionen. Die Klimaschutzinvestitionen sind definiert als die Summe aller in einer Volkswirtschaft getätigten Investitionen, die zur Reduktion der THG-Emissionen beitragen. Sie beinhalten also auch viele Investitionen, die ohnehin getätigt worden wären, nun aber in klimafreundliche Anwendungen gelenkt werden (z. B. die Neuanschaffung von E-Pkw anstelle eines Pkw mit Verbrennungsmotor). Die Klimaschutzinvestitionen bilden grundsätzlich alles ab, was für die Transformation finanziert werden muss. Ausgeklammert sind die Bereiche Landwirtschaft, Abfall und Landnutzung.
- **Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo:** Sie umfassen eine Teilmenge der gesamten Klimaschutzinvestitionen. Sie bilden die im Vergleich zu heute notwendigen zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen ab, die zur Erreichung der Klimaschutzziele im Zielszenario erforderlich sind. Sie sind ein Indikator für das Ausmaß der Steigerung der Klimaschutzinvestitionen gegenüber den Durchschnitt der letzten Jahre (Mittelwert 2018–2023). Den Mehrinvestitionen stehen in der Regel eingesparte Energiekosten gegenüber, welche in den Aggregaten nicht berücksichtigt sind.
- **Anteile der Klimaschutzinvestitionen an den Bruttoanlageinvestitionen:** Die Bruttoanlageinvestitionen sind definiert als die Summe aller in einer Volkswirtschaft getätigten Investitionen (unabhängig von dem Beitrag der Investitionen zur Reduktion der THG-Emissionen). Die Anteile sind ein Indikator für die Bedeutung der Klimaschutzinvestitionen in der Volkswirtschaft.
- **Klimaschutzinvestitionen (Netto-Werte):** Die Netto-Klimaschutzinvestitionen geben Auskunft über den Umfang der Investitionen, welche ohne Klimaschutz nicht getätigt würden (Mehrinvestitionen aufgrund von Klimaschutz). Sie entsprechen den Brutto-Klimaschutzinvestitionen abzüglich der Investitionen, die ohnehin getätigt würden. Die Darstellung dieser Investitionsaggregate erfolgt in Kapitel 4.8.3.

Die Investitionsaggregate können einerseits jahresscharf, für den gesamten Zeitraum 2025–2045 (kumulierte Werte) oder als durchschnittliche Werte im Zeitraum 2025–2045 dargestellt werden. Die Investitionsaggregate können außerdem für einen bestimmten Sektor bzw. ein bestimmtes Betreffnis oder über alle Sektoren und Betreffnisse hinweg ausgewiesen werden. Alle Investitionsbedarfe werden einheitlich in Preisen des Jahres 2024 ausgewiesen. Bei Betrachtung von Durchschnittswerten ist zu beachten, dass sich die Investitionsbedarfe im Zeitverlauf verändern können.

Grundlage der Quantifizierungen

Die Grundlage der Quantifizierungen der dargestellten Investitionsbedarfe sind die in Kapitel 3 beschriebenen Zielszenarien sowie im Fall der Langfristszenarien ergänzende eigene Annahmen zu den spezifischen Technologiekosten.

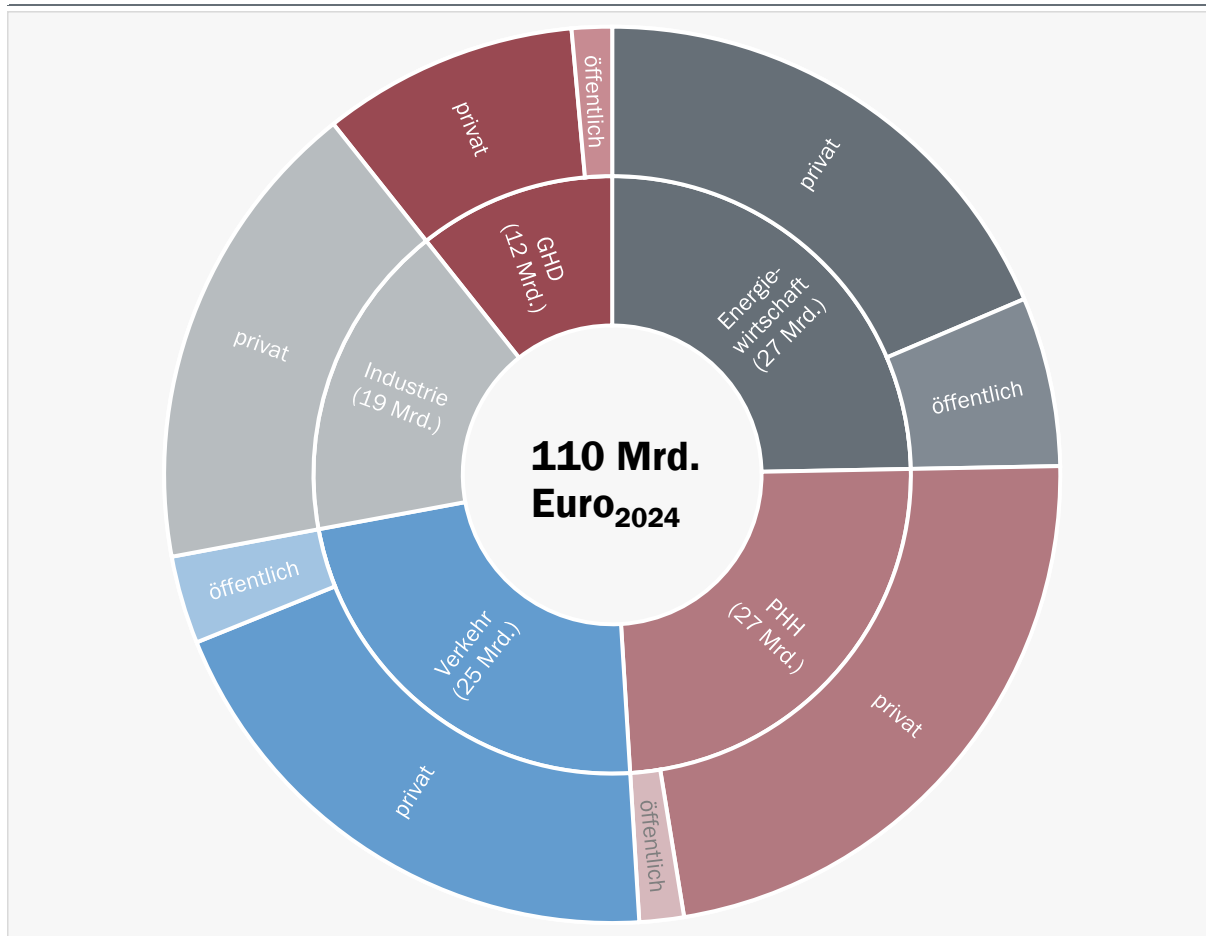
Für die Berechnung der Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo werden in einem ersten Schritt die Klimaschutzinvestitionen der vergangenen Jahre ermittelt. Anschließend werden aus der Differenz zwischen den zukünftigen Investitionsbedarfen in den Szenarien und den Investitionen im Status Quo die Mehrinvestitionen berechnet. Für die Bestimmung der Investitionen im Status Quo werden die Klimaschutzinvestitionen der Szenarien Roadmap und KNDE verwendet und über den Zeitraum 2018–2023 gemittelt (auf Ebene der einzelnen Technologiebereiche). In diesem Zeitraum basieren die Szenarien grundsätzlich auf der realen Entwicklung. Beispielweise bilden die Szenarien in diesen Ex-Post-Jahren den effektiven Zubau an PV- und Windkraftleistung, Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen ab. Die aus den Szenarien abgeleiteten Investitionen sind deshalb ein guter Schätzer für die in diesen Jahren effektiv getätigten Klimaschutzinvestitionen. Für den Zeitraum 2018–2023 ergeben sich mittlere jährliche Klimaschutzinvestitionen in der Höhe von 110 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Abbildung 3). Dies entspricht in etwa einem Anteil von 14 % an den jährlichen Bruttoanlageinvestitionen im Umfang von 775 Mrd. Euro₂₀₂₄. Bereits im Zeitraum 2018–2023 weisen die Klimaschutzinvestitionen eine steigende Tendenz auf, was auch mit der drohenden Gasmangellage und den stark steigenden Energiepreisen in den Jahren 2022 und 2023 zusammenhängen dürfte. Lagen die jährlichen Klimaschutzinvestitionen in den Jahren 2018 bis 2020 noch leicht unter 100 Mrd. Euro₂₀₂₄, lagen sie in den nachfolgenden Jahren 2021 bis 2023 im Mittel bei bereits rund 140 Mrd. Euro₂₀₂₄. In Abbildung 3 sind die Klimaschutzinvestitionen zusätzlich unterteilt in private Investitionen und Investitionen des öffentlichen Bereichs. Die Unterteilung erfolgt basierend auf den in Kapitel 5.1 beschriebenen Annahmen. Nur ein kleiner Anteil des öffentlichen Bereichs zeigt sich im Private Haushalte, im Industriesektor sind es ausschließlich private Investitionen. In den Sektoren Verkehr und Sektor GHD liegen die Anteile des öffentlichen Bereichs an den Klimaschutzinvestitionen bei rund 10-15 %, im Sektor Energiewirtschaft bei rund 25 %. Insgesamt ergeben sich für den Status Quo mittlere jährliche Klimaschutzinvestitionen durch den öffentlichen Bereich im Umfang von 13 Mrd. Euro₂₀₂₄.⁷

Die Quantifizierung der Klimaschutzinvestitionen nach Betreffnissen erfolgt für die Szenarien Roadmap und KNDE direkt anhand der in den Studien berechneten Werte. Zur Ermittlung der Investitionen in den LFS und für die Bruttoanlageninvestitionen muss hingegen auf weitere Datensätze und Annahmen zurückgegriffen werden. In einigen Sektoren bzw. Bereichen liegen keine Datensätze mit Statistikqualität vor, die eine fundierte Zuordnung der Investitionen erlauben würden. Damit verbunden sind gewisse Unschärfen, die es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen gilt. Insgesamt konnten jedoch auf diese Weise für alle Sektoren Ansätze verfolgt werden, die für eine Grobabschätzung der relevanten Investitionen im Rahmen des Projekts angemessen erscheinen.

⁷ Die Annahmen zur Aufteilung nach öffentlichen und privaten Klimaschutzinvestitionen sind in Kapitel 5.1 beschrieben. Als Vereinfachung wurde angenommen, dass sich die Anteile der öffentlichen Klimaschutzinvestitionen bei den einzelnen Technologiebereichen über den Beobachtungszeitraum nicht verändern. D.h., für die Berechnung der öffentlichen Klimaschutzinvestitionen im Status Quo wurden von identischen Anteilen ausgegangen wie für die Berechnung der zukünftigen öffentlichen Klimaschutzinvestitionen.

Abbildung 3: Jährliche Klimaschutzinvestitionen (Brutto-Werte) im Zeitraum 2018-2023

Mittelwert der Jahre in Mrd. Euro₂₀₂₄, unterteilt nach privaten und öffentlichen Investitionen (siehe dazu Kapitel 5.1)



Quelle: Eigene Darstellung Prognos, basierend auf Prognos 2024 und Agora Energiewende 2024

Eine Schwierigkeit ergibt sich bei der Bestimmung der KSI hinsichtlich der **Abgrenzung zwischen klimarelevanten und nicht-klimarelevanten Investitionen**. Diese Abgrenzung ist entscheidend für die Höhe der Klimaschutzinvestitionen. Beispielsweise stellt sich die Frage, ob die gesamte Gebäudehülle oder nur die Wärmedämmung als klimarelevant klassifiziert werden können. Ebenso ist bei Maschinen und Elektrogeräten nicht klar, inwiefern Neuanschaffungen, die regelmäßig gewisse Effizienzfortschritte gegenüber alten Maschinen und Elektrogeräten aufweisen, ebenfalls als Klimaschutzinvestitionen eingestuft werden können. Gibt es Investitionsalternativen, stellt sich zudem die Frage, ob nur die klimafreundlichste Investitionsalternative (z. B. E-Fahrzeuge) als grün klassifiziert wird oder, ob es bereits reicht, wenn die gewählte Alternative (z. B. Verbrenner mit hoher Effizienz) klimafreundlicher ist als eine andere Alternative (z. B. Verbrenner mit geringer Effizienz). Aufgrund der Abgrenzungsproblematik werden im Folgenden nur Investitionen den Klimaschutzinvestitionen zugerechnet, deren Zuordnung weitgehend unstrittig sein sollte (z. B. E-Fahrzeuge, Wärmedämmung). Bei effizienten Elektrogeräten ist hingegen die Zuordnung zum Klimaschutz unklar. Investitionen in Elektrogeräte werden deshalb nicht bei den Klimaschutzinvestitionen berücksichtigt. Die dargestellten Klimaschutzinvestitionen könnten daher die tatsächlichen Klimaschutzinvestitionen eher unterschätzen.

4.2 Sektor Private Haushalte

Quantifizierte Betreffnisse

Im Sektor Private Haushalte konnten die folgenden Betreffnisse, die sich ausschließlich auf Wohngebäude beziehen, quantifiziert werden:

- **Wärmeerzeugungs- bzw. Heizungsanlagen:** Anlagen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser, darunter im Wesentlichen elektrische Wärmepumpen. Berücksichtigt sind auch Holzheizungen (feste Biomasse), Investitionen für den Gebäudeanschluss an ein Wärmenetz sowie solarthermische Anlagen.
- **Wärmeschutz bei Bestandsgebäuden (energetische Sanierungen):** Energetische Verbesserung der Gebäudehülle durch Sanierung. Als KSI werden lediglich die energiebedingten Mehrinvestitionen für den verbesserten Wärmeschutz gezählt, im Vergleich zu einer reinen Pinselsanierung.
- **Wärmeschutz bei Neubauten:** Investitionen für energieeffiziente Neubauten. Als KSI werden lediglich die energiebedingten Mehrinvestitionen für den verbesserten Wärmeschutz gezählt (gegenüber Neubaustandard im Jahr 2000).

Weitere Betreffnisse wie beispielsweise Elektrogeräte, Kochherde, die Beleuchtung oder auch effiziente Aufzüge wurden im Rahmen der Studie nicht quantifiziert, sind aber für die Transformation auch nicht wesentlich. Energieeffizientere Geräte oder Leuchtmittel verursachen nicht zwangsläufig Mehrkosten gegenüber einem „konventionellen“, da es zahlreiche ergänzende und gegenläufige Qualitätskriterien bei solchen Geräten gibt, die sich auf die Kosten auswirken. Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom, beispielsweise private Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) auf den Gebäudedächern ebenso wie „Balkonanlagen“, werden im Sektor Energie bilanziert.

Die publizierten Werte zu den LFS erlauben keine Aufteilung in die Sektoren Haushalte (PHH) und GHD. Entsprechend sind aus den LFS keine Werte für den Sektor PHH ausgewiesen, es erfolgen jedoch Angaben zum Gebäudesektor insgesamt.

Größenordnung der KSI und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

In Abbildung 4 sind die KSI im Sektor PHH im Roadmap-Szenario dargestellt, die entsprechenden KSI im Szenario KNDE sind in Abbildung 5 beschrieben. Die gesamten KSI betragen bis 2045 im Sektor PHH in Summe 952 bis 1.241 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dies entspricht im Durchschnitt jährlichen KSI im Umfang von 45 bis 59 Mrd. Euro₂₀₂₄. Die KSI haben im Mittel der Jahre einen Anteil von 30 bis 40 % am Gesamtinvestitionsbedarf. Die KSI im Roadmap-Szenario sind deutlich höher als im Szenario KNDE. Dies ist zum einen auf die höhere Sanierungsrate und die damit verbundenen höheren Investitionen in die Verbesserung des Wärmeschutzes zurückzuführen. Zum anderen sind die Investitionen in Wärmepumpen höher. Ursächlich hierfür ist nicht die Anzahl der installierten Wärmepumpen. Diese ist in beiden Szenarien ähnlich hoch (im Jahr 2045 rund 15,2 Mio. Anlagen im Roadmap-Szenario und 14,6 Mio. Anlagen im Szenario KNDE). Ursächlich sind vielmehr die eingesetzten Wärmepumpentypen. Im Szenario KNDE werden vermehrt kostengünstigere Luft-Wasser- und auch Luft-Luft-Wärmepumpen eingesetzt, während im Roadmap-Szenario in erheblichem Ausmaß auf effizientere, aber teurere Sole-Wasser-Wärmepumpen gesetzt wird. Durch die höhere Gebäudeeffizienz (mehr energetische Sanierungen) und die effizienteren Wärmepumpen verringert sich im Roadmap-Szenario der Energieverbrauch für Raumwärme stärker als im Szenario KNDE. Da in beiden Szenarien die Wärmeerzeugung vollständig dekarbonisiert wird, werden jedoch in beiden Szenarien die THG-

Emissionen im Gebäudesektor bis 2045 vollständig vermieden. Aufgrund der höheren Wärmenachfrage ergeben sich jedoch im Szenario KNDE größere Herausforderungen für den Sektor Energie: Es sind ein höherer Strombedarf und ein höherer Fernwärmebedarf zu decken. Entsprechend zeigen sich im Szenario KNDE zwar geringere Klimaschutzinvestitionen im Gebäudesektor, gleichzeitig jedoch höhere Klimaschutzinvestitionen im Energiesektor (u.a. auch für den Netzausbau). Aus Perspektive des gesamten Energiesystems dürften Pfade mit hoher und mittlerer Sanierungsaktivität in etwa gleichwertig sein, d.h. zu vergleichbaren Systemkosten führen (siehe dazu auch Prognos (2025c).

In beiden Szenarien entfallen je rund 35–45 % der KSI auf die Wärmepumpen und die energetischen Sanierungen der Gebäudehülle (Abbildung 6). Der Anteil der Investitionen in den Wärmeschutz der Neubauten liegt bei rund 10–15 % der KSI. Investitionen in übrige EE-Wärme sind in beiden Szenarien von untergeordneter Bedeutung: Solarthermie und Biomasse (Holzheizungen) haben in den beiden Szenarien lediglich eine geringe Bedeutung zur Deckung des Wärmebedarfs. Wärmenetze gewinnen an Bedeutung, die Investitionen fallen jedoch zum Großteil im Sektor Energiewirtschaft an (Netzausbau, Wärmeerzeugung).⁸ In beiden Szenarien wurde angenommen, dass die Baupreise weiter steigen. Dies ist neben der Sanierungsaktivität ein weiterer wichtiger Treiber für den Anstieg der Investitionen in energetische Sanierungen.

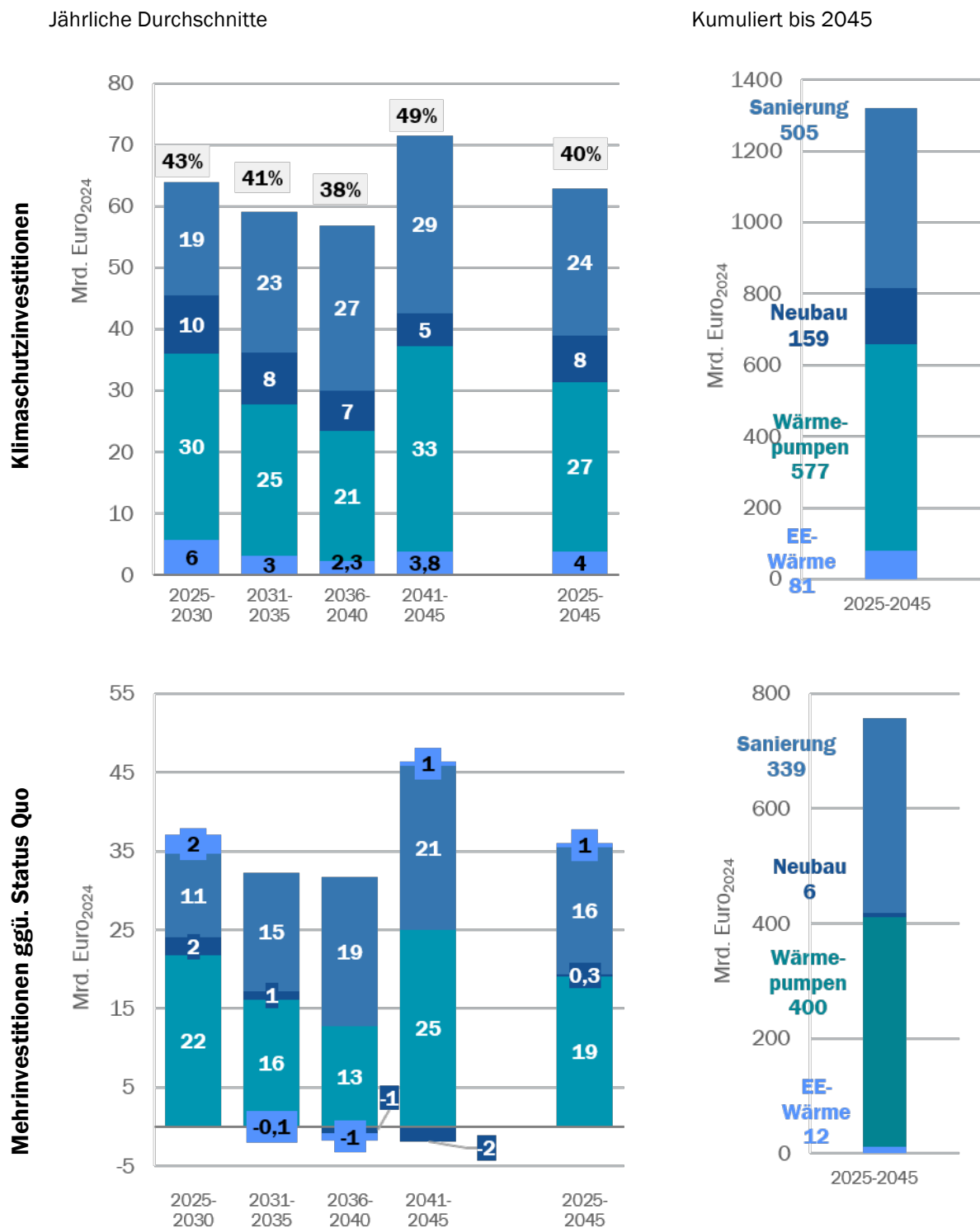
Im Mittel der Jahre 2018 bis 2023 wurden im Jahresmittel KSI im Umfang von rund 27 Mrd. Euro₂₀₂₄ getätigt. In den Zielszenarien steigt der Umfang schon vor 2030 deutlich an und liegt im Mittel der Jahre 2025–2030 bei rund 45–60 Mrd. Euro₂₀₂₄. Über den Zeitverlauf bis 2045 verändert sich die Höhe der jährlichen KSI nicht wesentlich und verbleibt zwischen rund 40–60 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Roadmap-Szenario steigen die KSI gegen 2045 nochmals an und erreichen annähernd 70 Mrd. Euro₂₀₂₄. Zurückzuführen ist dies auf den umfangreichen und teilweise auch vorzeitigen Ersatz von Gaskesseln durch Wärmepumpen und andere EE-Wärme vor dem Zieljahr 2045. Im Szenario KNDE erfolgt dieser Ersatz etwas frühzeitiger.

Die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo liegen im Mittel bei jährlich rund 20-30 Mrd. Euro₂₀₂₄ (untere Hälften der nachfolgenden Abbildungen). Die zusätzlichen KSI entfallen etwa zu gleichen Teilen auf die Betreffnisse Wärmepumpen und Sanierung der Gebäudehülle. In den Zielszenarien erhöht sich der jährliche Absatz an Wärmepumpen und auch die Sanierungsrate steigt an. Bei der übrigen EE-Wärme gibt es keine wesentlichen Unterschiede, im Bereich Neubau sind hingegen die KSI rückläufig und langfristig geringer als in den vergangenen Jahren (negative Werte, d.h., die zukünftigen Investitionen sind geringer als die aktuell bereits getätigten Investitionen). Die negativen KSI im Vergleich zum Status Quo sind nicht auf abnehmende Energieeffizienz bei den Neubauten zurückzuführen. Ursache sind rückläufige Neubaulzahlen, welche wiederum eng mit der Bevölkerungsentwicklung zusammenhängen (mittelfristig stagnierend, längerfristig leicht abnehmend).

⁸ In den verwendeten Datengrundlagen sind die Investitionen in den Bereich (übrige) EE-Wärme nicht separat ausgewiesen. Für eine verbesserte Vergleichbarkeit der Darstellungen wurden diese Werte anhand der Bestandsentwicklung im Szenario Roadmap approximativ abgeschätzt und in die Abbildung 3 mitintegriert. Die jährlichen Investitionen liegen bei durchschnittlich rund 3-4 Mrd. Euro₂₀₂₄. Damit liegen sie in einer ähnlichen Größenordnung wie im Szenario KNDE. In beiden Szenarien nehmen Biomasse (Holz) und Solarthermie nur eine untergeordnete Rolle für die Zielerreichung ein.

Abbildung 4: Bedarf an KSI im Sektor PHH nach Betreffnissen – Szenario Roadmap

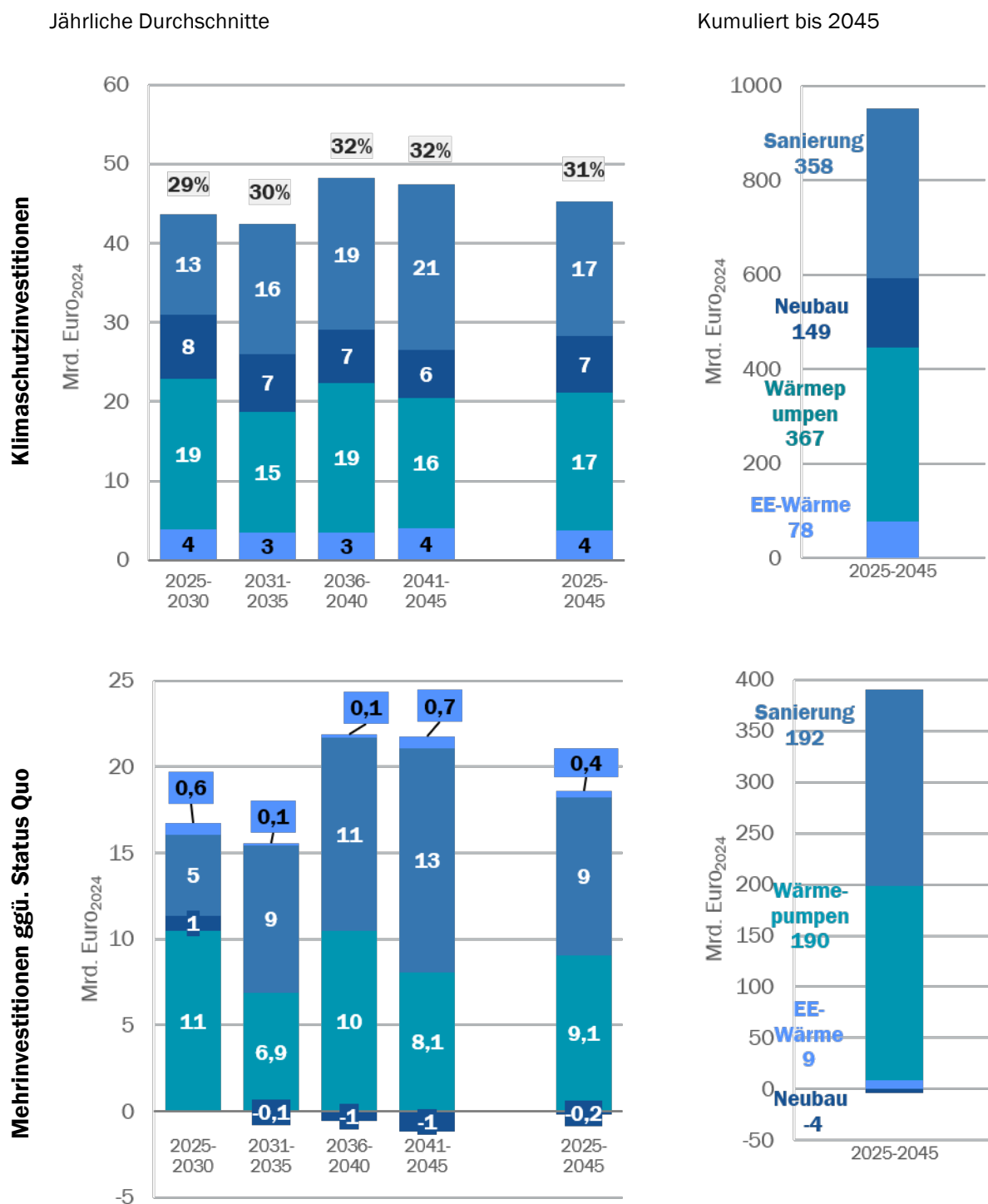
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 5: Bedarf an KSI im Sektor PHH nach Betreffnissen – Szenario KNDE

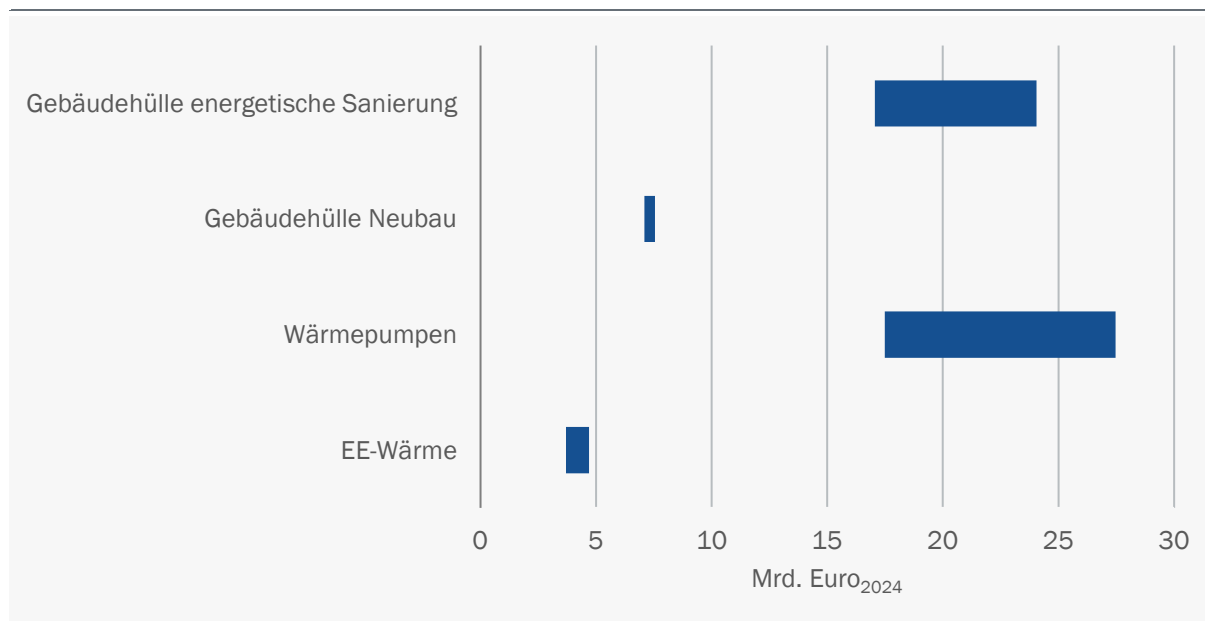
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 6: Sektor Private Haushalte – jährliche KSI nach Betreffnis

Bandbreiten der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

Langfristszenarien: Gebäudesektor

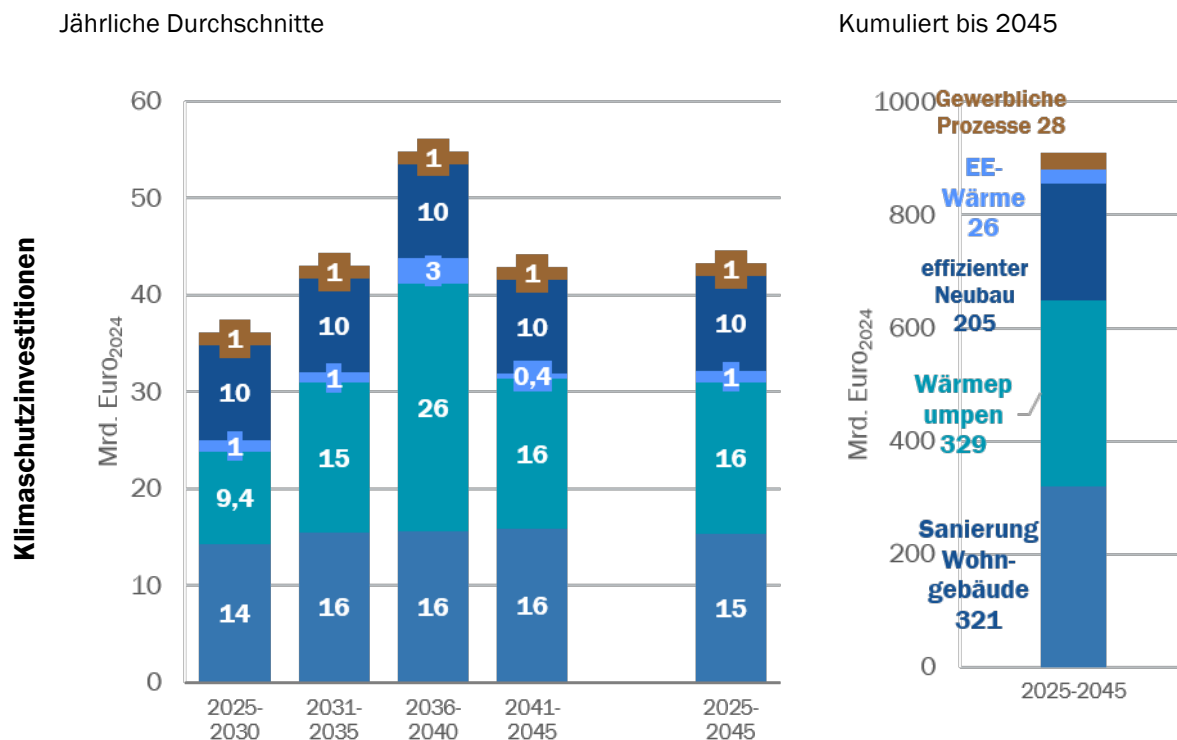
In den LFS sind keine Werte zum Sektor PHH publiziert, veröffentlicht sind Angaben zum Gebäudesektor, welcher zusätzlich zum Sektor PHH auch den GHD-Sektor einschließt. Anhand veröffentlichter Werte zu Sanierungen und Anzahl Wärmepumpen wurden die KSI näherungsweise abgeschätzt (Abbildung 7). Aus den vorliegenden Informationen konnten jedoch nicht zu allen Betreffnissen Investitionen ermittelt werden, u.a. fehlen Angaben zum effizienten Neubau und zur Umstellung gewerblicher Prozesse. Für einen besseren Vergleich mit den Szenarien Roadmap Energieeffizienz und KNDE wurden diese Investitionsbereiche approximativ abgeschätzt und ergänzt.⁹

Für die energetische Sanierung von Wohngebäuden liegen die Investitionen im Mittel der Jahre bei rund 15 Mrd. Euro₂₀₂₄ und damit leicht tiefer als im Szenario KNDE (17 Mrd. Euro₂₀₂₄) und deutlich tiefer als im Roadmap-Szenario (24 Mrd. Euro₂₀₂₄). In elektrische Wärmepumpen werden in den LFS im Jahresmittel 16 Mrd. Euro₂₀₂₄ investiert, bis 2045 insgesamt 329 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dies deckt sich gut mit den Werten im Szenario KNDE, hier liegen die entsprechenden Werte bei 17 Mrd. Euro₂₀₂₄, respektive 367 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Werte für Sektor PHH). Im Roadmap-Szenario sind die Investitionen in Wärmepumpen höher, u.a. aufgrund der teuren Sole-Wasser-Wärmepumpen. Zusätzlich werden in den LFS jährlich rund 1-1,5 Mrd. Euro₂₀₂₄ in weitere EE-Wärmeanlagen investiert (Anschluss Fernwärme-, Biomasse- und Solaranlagen). Unter Berücksichtigung der Investitionen in effizienten Neubau (insgesamt bis 2045 rund 205 Mrd. Euro₂₀₂₄) sowie die Umstellung gewerblicher Prozesse (insgesamt 28 Mrd. Euro₂₀₂₄) ergeben sich in den LFS bis zum Jahr 2045 im Gebäudesektor insgesamt KSI im Umfang von rund 910 Mrd. Euro₂₀₂₄.

⁹ Verwendet wurde der Mittelwert der Investitionen in den Szenarien Roadmap und KNDE im Zeitraum 2025 bis 2045. Als weitere Vereinfachung wurde angenommen, dass diese Investitionen gleichmäßig über den Zeitraum 2025 bis 2045 anfallen.

Abbildung 7: Bedarf an KSI im Gebäudesektor nach Betreffnissen – LFS

Klimaschutzinvestitionen im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts)



Quelle: Eigene Berechnungen

4.3 Sektor Gewerbe Handel Dienstleistungen

Abgrenzung der Betreffnisse

Im KSG wird der Sektor GHD mit dem Sektor Private Haushalte (PHH) zum Gebäudesektor zusammengefasst. Wie im Sektor PHH ist auch im Sektor GHD die Erzeugung von Raumwärme die Hauptursache für die Entstehung der THG-Emissionen. Entsprechend sind die Reduktion des Wärmebedarfs und die Umstellung der Wärmeversorgung auf klimaneutrale Wärme die zentralen Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen auch im Sektor GHD. Zusätzlich hat im Sektor GHD die Umstellung der Wärmeversorgung bei gewerblichen Prozessen eine gewisse Bedeutung für die Reduktion der THG-Emissionen. Der Bedarf an KSI im Sektor GHD lässt sich den nachfolgenden Betreffnissen zuordnen:

- Wärmeerzeugungs- bzw. Heizungsanlagen
- Effizienz Gebäudehülle (Bestandsgebäude und Neubauten)
- Prozesstechnik

Investitionen in Wärmeerzeugungs- bzw. Heizungsanlagen beinhalten wie im Sektor Private Haushalte Investitionen in elektrische Wärmepumpen, Holzheizungen (feste Biomasse), den Anschluss an Wärmenetze sowie die Installation von solarthermischen Anlagen. Investitionen in

die Effizienz der Gebäudehülle betreffen vor allem Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle im Rahmen von Sanierungs- und Neubauaktivitäten.

Die Prozesstechnik umfasst Anlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme und -kälte sowie mechanischer Antriebsenergie. Zum einen erfolgen Investitionen in Neuanlagen dieser Kategorie zum Zweck der Reduktion des Brennstoff- bzw. Stromverbrauchs (Energieeffizienz), zum anderen können diese Investitionen eine Brennstoffumstellung (z.B. Elektrowärme) betreffen.

Unter dem Betreffnis Gebäudetechnik werden alle Investitionen in die technische Gebäudeausrüstung zusammengefasst, darunter raumlufttechnische Anlagen zur Ventilation, Raumkühlung und / oder -klimatisierung. Diese Investitionen sind von untergeordneter Bedeutung, sie werden im nachfolgenden zusammen mit den Investitionen für Prozessumstellungen ausgewiesen. Nicht enthalten sind Investitionen in stromerzeugende Anlagen wie PV-Module, aber auch in Blockheizkraftwerke oder Brennstoffzellenanlagen. Diese Investitionen sind im Sektor Energie bilanziert.

Größenordnung der KSI und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

Insgesamt fällt im Sektor GHD im Zeitraum 2025 bis 2045 ein Bedarf an KSI im Umfang von rund 355–400 Mrd. Euro₂₀₂₄ an (Abbildung 8 und Abbildung 9). Dies entspricht im Durchschnitt jährlichen KSI in der Höhe von 17-19 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Gegensatz zum Sektor PHH ist die Bedeutung der KSI an den gesamten Investitionen im Sektor GHD gering, die KSI haben einen Anteil von lediglich 4 % bis 6 % am sektoralen Gesamtinvestitionsbedarf.

Im Roadmap-Szenario sind die KSI höher als im Szenario KNDE. Dies ist auf die höheren Investitionen in die Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäude zurückzuführen. Im Roadmap-Szenario, welches einen sehr starken Fokus auf Energieeffizienz legt, werden für dieses Betreffnis im Zeitraum 2025–2045 rund 110 Mrd. Euro₂₀₂₄ mehr investiert. Dem stehen im Szenario KNDE leicht höhere KSI für die Umstellung gewerblicher Prozesse und für EE-Wärme gegenüber. In beiden Szenarien werden im Zeitraum bis 2045 rund 60 Mrd. Euro₂₀₂₄ in Wärmepumpen investiert.

Der mit Abstand größte Teil der KSI fällt in beiden Szenarien auf die Gebäudehülle (Sanierung und Neubau). Im Roadmap-Szenario entfallen über 80 % der KSI auf dieses Betreffnis, im Szenario KNDE rund 65 % (Abbildung 10). Der Anteil der Wärmepumpen liegt jeweils bei rund 15 %.

Im Mittel der Jahre 2018 bis 2023 wurden im Sektor GHD KSI im Umfang von rund 12 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr getätigt. In den Zielszenarien erhöhen sich die jährlichen KSI auf 17 bis 19 Mrd. Euro₂₀₂₄. Der prozentuale Anstieg ist erheblich, fällt jedoch geringer aus als im Sektor PHH.

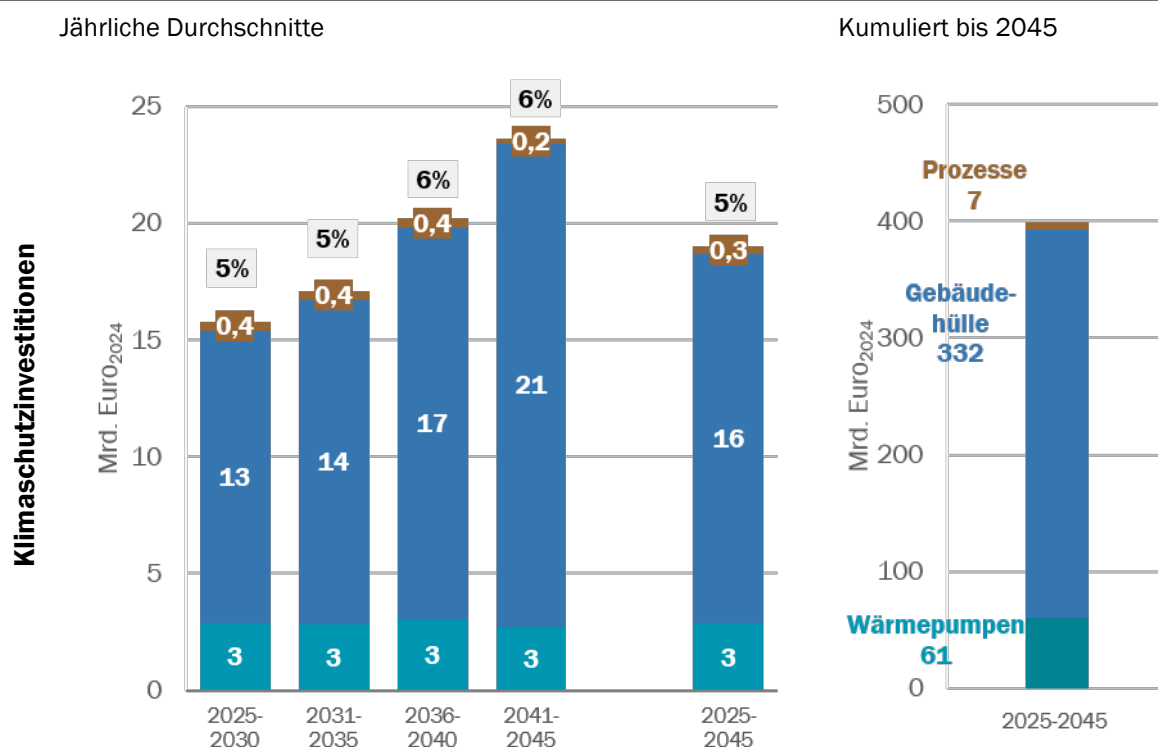
In beiden Szenarien steigen die KSI im Verlauf der Jahre 2025–2045 kontinuierlich an. Der Anstieg ist auf den Bereich Gebäudehülle zurückzuführen, während sich die KSI der anderen Betreffnisse über den Zeitverlauf nicht wesentlich verändern. Eine wichtige Ursache für den Anstieg der KSI in die Gebäudehülle sind die steigenden Baukosten. Dies im Gegensatz zum Bereich Wärmepumpen, bei denen in beiden Szenarien eine leichte Kostendegression unterstellt wird (Wärmepumpen werden im Zeitverlauf billiger).

Die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo liegen im Durchschnitt bei 6-8 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr (untere Hälften der nachfolgenden Abbildungen). Die zusätzlichen KSI entfallen wie im Sektor PHH überwiegend auf Investitionen in Wärmepumpen und den verbesserten

Wärmeschutz. Im Szenario KNDE werden auch Angaben zu weiteren EE-Wärmetechnologien und der Prozesswärme ausgewiesen.¹⁰ Auch bei diesen Betreffnissen zeigen sich Mehrinvestitionen im Umfang von rund 1 Mrd. Euro₂₀₂₄.

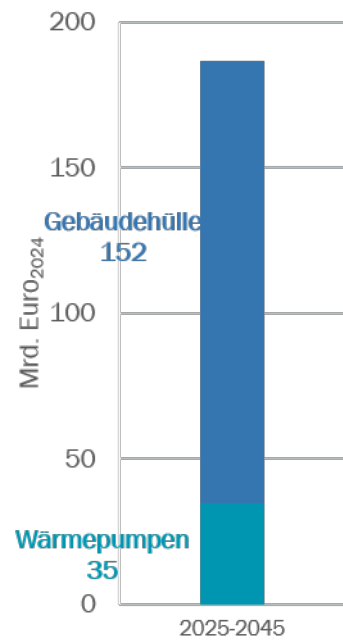
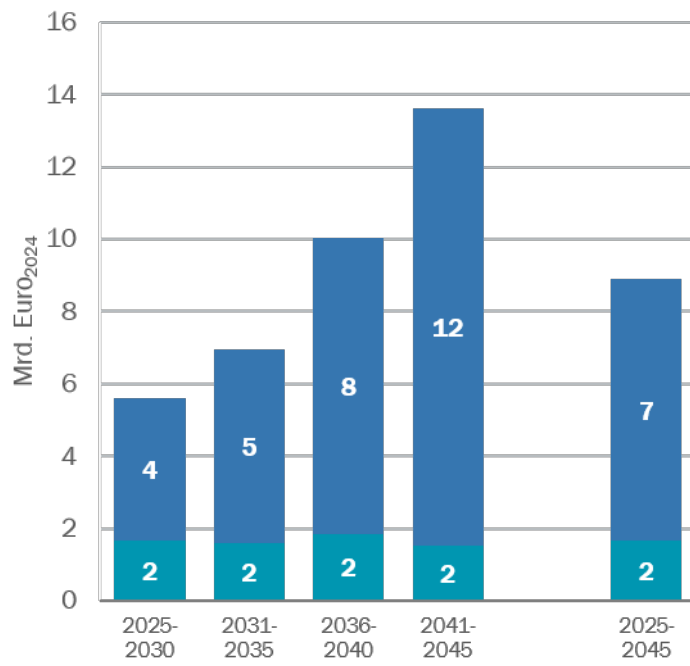
Abbildung 8: Bedarf an KSI im Sektor GHD nach Betreffnissen – Szenario Roadmap

Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



¹⁰ Auch im Roadmap-Szenario werden Angaben zur Prozesswärme veröffentlicht. Diese Investitionen sind jedoch sehr gering, wodurch sich bei der Differenzbildung mit den Status Quo-Werten negative Investitionen ergeben. Da dies nicht plausibel erscheint, werden die Werte in der Darstellung nicht berücksichtigt.

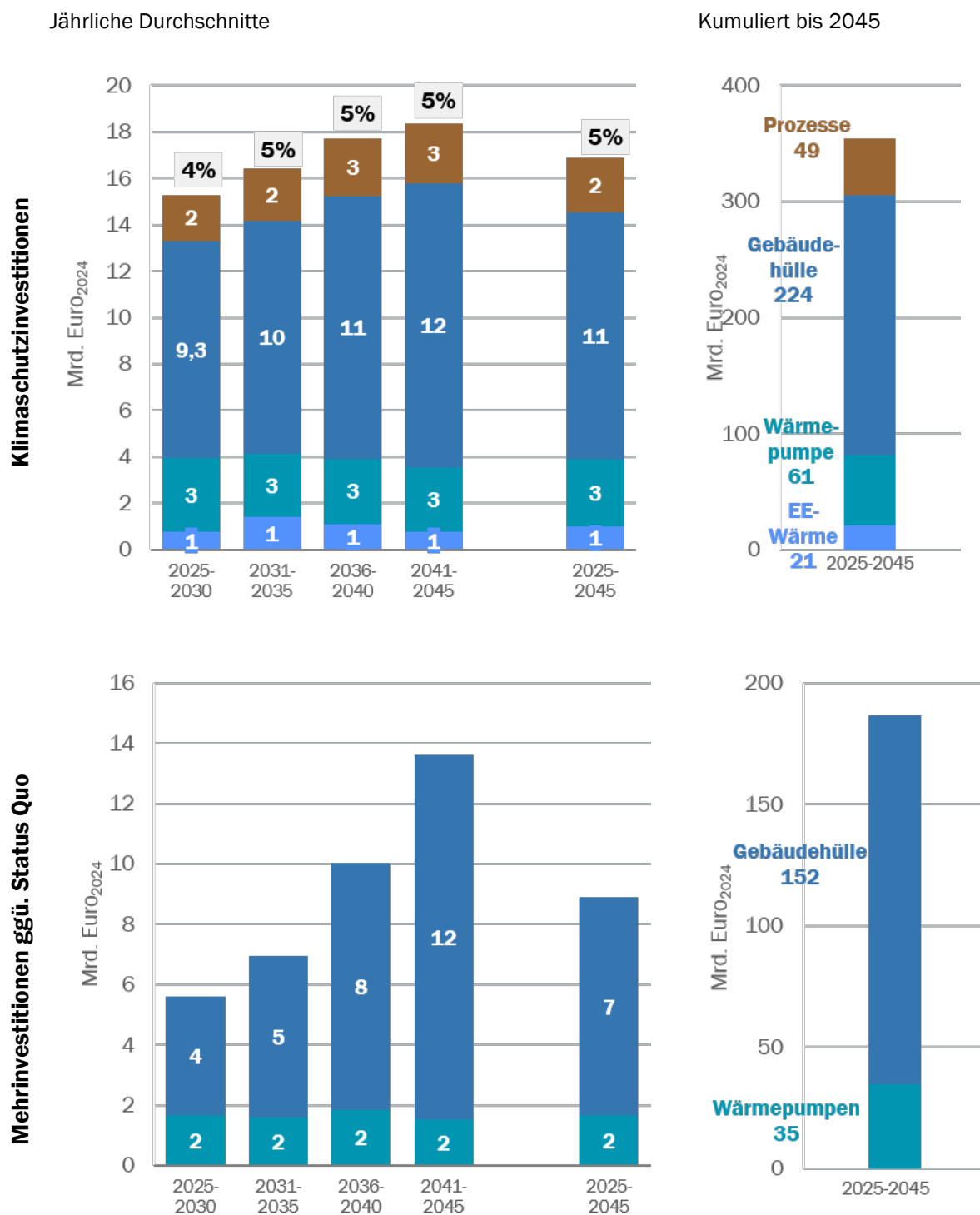
Mehrinvestitionen ggü. Status Quo



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 9: Bedarf an KSI im Sektor GHD nach Betreffnissen – Szenario KNDE

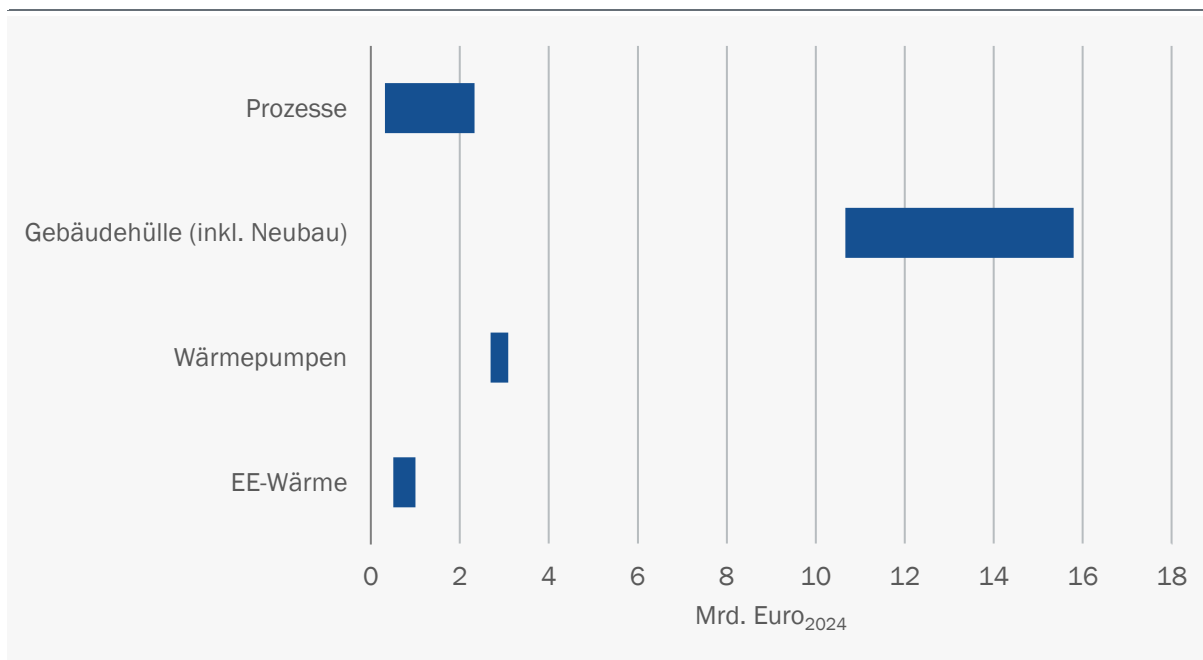
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 10: Sektor GHD – jährliche KSI nach Betreffnis

Bandbreiten der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

4.4 Sektor Industrie

Abgrenzung der Betreffnisse

Der Investitionsbedarf im Sektor Industrie lässt sich nur schwer spezifischen Betreffnissen zuordnen und die vorhandene Disaggregation unterscheidet sich teilweise zwischen den berücksichtigten Studien. Aus den zu den LFS veröffentlichten Angaben lassen sich keine Investitionen ableiten. Aus dem Roadmap-Szenario und dem Szenario KNDE lassen sich folgende übergeordnete Betreffnisse unterscheiden:

- Umstellung industrieller Prozesse
- Energie- und Ressourceneffizienztechnologien
- CCS (Anteil Abscheidung)

Das Betreffnis CCS beinhaltet Investitionen in die CO₂-Abscheidung, insbesondere bei der Kalkindustrie. Nicht enthalten sind Investitionen in die CO₂-Transportinfrastruktur und in CO₂-Speicher, welche im Sektor Energie subsumiert werden.

Das Betreffnis Energie- und Ressourceneffizienztechnologien umfasst Investitionen in allgemeine Querschnittstechnologien, u.a. Effizienzmaßnahmen bei Geräten, Gebäuden und Öfen, aber auch Investitionen zur Erhöhung des Stoffrecyclings. Die Abgrenzung von konventionellen Technologien ist in diesem Bereich teilweise schwierig und die gewählte Abgrenzung ist eher breit gefasst. Die ausgewiesenen Investitionen in diese Klimaschutztechnologien werden daher möglicherweise etwas überschätzt.

Die Umstellung der Prozesse beinhaltet u.a. die Umstellung der Stahlerzeugung, den Umbau des Chemiesektors, den Anlagentausch bei der Prozesswärmeerzeugung, darunter die Elektrifizierung der Wärmeerzeugung.

Darüber hinaus ist es möglich den Investitionsbedarf in der folgenden Branchendifferenzierung zu berechnen:

- Gewinnung von Steinen und Erden und Bergbau (unter Sonstiges ausgewiesen)
- Ernährung und Tabak
- Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (unter Sonstiges ausgewiesen)
- Herstellung von chemischen Erzeugnissen (Chemie)
- Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
- Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- Erzeugung von Roheisen, Stahl und Erzeugnissen der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl (Stahl)
- Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen und Gießereien (unter Sonstiges ausgewiesen)
- Herstellung von Metallerzeugnissen (Metall)
- Elektrogeräte (unter Sonstiges ausgewiesen)
- Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (unter Sonstiges ausgewiesen)
- Maschinenbau
- Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (unter Kraftwagen ausgewiesen)
- Sonstiger Fahrzeugbau (unter Kraftwagen ausgewiesen)
- Sonstige Wirtschaftszweige (unter Sonstiges ausgewiesen)

Die Aufteilung der KSI nach diesen Branchen wird in Kapitel 5.3 beschrieben.

Für den Sektor Industrie liegen keinerlei Daten über die direkt getätigten KSI vor. Auch können diese im Gegensatz zu anderen Sektoren nicht einfach bestimmt werden, da keine Anlagenkohorten der gesamten deutschen Industrielandschaft vorliegen. Aus diesem Grund werden die vergangenen KSI im Wesentlichen anhand der effizienzbedingten Energieeinsparungen und Energieträgersubstitutionen berechnet. Beide Größen liegen dem Prognos Industriemodell in hoher Auflösung nach Branchen, Anwendungszwecken und Energieträgern vor.

- Zugebaute Wärmepumpen und solarthermische Anlagen sowie zusätzliche Dämmung und Fernwärmeanschlüsse werden anhand von spezifischen Investitionskosten berechnet, die auch dem GHD-Sektor zugrunde liegen.
- Industrieöfen, Querschnittstechnologien (überwiegend mittel Elektromotoren betriebene Anwendungen wie Druckluft, Walzen, Förderbänder u. s. f.) sowie Geräte (IT, Bürogeräte, Beleuchtung) werden über die eingesparten Stromkosten und angenommenen Amortisationsdauern abgeschätzt.
- Für Produktionsanlagen weniger energieintensiver Grundstoffe, nämlich diejenigen der Stahlwerke, Zementwerke, Ethylen-(HVC)-Produktion und der Chlor-Alkali-Elektrolyse, sind Anlagenumstellungen sowie die spezifischen Investitionskosten der konventionellen und grünen Technologien bekannt. Diese bilden die Grundlage für die Berechnung der KSI in diesen Branchen.

Größenordnung der KSI und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

Der Bedarf an KSI im Sektor Industrie beträgt für alle berechneten Betreffnisse bis zum Jahr 2045 in Summe 523–536 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Durchschnitt entspricht dies jährlichen KSI im Umfang von rund 25 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Abbildung 11: Roadmap-Szenario und Abbildung 12: Szenario KNDE). Der Anteil der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen im Sektor Industrie liegt im Mittel der Jahre bei 13 %. Der Anteil weist eine im Zeitverlauf abnehmende Tendenz auf. Während die Bruttoanlageinvestitionen im Industriesektor im Zeitverlauf kontinuierlich ansteigen, von rund 160 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Jahr 2023 auf ca. 200 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Jahr 2045, verringern sich gleichzeitig die jährlichen KSI von 26–28 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Zeitraum 2025–2030 auf noch 23 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Zeitraum 2040–2045.

Der Großteil der KSI entfällt auf den Bereich Energie- und Ressourceneffizienztechnologien (rund 13–22 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr). Weitere rund 3–12 Mrd. Euro₂₀₂₄ fallen für Umstellung industrieller Prozesse an. Die Investitionen in beide Betreffnisse sind in den Szenarien nach dem Jahr 2030 leicht rückläufig.

Die Szenarien unterscheiden sich nur unwesentlich in Bezug auf die Höhe des Gesamtbedarfs und der Höhe der mittleren jährlichen KSI (jeweils rund 25 Mrd. Euro₂₀₂₄), es bestehen jedoch größere Unterschiede bei der Zuordnung auf die Betreffnisse. Im Roadmap-Szenario mit der starken Gewichtung der Energieeffizienz sind die KSI für Energie- und Ressourceneffizienztechnologien deutlich höher als im Szenario KNDE, gleichzeitig fallen die Investitionen für Prozessumstellen geringer aus. Investitionen in die Abscheidung von Kohlenstoff mit CCS spielen in beiden Szenarien für die Höhe der Investitionen nur eine untergeordnete Rolle. Dies hängt auch damit zusammen, dass Investitionen ins CO₂-Transportnetz und die CO₂-Speicherung nicht bei der Industrie bilanziert werden. Der Hochlauf von CCS beginnt in beiden Szenarien ab etwa 2025/2030. Eine ergänzende Auswertung zur Aufteilung der KSI im Industriesektor nach Wirtschaftsbranchen ist in Kapitel 5.3 zu finden.

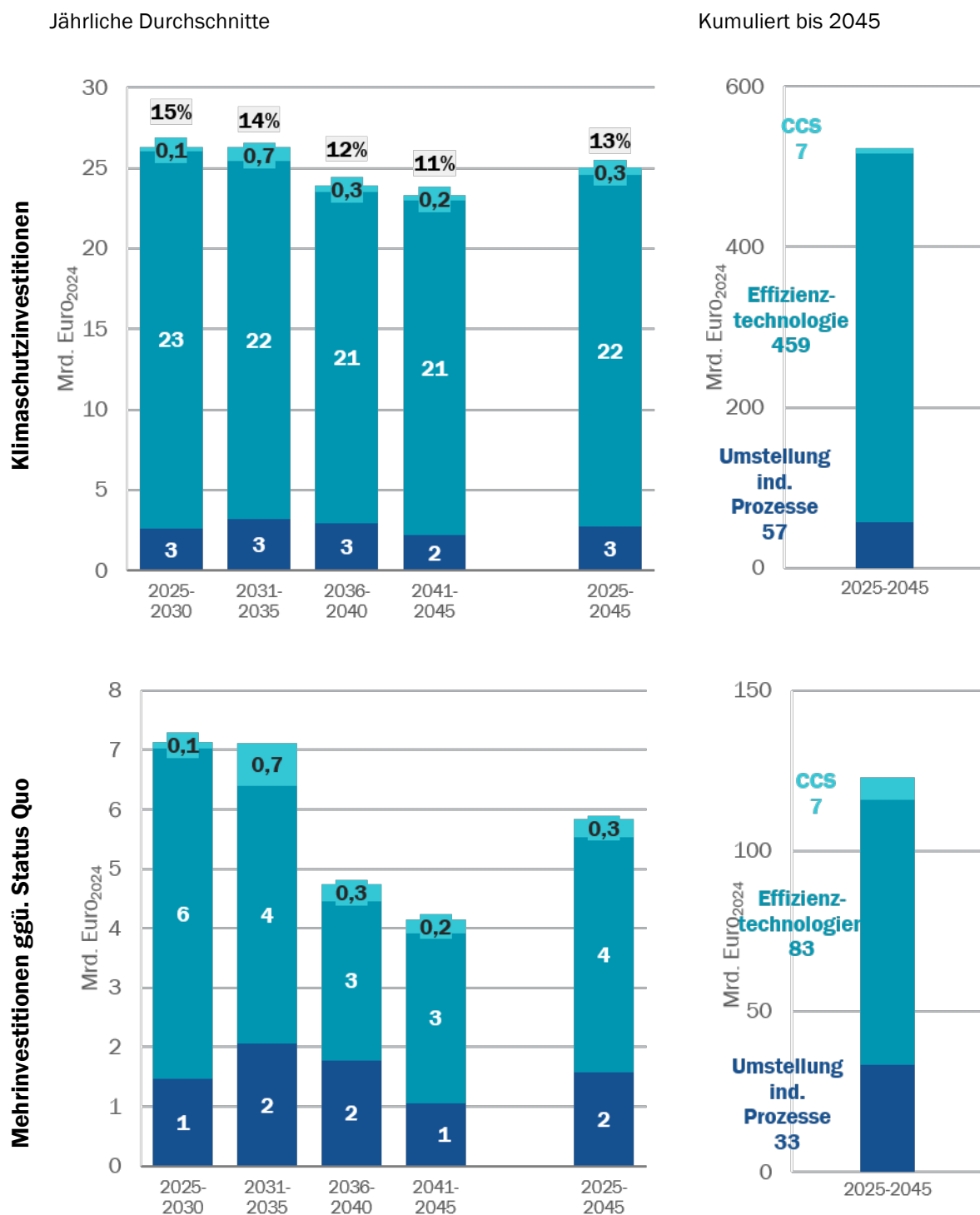
Im Mittel der Jahre 2018–2023 wurden im Sektor Industrie KSI im Umfang von rund 19 Mrd. Euro₂₀₂₄ getätigt (basierend auf den Abschätzungen in den beiden berücksichtigten Energieszenarien). In den Zielszenarien zeigen sich Mehrinvestitionen in Klimaschutz insbesondere im Zeitraum bis 2035 (vgl. untere Hälften der beiden nachfolgenden Abbildungen). Nach 2035 liegen die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo bei weniger als 5 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr. Zusätzlich sind die gesamten Investitionen in CCS. Der Großteil der zusätzlichen Investitionen gegenüber dem Status Quo ist jedoch auf die Umstellung von Prozessen sowie Maßnahmen zur Energie- und Ressourceneffizienztechnologien zurückzuführen.

Die jährlichen KSI im Sektor Industrie fallen mit durchschnittlich rund 25 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Vergleich zu den anderen betrachteten KSG-Sektoren gering aus. Gleiches gilt für die durchschnittlichen zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo (<5 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr). Dies könnte vorschnell zur Annahme führen, dass das Klimaschutzziel im Industriesektor einfach zu erreichen sei. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Betroffenheit der einzelnen Akteure im Industriesektor stark unterschiedlich ausfällt (vgl. Kapitel 5.3). Einzelne Unternehmen müssen beispielsweise sehr hohe Investitionen in neue klimafreundliche Produktionsanlagen tätigen. Da es in der deutschen Volkswirtschaft insgesamt nur wenige Unternehmen mit solchen Anlagen gibt, fällt die Gesamtinvestition aus volkswirtschaftlicher Perspektive gering aus. Anders verhält sich die Situation im Gebäudesektor, in dem beispielsweise mehrere Millionen Gebäude umgerüstet werden müssen. Da viele der industriellen Akteure im internationalen Wettbewerb stehen, können die zusätzlichen Investitionen aufgrund von Klimaschutz nicht in jedem Fall auf die Produktpreise überwältzt werden. Zudem erhöhen sich teilweise - trotz steigender

Energieeffizienz – auch die Energiekosten. Dies erhöht die Produktionskosten zusätzlich und kann gegebenenfalls die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Unternehmen schmälern. Insbesondere ist dies dann der Fall, wenn von (heute noch billigen) fossilen Energieträgern auf teurere, erneuerbare Energieträger gewechselt werden muss, beispielsweise auf Strom oder grüne Gase (Wasserstoff oder Biomethan). Zu beachten gilt es außerdem, dass mit den bereits getätigten KSI und durch den Strukturwandel die Treibhausgasemissionen im Industriesektor in den vergangenen Jahren deutlich verringert wurden. Im Zeitraum 1990 bis 2024 wurden die Treibhausgasemissionen des Industriesektors um rund 50 % reduziert (energiebedingte Emissionen und Prozessemissionen).

Abbildung 11: Bedarf an KSI im Sektor Industrie nach Betreffnissen – Szenario Roadmap

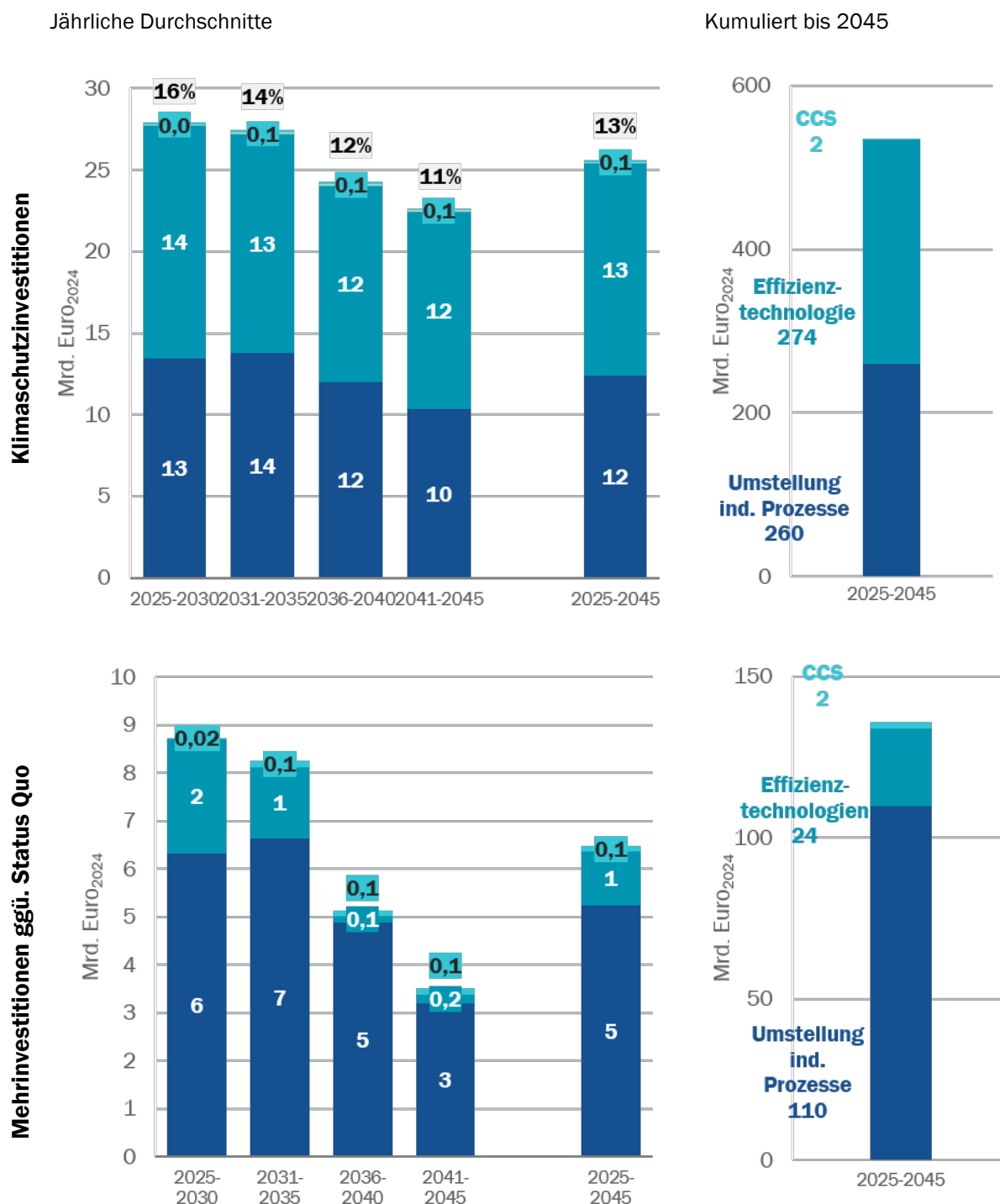
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 12: Bedarf an KSI im Sektor Industrie nach Betreffnissen – Szenario KNDE

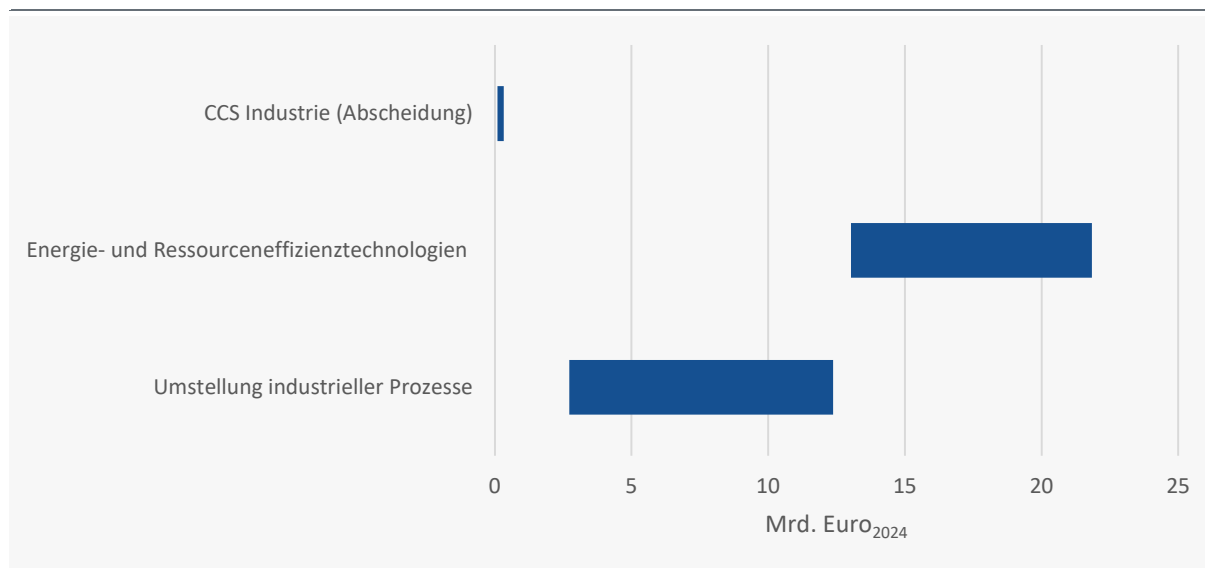
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 13: Sektor Industrie – jährliche KSI nach Betreffnis

Bandbreiten der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

4.5 Sektor Verkehr

Abgrenzung der Betreffnisse

Im Sektor Verkehr sind für die KSI alle Investitionen in Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, in die Ladeinfrastruktur und in den Ausbau des Schienennetzes relevant. Unterschieden und quantifiziert werden die folgenden Betreffnisse:

- Pkw
- Leichte Nutzverkehr (LNF)
- Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)
- Ladeinfrastruktur
- Öffentlicher Privater Nahverkehr (ÖPNV)
- Schieneninfrastruktur (SPFV, SGV)
- Züge

Die Bereiche Pkw, LNF und SNF umfassen Investitionen in Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb (BEV), mit Plug-in-Hybrid-Antrieb (PHEV) und mit Wasserstoffantrieb (FCEV). Unter dem Betreffnis Ladeinfrastruktur werden Investitionen in Ladestationen für Elektrofahrzeuge sowie Ladestationen für Wasserstoff zusammengefasst.

Beim ÖPNV, der Schieneninfrastruktur sowie den Zügen werden nur jene Investitionen als KSI betrachtet, die zum Ausbau, bzw. zur Erweiterung der Infrastruktur bzw. des Fahrzeugbestands beitragen. Dem Betreffnis ÖPNV werden vor allem Investitionen in Busse und den Schienen-Personennahverkehr (SPNV) zugerechnet.

Größenordnung der KSI und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

Der Bedarf an KSI im Sektor Verkehr beläuft sich in den drei betrachteten Zielszenarien bis zum Jahr 2045 in Summe auf 2.629–2.871 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Mittel der Jahre 2025-2045 entspricht dies KSI im Umfang von 125-137 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr. Die KSI im Verkehrssektor sind damit deutlich höher als in den anderen Sektoren. Der Anteil der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen im Sektor Verkehr liegt im Mittel der Jahre bei annähernd 70 %.

Die Übereinstimmung zwischen den drei Szenarien in Bezug auf den Investitionsbedarf und die Struktur der Investitionen ist hoch. In allen Szenarien steigt der Bedarf im Zeitverlauf an. Das Maximum der jährlichen KSI wird im Zeitraum 2030-2035 erreicht, danach nehmen die jährlichen KSI wieder leicht ab, verbleiben jedoch auch 2045 über dem Niveau der Jahre 2018-2023 von rund 25 Mrd. Euro₂₀₂₄ jährlich (vgl. Abbildung 3).

Der Großteil der KSI (rund 70 %) entfällt auf die Pkw. Bis zum Jahr 2045 sind dies je nach Szenario 1.808-2.010 Mrd. Euro₂₀₂₄. Ein Großteil dieser Investitionen würde jedoch auch ohne Klimaschutz anfallen, da dann Pkw mit Verbrennungsmotoren anstelle von E-Pkw gekauft würden, welche in etwa ähnlich teuer oder langfristig sogar teurer sind als E-Pkw (vgl. dazu auch Kapitel 4.8.3 zu den Klimaschutz-Netto-Investitionen). Aufgrund der zu erwartenden starken Kostenreduktionen bei Batterien und batterieelektrischen Fahrzeugen (die auch insgesamt vor allem im mechanischen Antriebsstrang weniger aufwändig sind), wird angenommen, dass die Anschaffungskosten für E-Pkw ab etwa 2035 tiefer sind als für Verbrennungsmotoren. Die Kostendegression bei den E-Pkw ist ein Grund für die ab etwa 2035 wieder leicht abnehmenden KSI.

Neben den Investitionen in Fahrzeuge sind in den Zielszenarien auch für den Aufbau der Ladeinfrastruktur (hauptsächlich Strom, aber auch Wasserstoff) erhebliche Investitionen notwendig. Die kumulierten Bedarfe bis zum Jahr 2045 liegen bei rund 200-340 Mrd. Euro₂₀₂₄.

Die Investitionen in den Ausbau des Schienenverkehrs variieren zwischen den Szenarien, in Abhängigkeit vom vorgesehenen Modal-Split und dem Umfang der Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene. Am höchsten ist der Bedarf im Szenario KNDE mit 67 Mrd. Euro₂₀₂₄ bis 2045 (Roadmap und LFS: 12-25 Mrd. Euro₂₀₂₄). Der deutlich höhere Investitionsbedarf im Szenario KNDE ist hauptsächlich auf die im Vergleich zu den anderen Szenarien stärkere Verlagerung von Verkehr auf die Schiene zurückzuführen. Angaben zu Investitionen in Züge liegen nur für das Szenario KNDE vor, diese werden mit knapp 30 Mrd. Euro₂₀₂₄ beziffert.

In früheren Szenarien war teilweise auch ein Ausbau von Autobahnen mit Oberleitungen vorgesehen. Diese Technologie wird aktuell nicht mehr als wahrscheinlich gesehen. In keinem der drei berücksichtigten Zielszenarien wird diese Infrastruktur aufgebaut. Entsprechend fallen dazu keine Investitionen an.

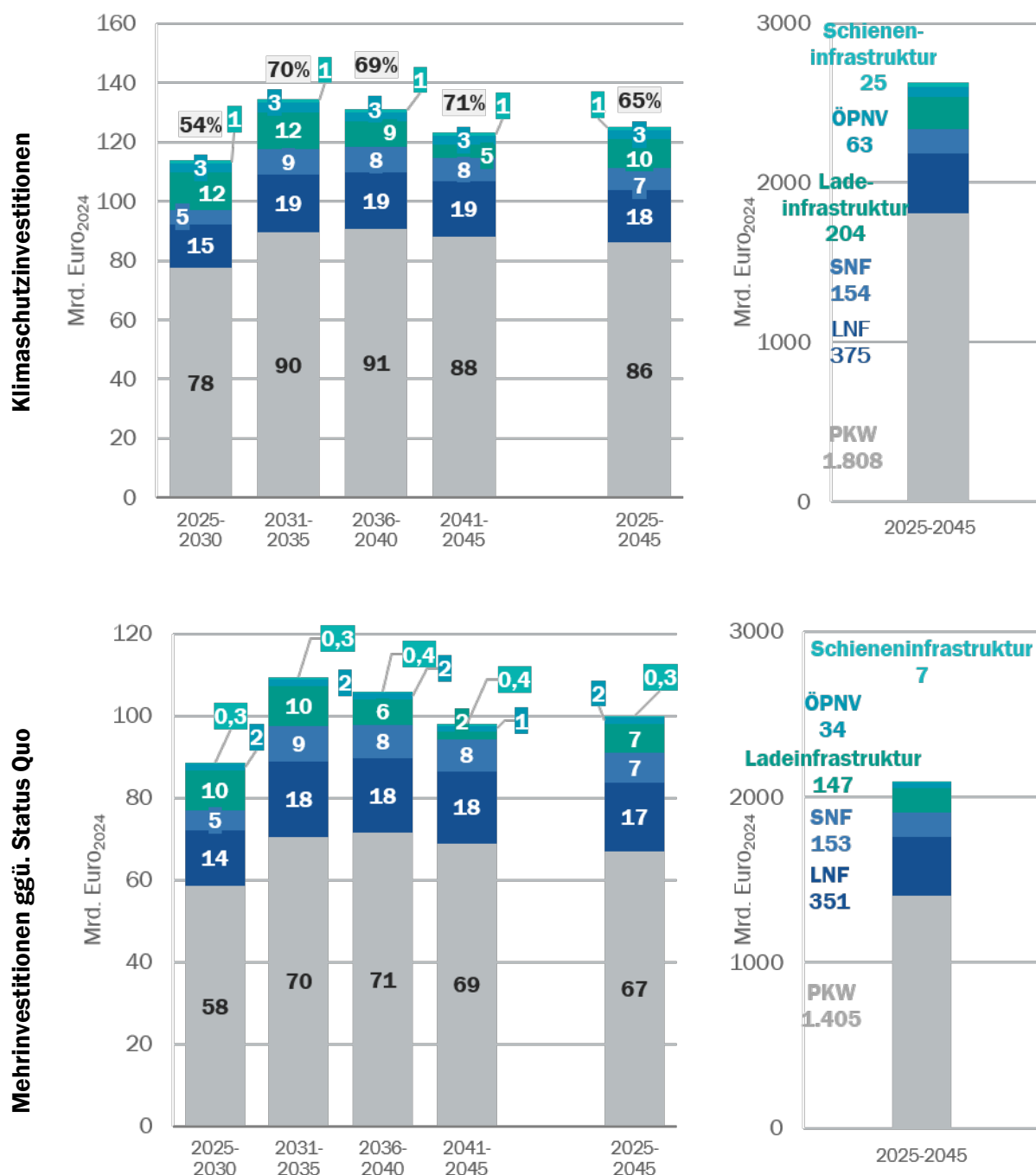
Die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo sind hoch und liegen bei jährlich rund 90-125 Mrd. Euro₂₀₂₄ (untere Hälften der nachfolgenden Abbildungen). Die zusätzlichen KSI entfallen hauptsächlich auf die Pkw, bei denen die Absätze an E-Pkw im Zeitverlauf stark zunehmen – zukünftig werden in den Zielszenarien (fast) ausschließlich E-Pkw verkauft. Auch die KSI in neue Nutzfahrzeuge (LNF, SNF) und in den Ausbau der Ladeinfrastruktur sind überwiegend zusätzlich im Vergleich zum Status Quo. Insgesamt sind rund 80 % der KSI im Sektor Verkehr zusätzliche Investitionen im Vergleich zu den KSI im Status Quo.

Abbildung 14: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – Szenario Roadmap

Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern

Jährliche Durchschnitte

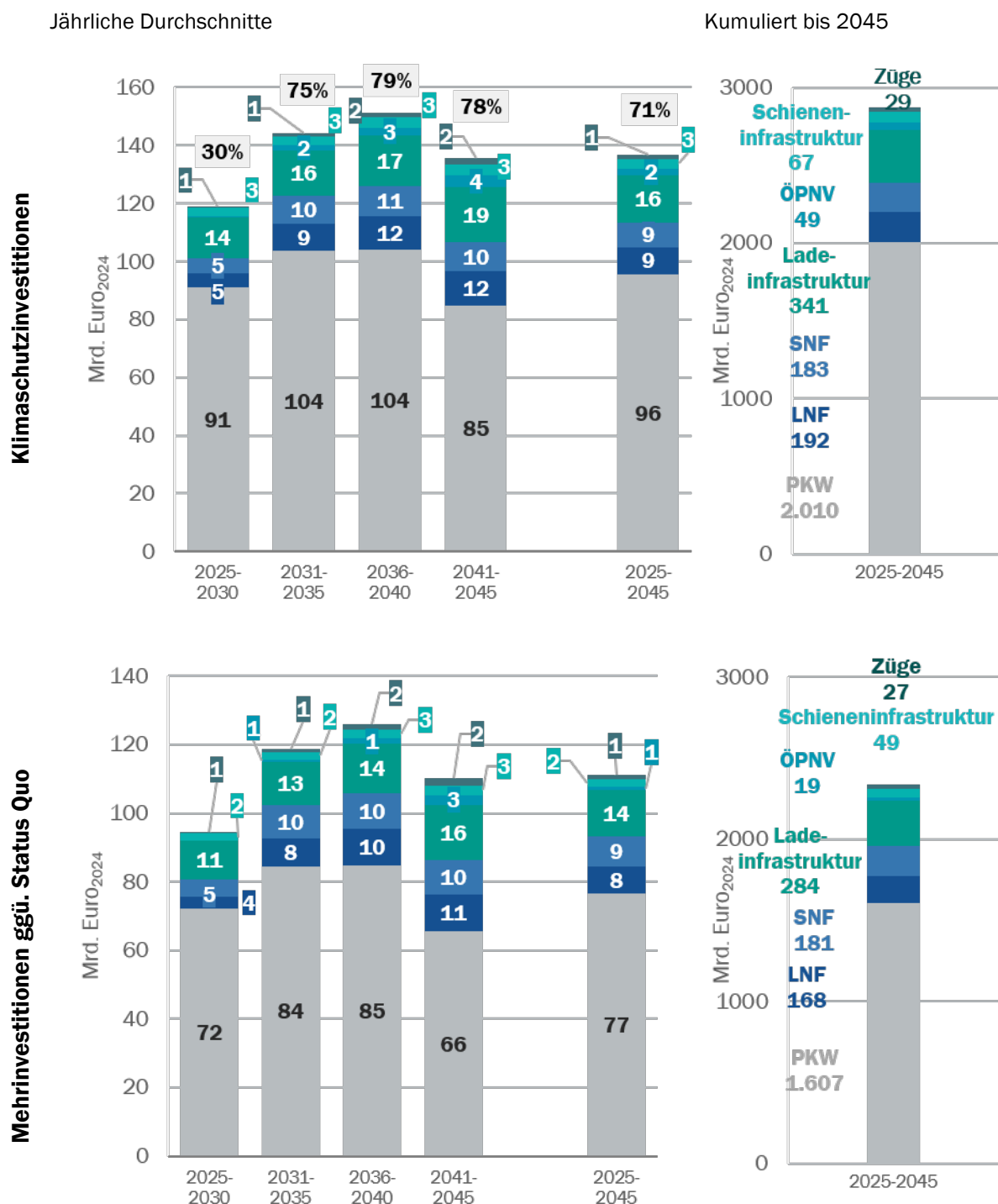
Kumuliert bis 2045



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 15: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – Szenario KNDE

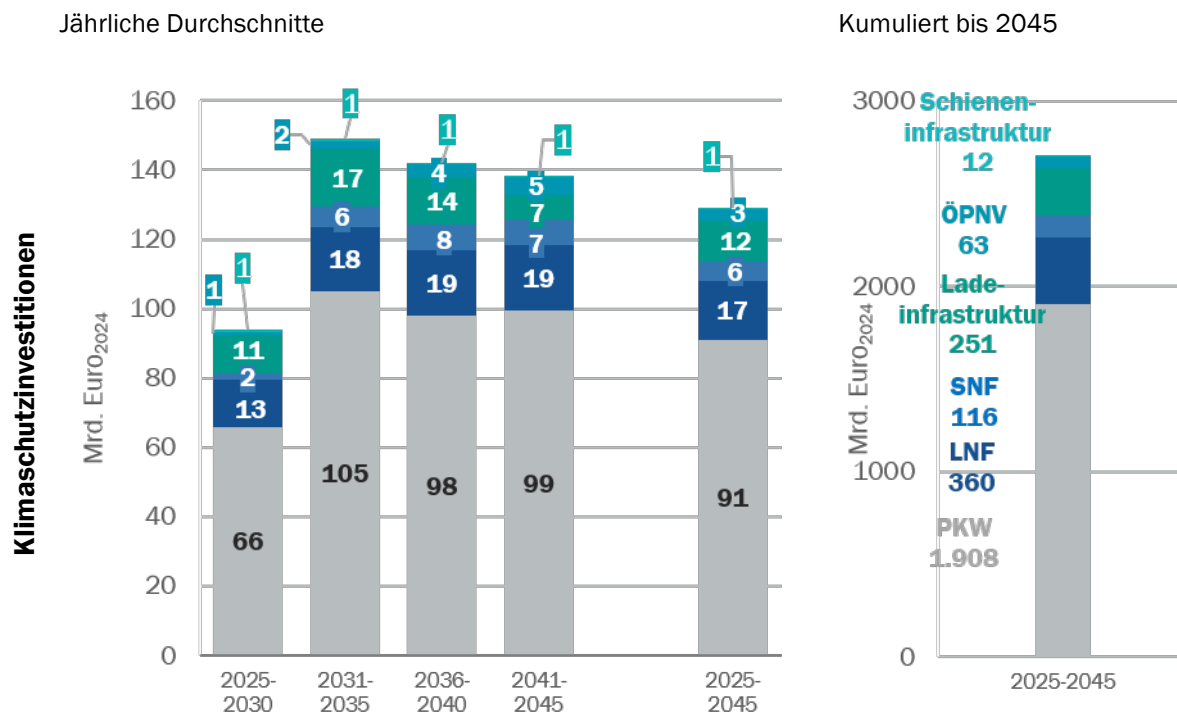
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 16: Bedarf an KSI im Sektor Verkehr nach Betreffnissen – LFS

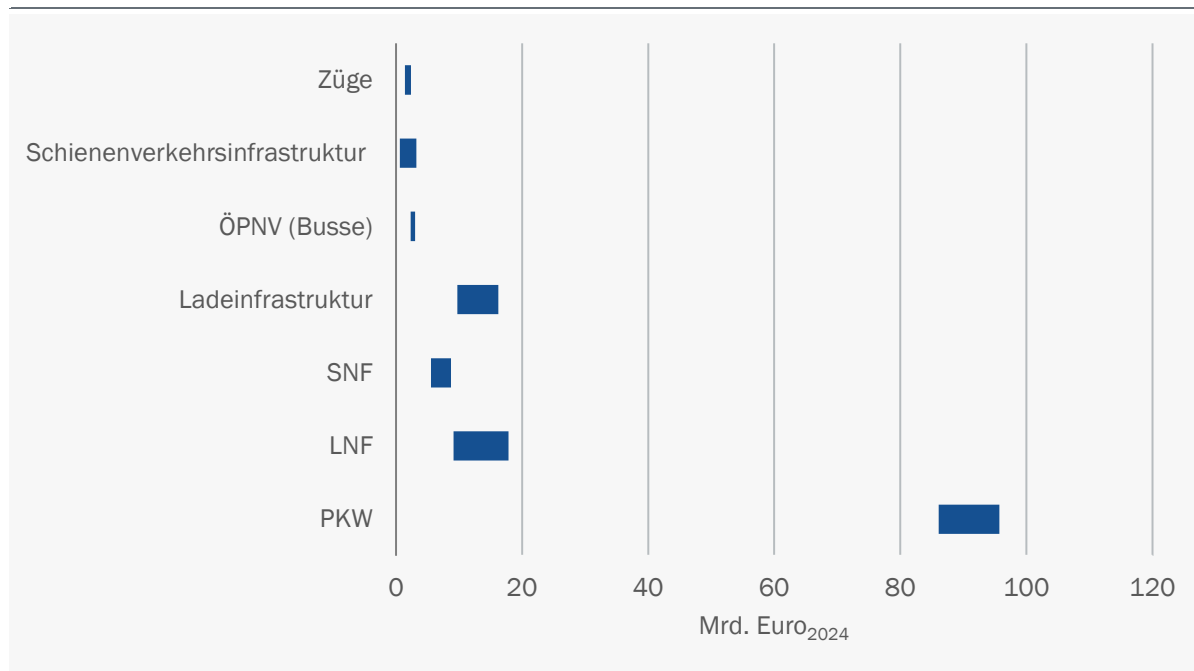
Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoinvestitionen in Klammern



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 17: Sektor Verkehr – jährliche KSI nach Betreffnis

Bandbreiten der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

4.6 Sektor Energie

Abgrenzung der Betreffnisse

Im Sektor Energie werden alle Investitionen in Erneuerbare-Energien-Anlagen, ins Stromnetz, in Fernwärmesysteme, Heimspeicher sowie zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen für Wasserstoff und CO₂ den KSI zugerechnet. Im Rahmen dieser Studie werden folgende Betreffnisse erfasst und den KSI zugerechnet:

- EE-Anlagen zur Stromerzeugung (darunter PV-Auf-Dach, PV-Freifläche, Wind off-shore, Wind-on-shore, Biomasse und Gasturbinen mit Wasserstoff)
- Stromnetze
- Batteriespeicher
- H₂-Elektrolyseure
- H₂-Netze (inkl. Speicher)
- Fernwärmesysteme
- CCS-Anlagen (Abscheidung)
- CO₂-Netze und Speicher

Bei den Stromnetzen wird die Berechnung der Investitionen teilweise nach Übertragungsnetzen und Verteilnetzen unterschieden. Als KSI wird lediglich der Netzausbau betrachtet, ohne die Investitionen in die Instandhaltung der bestehenden Netze. Der Bereich Fernwärme umfasst sowohl den Ausbau der Wärmnetze als auch die Umstellung der Wärmeerzeugung (EE-Wärme). Für die Darstellung werden die Betreffnisse für eine bessere Übersicht teilweise zusammengefasst.

Größenordnung der KSI und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo

Im Sektor Energie, dem hier auch die Energieinfrastrukturen zugerechnet werden, beläuft sich der Bedarf an KSI bis zum Jahr 2045 in Summe auf 1.323–1.791 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dies entspricht mittleren jährlichen KSI in der Höhe von 63-85 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr. Dabei gilt es zu beachten, dass für die LFS nicht für alle Betreffnisse Abschätzungen zu den Investitionen vorliegen und deshalb der Umfang der KSI in diesem Szenario unterschätzt werden dürfte. Am geringsten fällt der Investitionsbedarf im Roadmap-Szenario an. Dies ist das Szenario mit der geringsten Stromnachfrage und entsprechend auch einem geringeren Ausbau der EE-Stromproduktion.

Fast alle in den Zielszenarien im Sektor Energie getätigten Investitionen sind KSI. Der Anteil der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen im Sektor Energie liegt bei 98 % (in allen Szenarien).

Die Übereinstimmung zwischen den berücksichtigten Szenarien in Bezug auf den gesamten Bedarf an KSI ist hoch. Unterschiede zeigen sich bei der Struktur. Im Szenario KNDE und im Roadmap-Szenario erreichen die KSI im Zeitraum 2030-2035 den Höhepunkt und nehmen dann wieder kontinuierlich ab. Im Roadmap-Szenario liegen sie 2040-2045 wieder auf dem Niveau der Jahre 2018-2023 (Abbildung 18), im Szenario KNDE bleiben sie leicht über dem aktuellen Investitionsniveau (Abbildung 19). In den LFS wird das Maximum an KSI bereits in der Periode 2025-2030 erreicht (Abbildung 20).

Die Stromnetze sind in Bezug auf die Investitionen das wichtigste Betreffnis. In den Szenarien entfallen bis zum Jahr 2045 kumulierte Investitionen in Stromnetze (Verteilung und Übertragung) im Umfang von 452-781 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Abbildung 21). Im Jahresmittel entspricht dies Investitionen von 22-37 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Abbildung 22). Am höchsten ist der Bedarf in den LFS. Dies könnte auch damit zusammenhängen, dass in diesem Szenario die Netze explizit modelliert wurden und dadurch der Bedarf besser abgeschätzt werden konnte. Rund 55 % der Investitionen entfallen auf die Übertragungsnetze und etwa 45 % auf die Verteilnetze (bezogen auf den Zeitraum 2025 bis 2045).

Auch der Ausbau der EE-Stromerzeugung erfordert im Zeitraum 2025-2045 umfangreiche Investitionen. Für Windenergieanlagen sind es rund 382-431 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Summe off-shore und on-shore), für Photovoltaik-Anlagen 210-372 Mrd. Euro₂₀₂₄ (Summe Auf-Dach-PV und Freiflächen-PV). Die Relevanz von Biomasseanlagen und Wasserstoffkraftwerken ist geringer, in Summe fallen aber auch für diese Technologien rund 51-108 Mrd. Euro₂₀₂₄ an. Für den Ausbau der Fernwärme (Netze, Erzeugung, Wärmespeicher) ergibt sich bis zum Jahr 2045 ein Investitionsbedarf von rund 69-97 Mrd. Euro₂₀₂₄. Die CO₂-Infrastruktur ist wichtig für die Erreichung des Netto-Null-Ziels, die erforderlichen Investitionen sind jedoch im Vergleich zu den übrigen Betreffnissen von untergeordneter Bedeutung (insgesamt ca. 27-51 Mrd. Euro₂₀₂₄).

Im Sektor Energie liegen die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo insgesamt bei 36-51 Mrd. Euro₂₀₂₄ pro Jahr (untere Hälften der nachfolgenden Abbildungen). Mit dem Abflachen des EE-Zubaus nach 2035 nimmt die Differenz deutlich ab und fällt im Roadmap-Szenario bis 2045 gegen null. Die zusätzlichen KSI gegenüber dem Status Quo entfallen hauptsächlich auf die Stromnetze und die EE-Produktion (Wind, PV). In den vergangenen Jahren wurden noch keine, oder zumindest keine wesentlichen Investitionen in die CO₂-Infrastruktur und erst geringe Investitionen in die Wasserstoffinfrastruktur getätigt. Investitionen in diese Betreffnisse sind überwiegend als zusätzliche Investitionen anzusehen (im Vergleich zum Status Quo). Insgesamt sind rund 60-65 % der KSI zusätzliche Investitionen im Vergleich zu den KSI im Status Quo.

Abbildung 18: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen –Roadmap-Szenario

Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume,
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern

Jährliche Durchschnitt

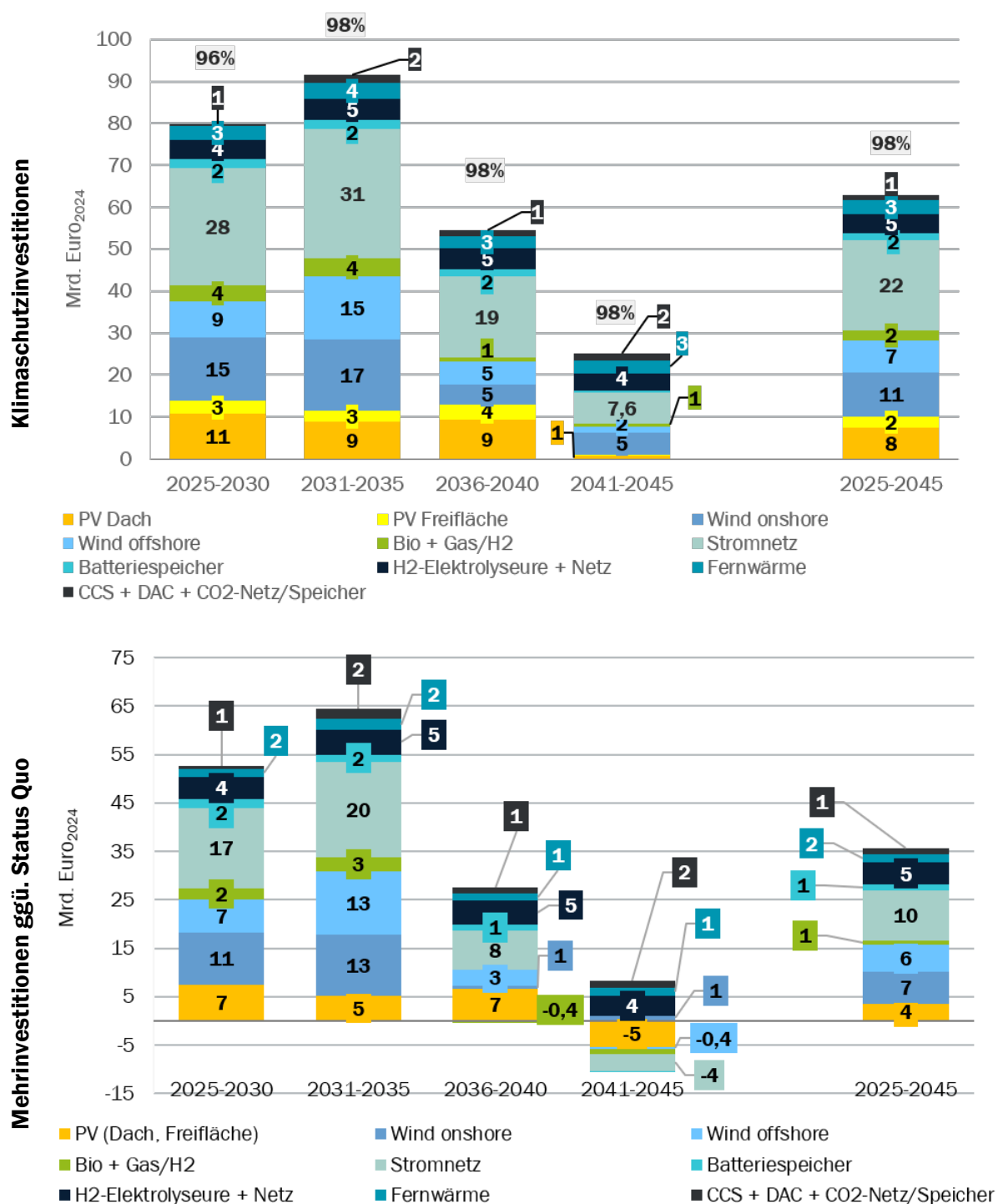


Abbildung 19: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen – Szenario KNDE

Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern

Jährliche Durchschnitt

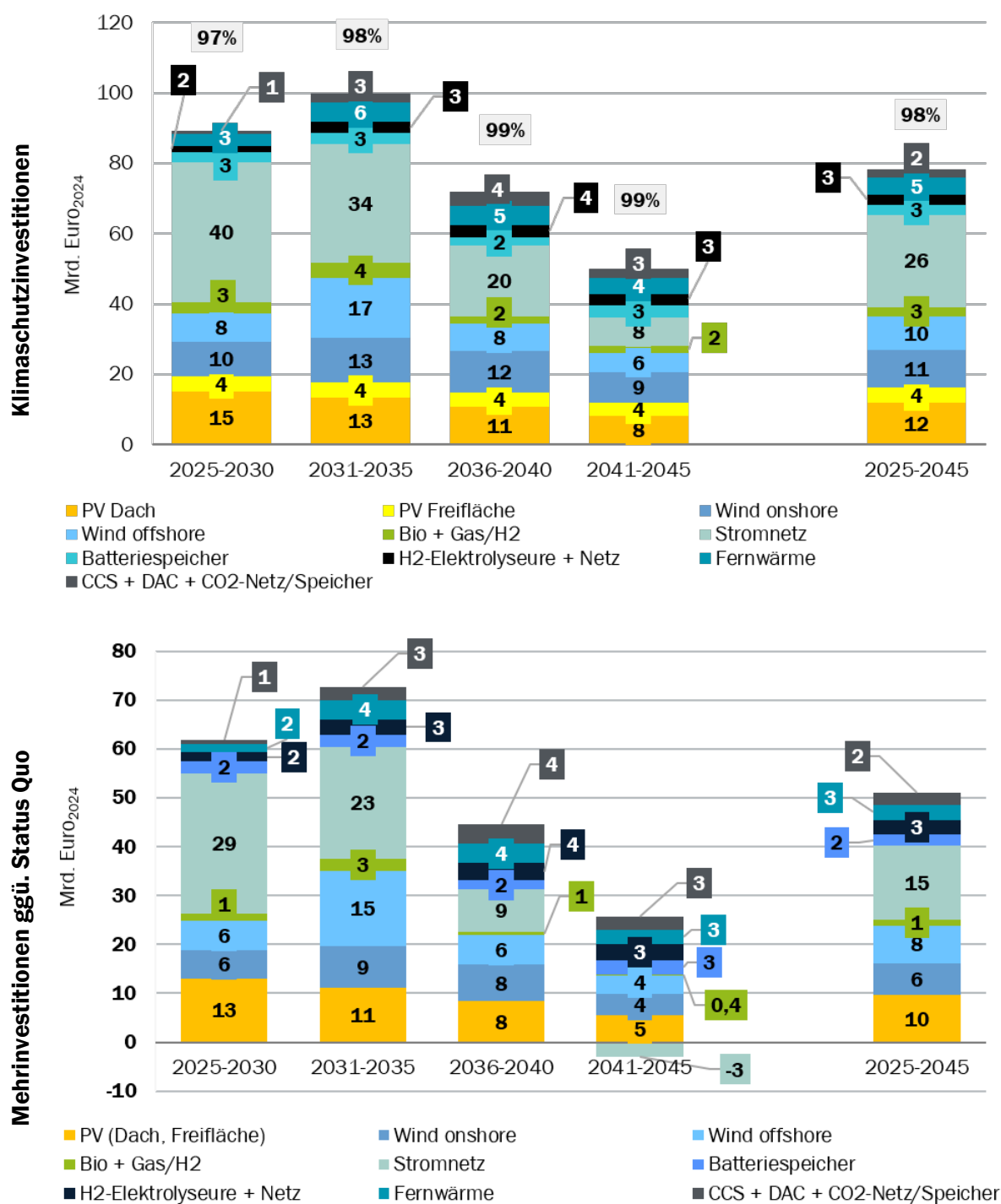
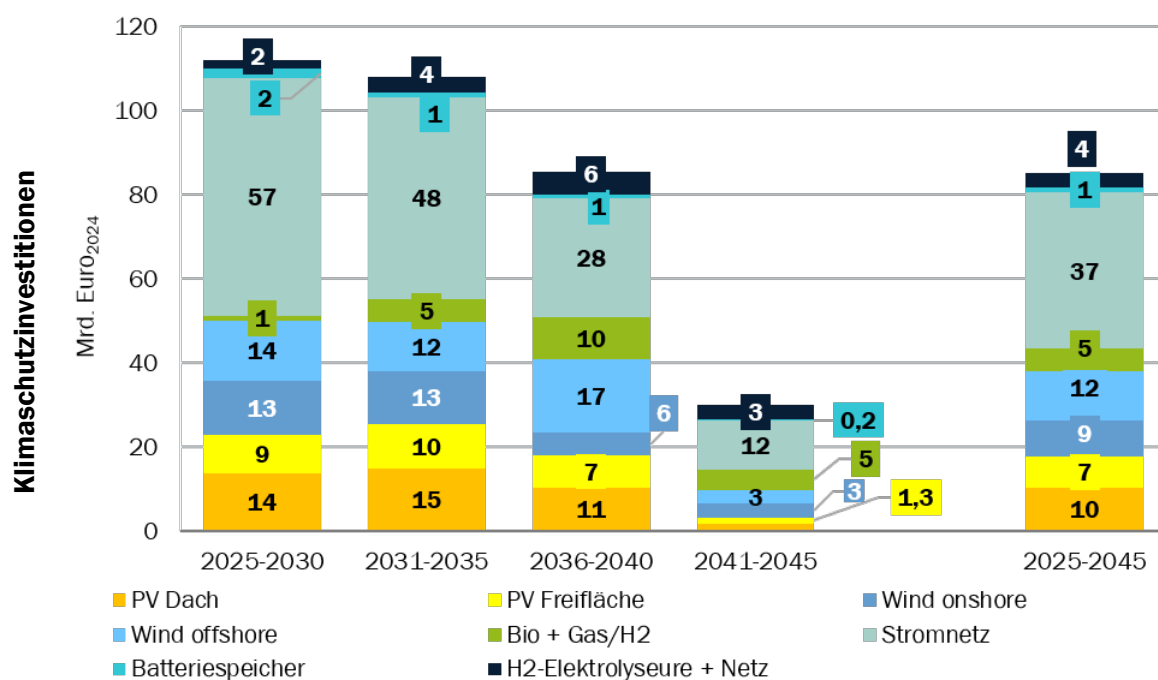


Abbildung 20: Bedarf an KSI im Energiesektor nach Betreffnissen – LFS

Klimaschutzinvestitionen (oben) und Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo (unten),
im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2040 (rechts),
in Mrd. Euro (real) und als Anteil an den jeweiligen Bruttoanlageinvestitionen in Klammern

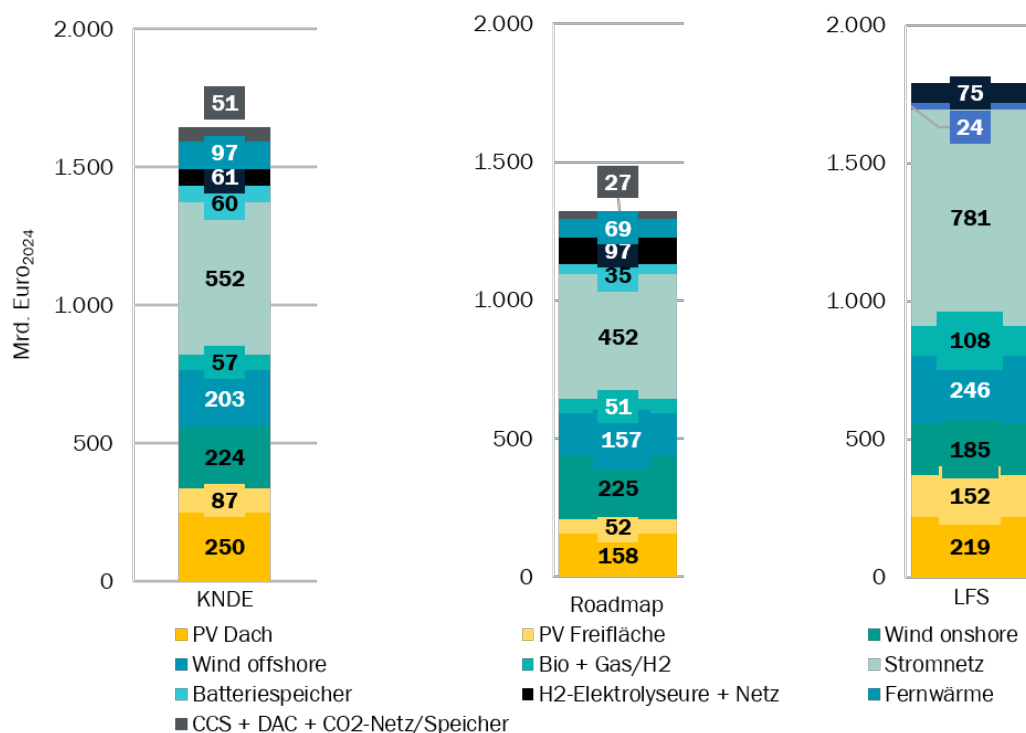
Jährliche Durchschnitt



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 21: Sektor Energie – kumulierte KSI nach Betreffnis

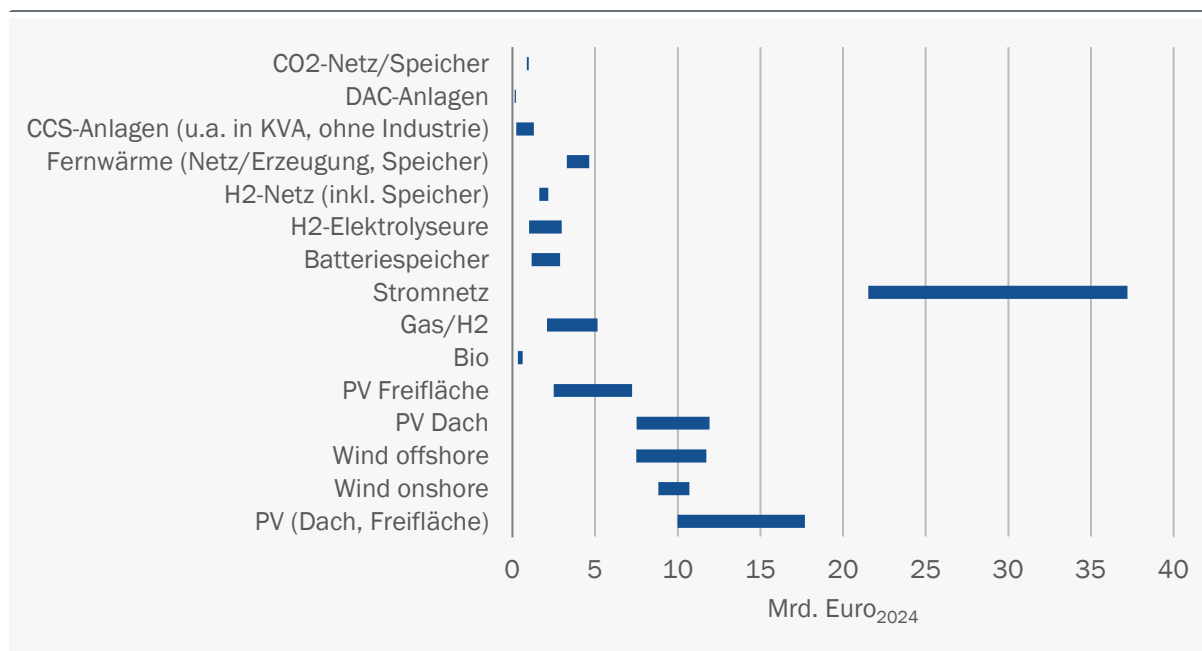
Zeitraum 2025-2045; Vergleich der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 22: Sektor Energie – jährliche KSI nach Betreffnis

Bandbreiten der Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Berechnungen

4.7 Energie- und klimaschutzrelevante Infrastruktur

Abgrenzung der Betreffnisse

Innerhalb der energie- und klimaschutzrelevanten Infrastruktur werden alle Investitionen berücksichtigt, die besonders relevant für das Energiesystem und den Klimaschutz sind. In diesem Kapitel werden die Energie-Infrastrukturinvestitionen, welche bereits in Abschnitt 4.5 und 4.6 aufgelistet sind, nochmals gesondert zusammengefasst. Folgende Betreffnisse werden in dieser Studie der Energie-Infrastruktur zugeordnet:

- Ladeinfrastruktur (umfasst Strom und H₂)
- CO₂-Netze und Speicher
- Fernwärme
- H₂-Netze und Speicher
- Stromnetze
- Schienenverkehrsinfrastruktur

Viele dieser Infrastrukturen liegen in Besitz der öffentlichen Hand. Da am Aufbau und dem Betrieb der Ladeinfrastruktur aber auch ein großer Anteil privater Akteure beteiligt ist, ist in diesem Kapitel nicht die Rede von (rein) öffentlicher Infrastruktur.

Größenordnung der KSI

Im Zeitraum 2018 bis 2023 (Status Quo) wurden im Jahresmittel rund 17 Mrd. Euro₂₀₂₄ in die oben aufgeführten Infrastrukturen investiert. Rund zwei Drittel davon wurde für die Instandhaltung und Erweiterung der Stromnetzte aufgewendet. Für den Aufbau der Ladeinfrastruktur wurden im Mittel der Jahre 2018 bis 2023 knapp 3 Mrd. Euro₂₀₂₄ investiert. In den Ausbau der Fernwärmenetze und die Umstellung der Wärmeerzeugung wurden jährlich etwa 1,5 Mrd. Euro₂₀₂₄ investiert, in die Erweiterung der Schieneninfrastruktur etwa 1 Mrd. Euro₂₀₂₄. Investitionen in die Wasserstoff- und CO₂-Infrastruktur waren in diesen Zeitraum noch nicht relevant.

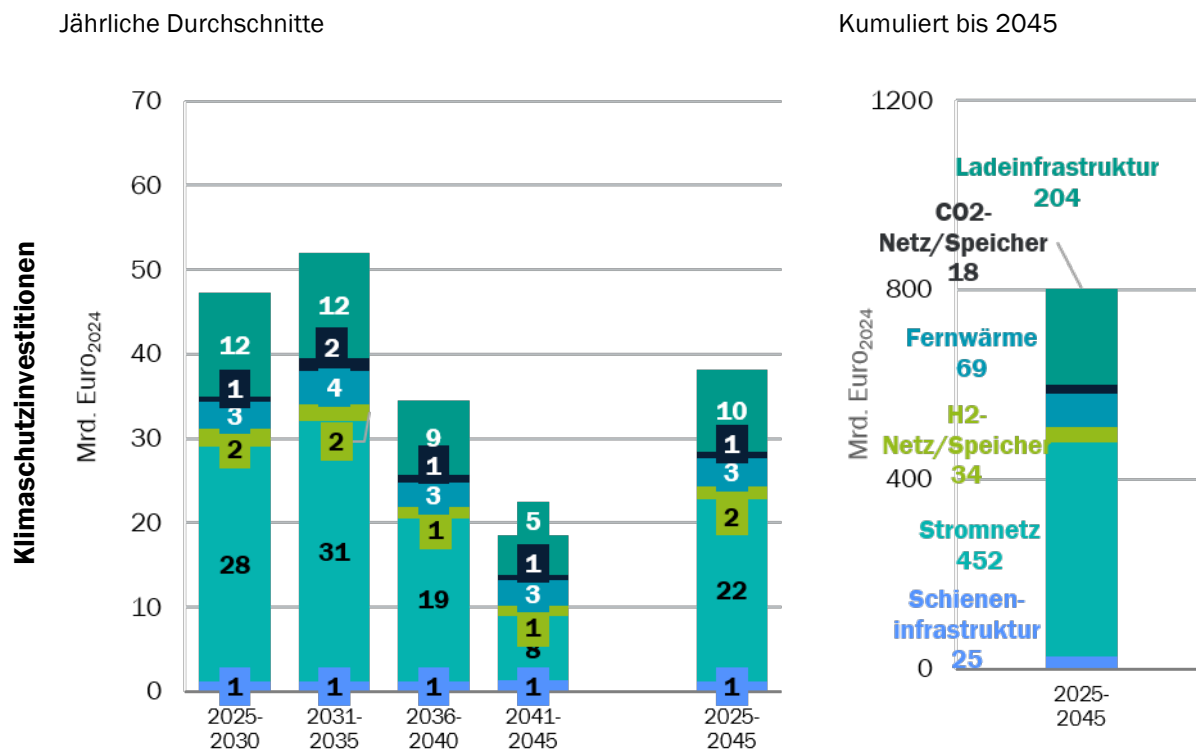
Die KSI für die Energie-Infrastruktur belaufen sich im Zeitraum 2025 bis 2045 in Summe auf 802-1.119 Mrd. Euro₂₀₂₄. Das entspricht im Mittel jährlichen KSI von 38-46 Mrd. Euro₂₀₂₄. Es ist zu beachten, dass in dieser Abschätzung lediglich die Szenarien Roadmap und KNDE berücksichtigt wurden.

Im Szenario Roadmap fallen die meisten KSI auf die Zeiträume 2025- 2035. Die Zeiträume danach sind von sinkenden Investitionen geprägt. Hauptbestandteil der KSI sind die Stromnetze, gefolgt von der Ladeinfrastruktur (Abbildung 23).

Die Mehrinvestitionen gegenüber dem Status quo folgen diesem Trend. Der größte Anteil entfällt über den gesamten Zeitraum auf die Stromnetze mit 10 Mrd. Euro₂₀₂₄ und die Ladeinfrastruktur mit 7 Mrd. Euro₂₀₂₄. Die Mehrinvestitionen für Stromnetze gegenüber dem Status Quo erreichen zwischen 2031 und 2035 mit 20 Mrd. Euro₂₀₂₄ ihren Höchststand. H₂-Netze inkl. Speicher sowie Fernwärme weisen eine jährliche Mehrinvestitionen über den gesamten Betrachtungszeitraum von 2 Mrd. Euro₂₀₂₄ auf. Für CO₂-Netze und Speicher ergeben sich im Mittel jährliche Mehrinvestitionen von 1 Mrd. Euro₂₀₂₄, und auch auf die Schienenverkehrsinfrastruktur zeigen sich im Vergleich zum Status Quo jährliche Mehrinvestitionen von weniger als 1 Mrd. Euro₂₀₂₄.

Abbildung 23: Bedarf an KSI für Energie-Infrastruktur – Szenario Roadmap

Klimaschutzinvestitionen im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts), in Mrd. Euro (real)



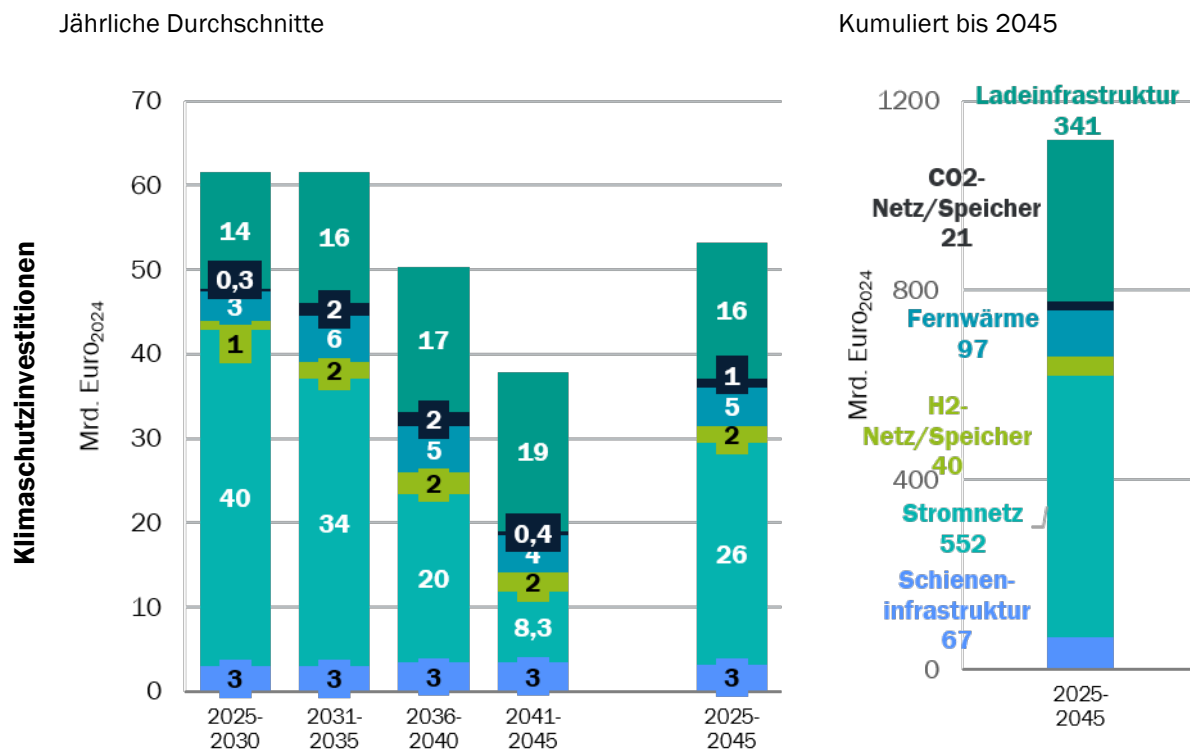
Quelle: Eigene Berechnungen

Im Vergleich zum Roadmap Szenario fallen die KSI für Energie- und Klimaschutzrelevante Infrastrukturen im Szenario KNDE höher aus. Auch im Szenario KNDE zeigt sich der gleiche Trend wie im Szenario Roadmap: Bis 2035 steigen die KSI, danach gehen die Investitionen zurück. Stromnetze und Ladeinfrastruktur machen ebenfalls den größten Anteil über den Zeitverlauf aus (Abbildung 24).

Ähnliches gilt auch für die Mehrinvestitionen im Verhältnis zum Status Quo. Stromnetze mit 15 Mrd. Euro₂₀₂₄ und Ladeinfrastruktur mit 14 Mrd. Euro₂₀₂₄ weisen die höchsten jährlichen Mehrinvestitionen über den gesamten Zeitraum auf. Die Mehrinvestitionen in das Stromnetz sind zu Beginn (2025-2030) mit 29 Mrd. Euro₂₀₂₄ sehr hoch, sinken über den Zeitverlauf ab und liegen langfristig sogar leicht unter dem Niveau des Status Quo (-3 Mrd. Euro₂₀₂₄). Die jährlichen Mehrinvestitionen für Schieneninfrastruktur und H₂-Netze/Speicher liegen im Mittel bei 2 Mrd. Euro₂₀₂₄, bei der Fernwärme bei 3 Mrd. Euro₂₀₂₄. Die Mittelwerte der Investitionen dieser drei Betreffnisse schwanken über die Zeiträume kaum und bleiben sehr konstant.

Abbildung 24: Bedarf an KSI für Energie-Infrastruktur – Szenario KNDE

Klimaschutzinvestitionen im jährlichen Durchschnitt über verschiedene Zeiträume (links) sowie als kumulierte Summen bis 2045 (rechts), in Mrd. Euro (real)



Quelle: Eigene Berechnungen

4.8 Vergleich der Investitionsbedarfe in den Sektoren

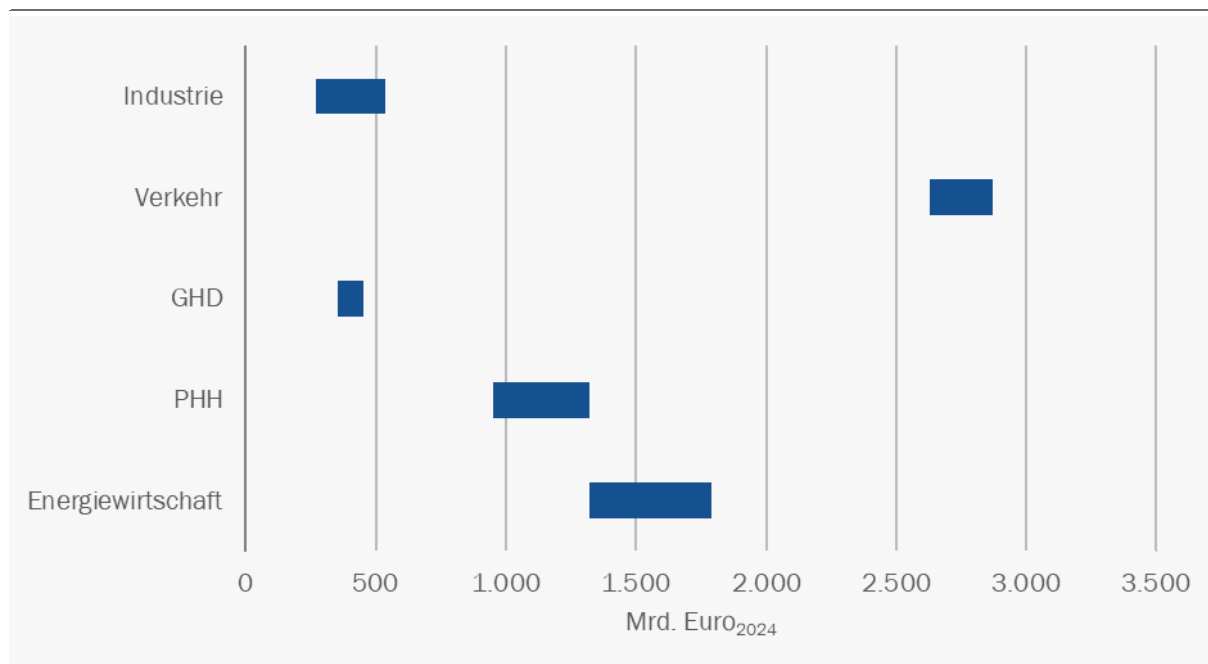
4.8.1 Szenarienvergleich - Gesamtergebnisse nach Sektoren

Der eruierte Bedarf an KSI unterscheidet sich in allen Szenarien deutlich zwischen den Sektoren (Abbildung 25). Am höchsten ist der Bedarf im Verkehrssektor, was im Wesentlichen auf die Anschaffung von Pkw mit alternativen Antrieben zurückzuführen ist. Insgesamt ergibt sich im Sektor Verkehr ein Bedarf an KSI in der Größenordnung von 2.629-2.871 Mrd. Euro₂₀₂₄. Hohe Bedarfe zeigen sich auch im Sektor Energie (1.323-1.791 Mrd. Euro₂₀₂₄) sowie bei den Privaten Haushalten (952-1.322 Mrd. Euro₂₀₂₄). In den Sektoren Industrie (268-536 Mrd. Euro₂₀₂₄) und GHD (355-450 Mrd. Euro₂₀₂₄) ist der Investitionsbedarf deutlich geringer.¹¹

¹¹ Der untere Rand im Sektor Industrie wird durch das Szenario Technologiemix der Ariadne Studie 2025 gebildet, welche bei diesem Vergleich mitberücksichtigt wurde.

Abbildung 25: Szenarienvergleich: Bandbreiten der KSI in den Sektoren

kumulierte Investitionen im Zeitraum 2025-2045, in Mrd. Euro₂₀₂₄

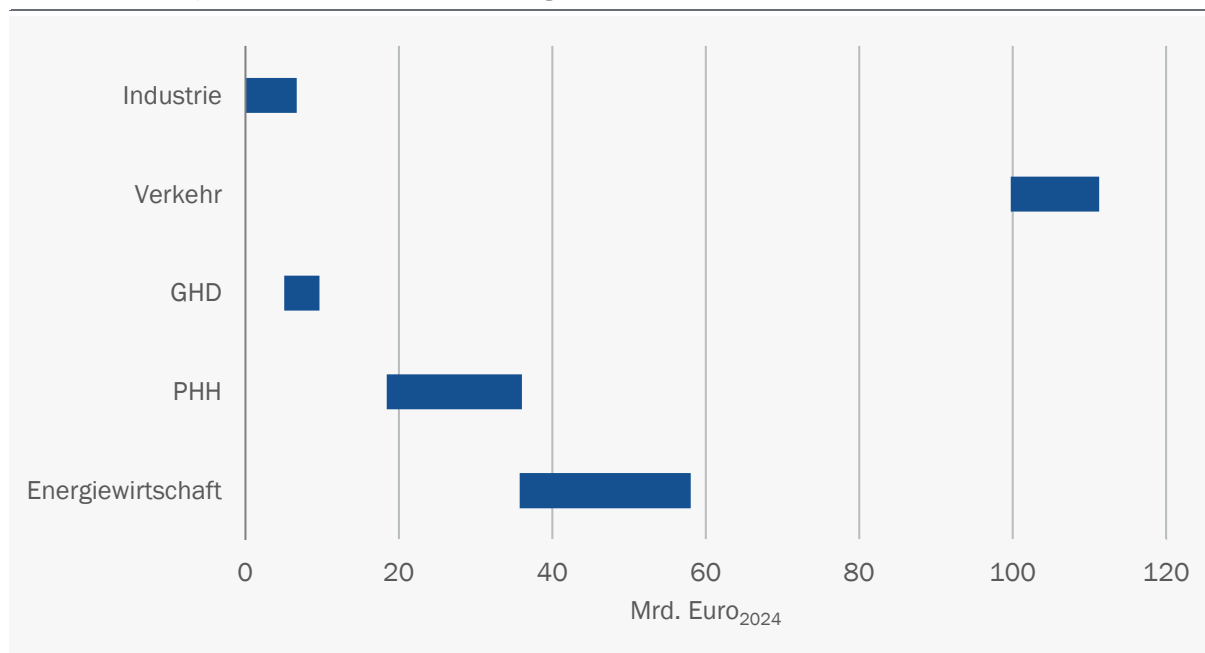


Quelle Eigene Berechnungen

Die Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo sind in Abbildung 26 dargestellt. Am höchsten ist der zusätzliche jährliche Bedarf an KSI im Verkehrssektor, mit rund 100-110 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dieser ergibt sich überwiegend durch Investitionen in Elektro-Pkw. Diesen Investitionen steht eine Abnahme an Investitionen in konventionelle Pkw gegenüber, welche bei den hier dargestellten Bruttowerten der KSI nicht berücksichtigt ist. Am geringsten fallen die Mehrinvestitionen gegenüber dem Status Quo im Sektor Industrie aus, hier liegen sie bei jährlich rund 5 Mrd. Euro₂₀₂₄. In Summe über alle Sektoren ergeben sich gegenüber dem Status Quo zusätzliche jährliche KSI in der Höhe von rund 160-220 Mrd. Euro₂₀₂₄.

Abbildung 26: Szenarienvergleich: Bandbreiten der zusätzlichen KSI in den Sektoren

durchschnittliche jährliche Mehrinvestitionen im Vergleich zum Status Quo, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle Eigene Berechnungen

In Abbildung 27 sind die im Zeitraum 2025-2045 kumulierten Investitionen nach Szenarien und Sektoren dargestellt. Ergänzend zu den drei im Detail ausgewerteten Zielszenarien sind die Ergebnisse der Vorgängerstudie (KfW1; Prognos, Nextra Consulting, NKL, 2021) sowie ein aktuelles Ariadne-Szenario (Luderer et al. 2025) ausgewiesen. Für die LFS konnten für den Industriesektor keine Investitionen ermittelt werden. Für eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Szenarien wurde hierfür der Mittelwert der übrigen Szenarien angesetzt.

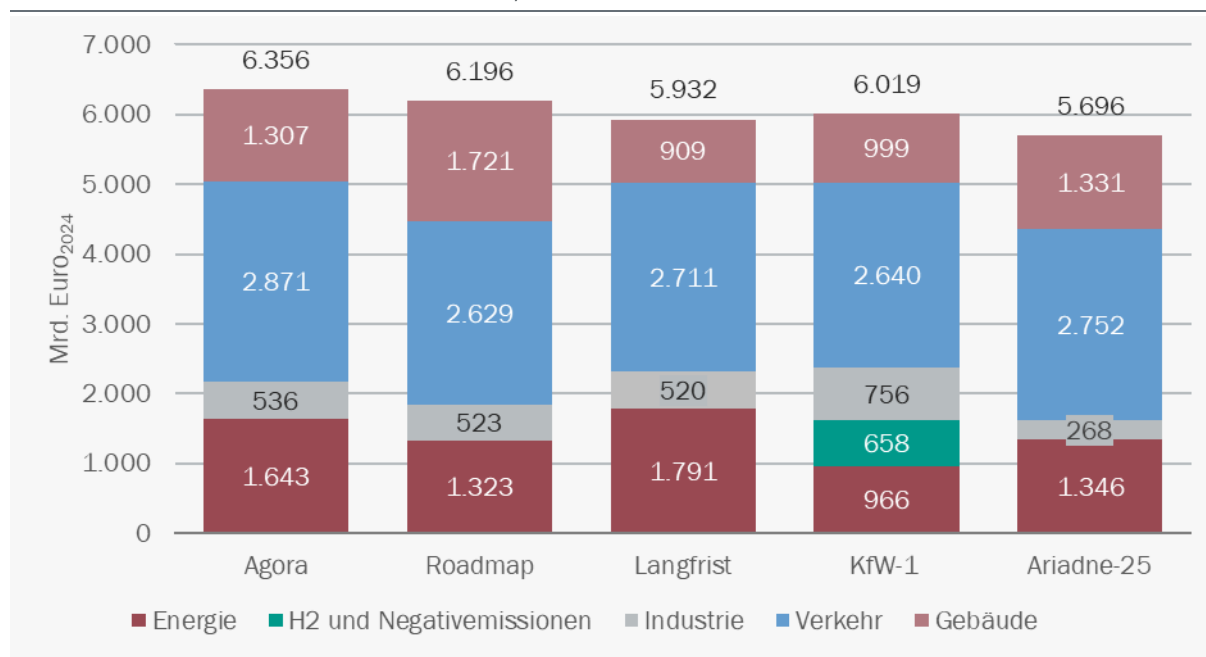
Der Gesamtbedarf an KSI im Zeitraum 2025-2045 liegt im Bereich von 5.696-6.356 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dies entspricht jährlichen KSI in der Höhe von rund 270-300 Mrd. Euro₂₀₂₄. Die Unterschiede zwischen den Szenarien werden insgesamt als gering eingeschätzt. Für die Sektoren, bei denen für alle relevanten Betreffnisse die Investitionen abgeschätzt werden konnten (Verkehr, Energie), stimmen die Größenordnungen der Investitionen der Szenarien sehr gut überein. Die tieferen Investitionen im Gebäudesektor in der älteren KfW1-Studie hängen eng mit den gestiegenen Baukosten zusammen (insbesondere energetische Sanierungen der Gebäudehülle sind teurer geworden). In allen betrachteten Szenarien fallen im Industriesektor am wenigsten KSI an. Am geringsten sind die KSI des Industriesektors in der Ariadne-Studie. Dies könnte auf eine nur teilweise Erfassung von Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz zurückzuführen sein.

Im Vergleich zur Vorgängerstudie (KfW1) hat sich der ermittelte Bedarf an KSI nicht wesentlich verändert. Umgerechnet auf die Preisbasis 2024 ergeben sich auch in der Vorgängerstudie (KfW1) bis zur Erreichung der Klimaneutralität KSI in der Höhe von rund 6.000 Mrd.Euro₂₀₂₄. Verändert hat sich teilweise die Belastung in den einzelnen Sektoren. Für den Industriesektor wird der Bedarf an KSI leicht tiefer eingeschätzt, für den Gebäudesektor (Summe PHH und GHD) ist der Bedarf angestiegen. Letzteres ist auch auf die gestiegenen Baupreise und damit höheren Investitionen für die Verbesserung des Wärmeschutzes und effiziente Neubauten zurückzuführen.

Für den Sektor Verkehr hat sich die Einschätzung des Investitionsbedarfs nicht wesentlich verändert.

Abbildung 27: Szenarienvergleich: Gesamte KSI nach Sektoren

kumulierte Investitionen im Zeitraum 2025-2045/2050, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Beim Szenario für KfW1 wurden die Investitionen für die H₂-Infrastruktur und sowie die Negativemissionen und CO₂-Infrastruktur nachträglich berechnet und eigenständig ausgewiesen. Bei den anderen dargestellten Szenarien sind diese Investitionen überwiegend im Sektor Energiewirtschaft enthalten.

Für die Langfristszenarien konnten keine Investitionen zum Industriesektor abgeschätzt werden. Für eine verbesserte Vergleichbarkeit der Szenarien wurde in der Darstellung der Mittelwert der übrigen Szenarien angesetzt.

Quelle Eigene Berechnungen

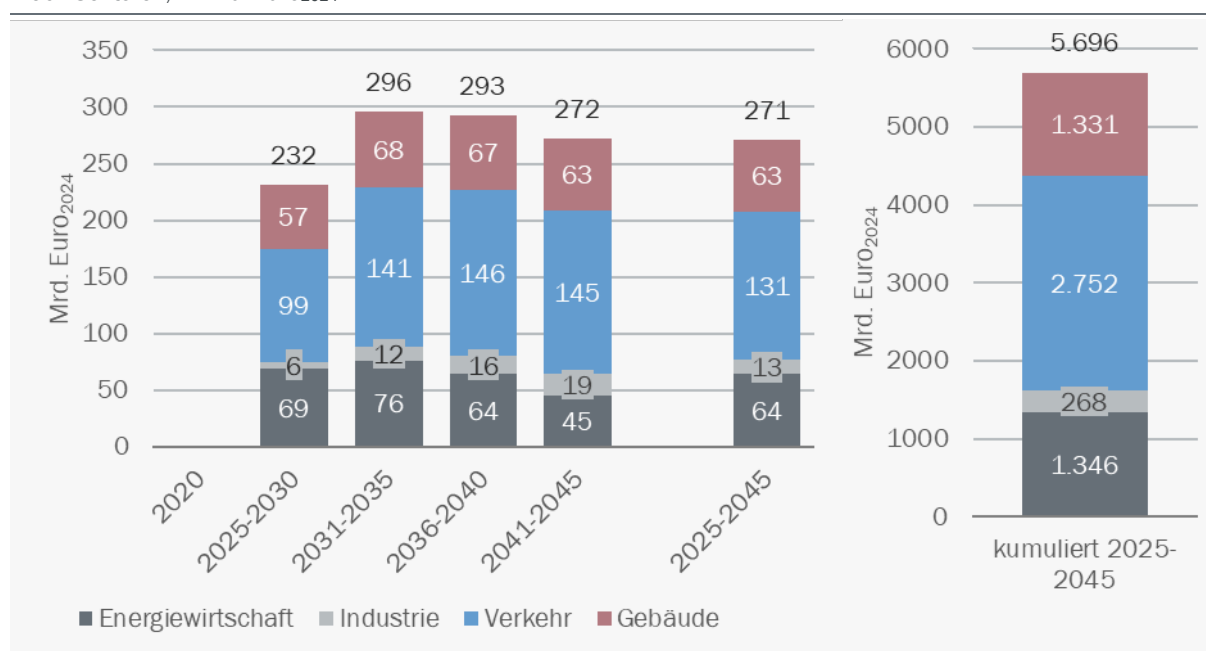
Exkurs: Ariadne-Szenarien 2025

Ariadne ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Kopernikus-Projekt.¹² Das Ziel des Ariadne-Projekts ist es, tragfähige Transformationspfade zu entwickeln, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll sind – genau wie in den anderen untersuchten Szenarienprojekten. Gleichzeitig sollen über die eingesetzten Energiemodelle hinweg robuste Eigenschaften der Transformation herausgearbeitet werden. Im Frühjahr 2025 wurde ein aktualisierter Ariadne Report mit dem Titel „Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045“ veröffentlicht (Luderer et al. 2025). Dabei wurden Transformationspfade zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 mit unterschiedlichen technologischen Schwerpunkten untersucht: Technologiemic, Fokus auf Elektrifizierung und Fokus auf Wasserstoff. Im nachfolgenden werden die Ergebnisse des **Hauptszenarios Technologiemic** näher betrachtet.

¹² Kopernikus-Projekte sind vom BMBF geförderte Energieforschungs-Projekte. Sie sollen einen wesentlichen Beitrag dazu, dass Deutschland seine Klimaziele bis 2045 erreichen kann. Neben Ariadne gibt es mit P2X, ENSURE und SynErgie weitere Kopernikus-Projekte. <https://www.kopernikus-projekte.de/startseite>

Die Ariadne-Szenarien werden mit verschiedenen Energiemodellen berechnet. Dabei berücksichtigen die eingesetzten Gesamtsystemmodelle sektorübergreifende, energiewirtschaftliche Wechselwirkungen, während die sektoralen Energiemodelle eine detaillierte Abbildung der sektorspezifischen Transformation ermöglichen. Die Dokumentation der Ariadne-Szenarien 2025 umfasst zusätzlich zum Report eine umfangreiche Excel-Datei, welche auch detaillierte Angaben zu Investitionen für spezifische Technologien der jeweiligen Sektoren enthält.^{13, 14} Für den Szenarienvergleich in der hier vorliegenden Studie wurden die dort ausgewiesenen Investitionen in Euro mit Preisbasis 2024 umgerechnet. Für die Betrachtung der KSI wurden nur Investitionen in Klimaschutzgüter berücksichtigt, entsprechend der Abgrenzung in den anderen betrachteten Szenarien (siehe berücksichtigte Betreffnisse in Kapitel 4.2 und ff). In Abbildung 28 sind die sich daraus ergebenden jährlichen KSI nach Sektoren im Zeitverlauf 2025 – 2045 dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die im Zeitverlauf bis 2045 kumulierten KSI.

Abbildung 28: Ariadne – Szenario Technologiemix: jährliche (linke Seite) und kumulierte KSI (rechts) nach Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Darstellung Prognos basierend auf Luderer et. al 2025

Die Ergebnisse des Ariadne-Szenarios „Technologiemix“ zeigen grundsätzlich eine hohe Übereinstimmung mit den anderen betrachtenden Zielszenarien (vgl. auch Abbildung 27). Wie bei den anderen betrachteten Zielszenarien steigt der Bedarf nach KSI im Zeitraum bis 2035/2040 zuerst an auf annähernd 300 Mrd. Euro₂₀₂₄/Jahr. Danach sinken die jährlich KSI wieder leicht ab

¹³ https://files.ece.iiasa.ac.at/ariadne2/downloads/250505_Ariadne2_Data_v1.0.xlsx

¹⁴ Für den Vergleich wurden die Investitionen des jeweiligen sektoralen Leitmodells verwendet. Die Angaben zum Industriesektor basieren auf den Werten des Modells Forecast, diejenigen des Verkehrssektors auf den Modellen ASTRA und Aladin, für den Gebäudesektor wurden die Ergebnisse des Modells ReMod verwendet und für die übrigen Bereiche die Werte des Modells REMIND. Für einen besseren Vergleich mit den anderen Szenarien wurden im Gebäudesektor ergänzende Investitionen für den effizienten Neubau und gewerbliche Prozesswärme abgeschätzt und in die Darstellung integriert. Dazu wurde das gleiche Vorgehen gewählt wie bei den Langfristszenarien, vgl. Anmerkungen in Kapitel 4.2.

auf rund 270 Mrd. Euro₂₀₂₄ in der Periode 2040 – 2045. Insgesamt ergeben sich bis zum Jahr 2045 KSI in der Höhe von rund 5,7 Billionen Euro₂₀₂₄.

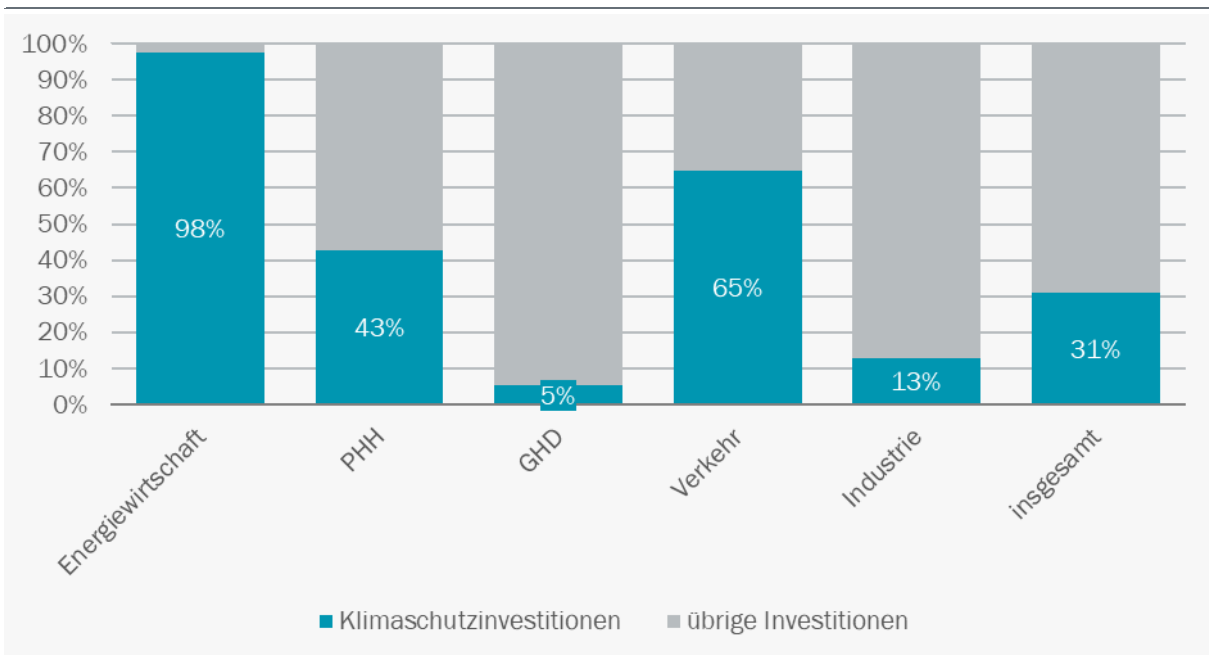
Die Höhe der kumulierten KSI in den Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr und Gebäude deckt sich sehr gut mit den in den anderen betrachteten Szenarien ermittelten Werten. Einzig im Sektor Industrie zeigt sich eine größere Abweichung, die ausgewiesenen Investitionen sind geringer als in den anderen Szenarien (vgl. Abbildung 27). Dies könnte daran liegen, dass bei der Berechnung der Investitionen der Fokus auf die Umstellung von Prozessen (inkl. Einsatz von CCS) gelegt wurde, während Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz nur teilweise berücksichtigt wurden. Wie bei den anderen Szenarien fallen die KSI des Industriesektors jedoch deutlich geringer aus als in den übrigen Sektoren.

4.8.2 Anteil an den Bruttoanlageinvestitionen

Will Deutschland seine Klimaschutzziele erreichen und bis spätestens 2045 die Klimaneutralität erreichen, so müssen in den kommenden Jahren deutlich mehr Klimaschutzinvestitionen getätigt werden. Gleichwohl werden die in der deutschen Volkswirtschaft getätigten Bruttoanlageinvestitionen deutlich höher bleiben als die KSI. Diese enthalten neben den KSI auch alle anderen Investitionen, die in den jeweiligen Sektoren (bzw. Betreffnissen) getätigt werden. Um die Bedeutung der KSI für die deutsche Volkswirtschaft einordnen zu können, werden sie nachfolgend im Verhältnis zu den Bruttoanlageninvestitionen dargestellt. In Abbildung 29 sind die Anteile der KSI an den sektoralen Bruttoanlageinvestitionen für das Roadmap-Szenario dargestellt und analog dazu in Abbildung 30 die Anteile im Szenario KNDE. Die ausgewiesenen Anteile beziehen sich jeweils auf den gesamten Zeitraum 2025–2045. Insgesamt sind 31 bzw. 33 % der Investitionen als Klimaschutzinvestitionen zu betrachten, d.h. bei rund einem Drittel der Investitionen handelt es sich um Investitionen für Klimaschutz oder Energieeffizienz. Zwischen den Sektoren zeigen sich deutliche Unterschiede. Sehr hoch ist der Anteil der KSI im Sektor Energiewirtschaft (inkl. Energieinfrastruktur). Hier wird in den Zielszenarien fast ausschließlich in Klimaschutzgüter investiert (Anteil jeweils 98 %). Demgegenüber steht der Sektor GHD mit einem Anteil von lediglich 5 %. Auch im Industriesektor ist der Anteil mit 13 % vergleichsweise gering. Im Sektor Private Haushalte liegt der Anteil der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen bei 43 bzw. 31 %, im Verkehrssektor liegt der Anteil bei 65 bzw. 71 %. Der vergleichsweise hohe Anteil im Verkehrssektor ist darauf zurückzuführen, dass ein zunehmender Anteil der neuen Fahrzeuge als Klimaschutzinvestitionen einsortiert werden.

Abbildung 29: Roadmap-Szenario – Anteile der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen

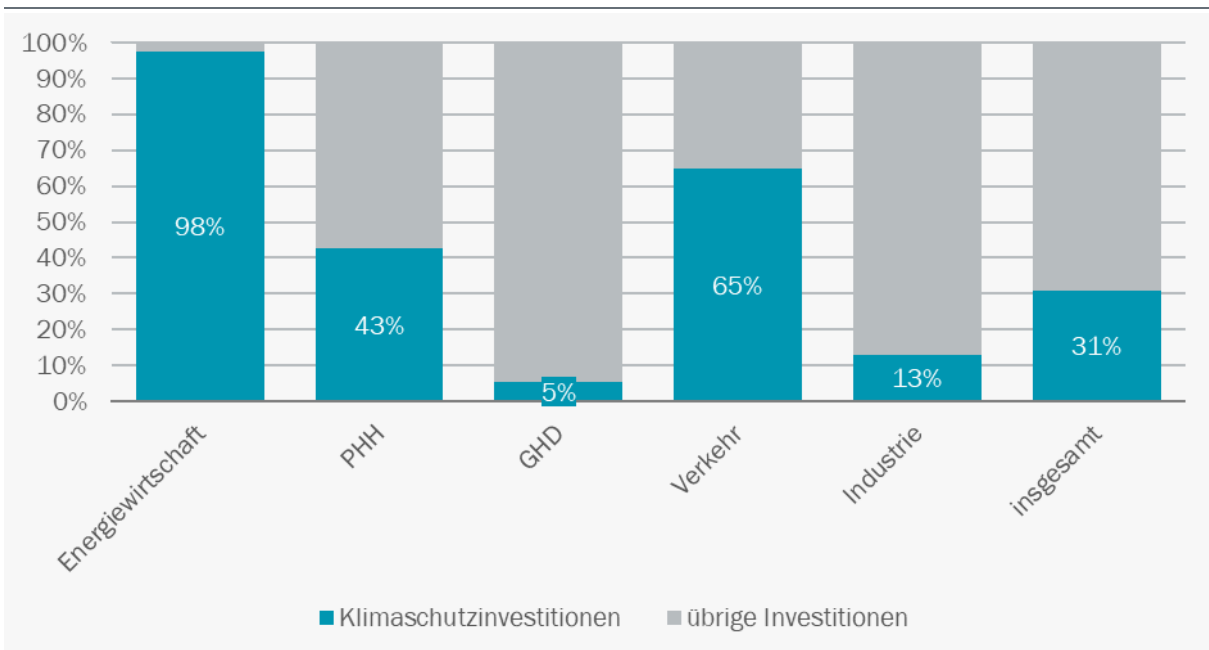
nach Sektoren und insgesamt, bezogen auf die Investitionen im Zeitraum 2025- 2045



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Abbildung 30: Szenario KNDE – Anteile der KSI an den Bruttoanlageinvestitionen

nach Sektoren und insgesamt, bezogen auf die Investitionen im Zeitraum 2025- 2045



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

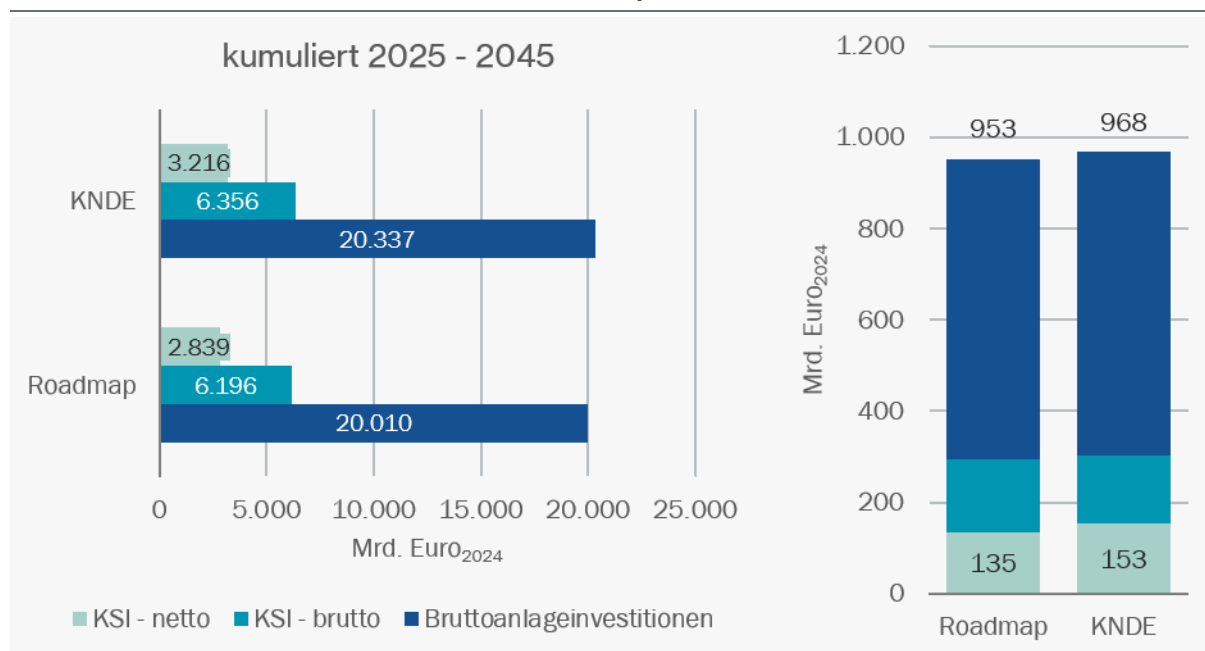
4.8.3 Klimaschutzinvestitionen – Nettowerte

Auch ohne Klimaschutz würden neue Heizungen verbaut, neue Pkw gekauft und Investitionen zur Aufrechterhaltung der Strom- und Wärmeversorgung getätigt. Bei den Netto-Investitionen in Klimaschutz werden nur jene Investitionsanteile berücksichtigt, welche ohne Klimaschutz nicht getätigt würden. Die Klimaschutz-Netto-Investitionen berücksichtigen nur die Mehr- (und ggf. Minder-)Investitionen gegenüber den konventionellen (fossilen) Referenztechnologien, die ohnehin getätigt werden müssten; beispielsweise die Mehrkosten einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasbrennwertheizung. Bei Investitionen in Technologien, die ohne Klimaschutz nicht getätigt würden (z.B. CCS und Wasserstofferzeugung), werden die gesamten Investitionen als Klimaschutzinvestition betrachtet.

In Abbildung 31 sind die Investitionen in den Szenarien Roadmap und KNDE aufgeschlüsselt nach Bruttoanlageinvestitionen, KSI-brutto und KSI-netto, entsprechend der Gliederung der Investitionsaggregate in Abbildung 1. Ergänzend zu den über den Zeitraum 2025–2045 kumulierten Netto-Investitionen (linke Seite) sind außerdem die durchschnittlichen jährlichen Netto-Investitionen in den Klimaschutz dargestellt (rechte Seite).

Wie in den vorangehenden Darstellungen erläutert, entfallen rund 30 % der Bruttoanlageinvestitionen auf Klimaschutzinvestitionen (Brutto-Betrachtung). Die Anteile der KSI-Netto-Werte an den Bruttoanlageinvestitionen liegen in den beiden Szenarien bei 14 % respektive 16 %. Das heißt, rund die Hälfte der in den beiden Szenarien getätigten KSI würde auch ohne Klimaschutz erfolgen. Aufgrund des Klimaschutzes steigt der jährliche Investitionsbedarf um rund 15 Prozentpunkte an, im Mittel um 135–153 Mrd. Euro₂₀₂₄ jährlich.

Abbildung 31: Alle Sektoren – Szenarienvergleich: Bruttoanlageinvestitionen, KSI-brutto und KSI-netto
kumulierte Investitionen 2025 – 2045 und durchschnittliche jährliche Investitionen, in Mrd. Euro₂₀₂₄



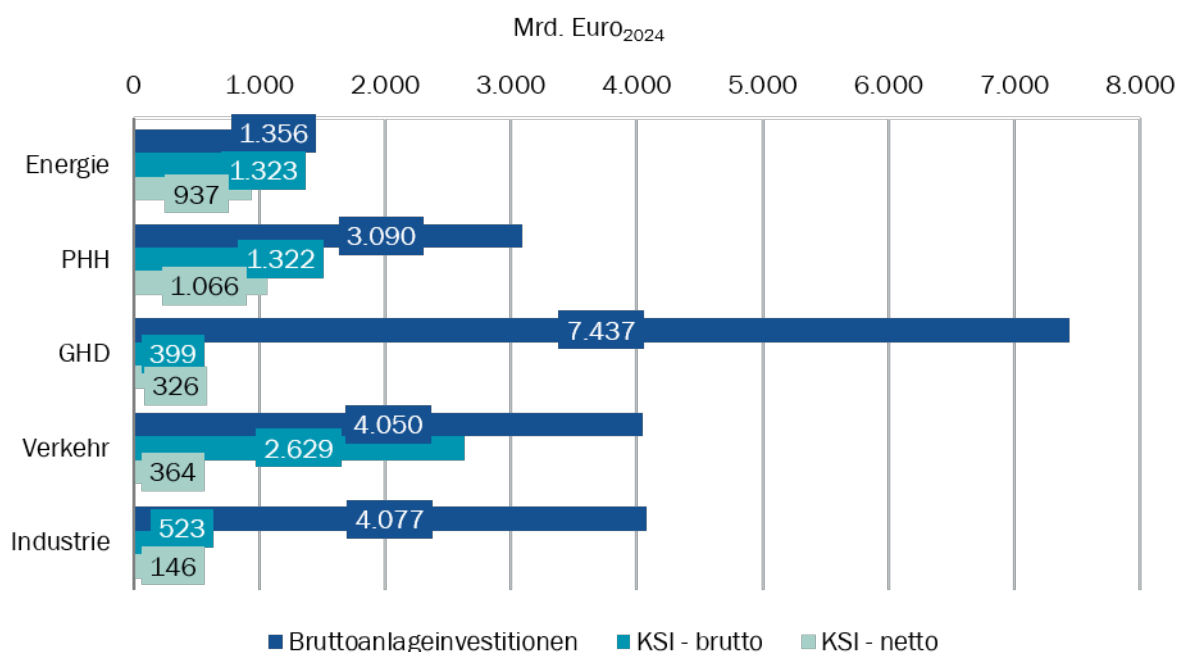
Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Die Aufteilung der Investitionsaggregate auf die Sektoren ist in Abbildung 32 (Roadmap-Szenario) und Abbildung 33 (Szenario KNDE) abgebildet. In den Sektoren Industrie und GHD liegt der Anteil der Klimaschutz-Netto-Investitionen in beiden Szenarien bei rund 5 %. Da heißt, das Investitionsvolumen steigt aufgrund von Klimaschutz um rund 5 % an. In den Sektoren Private Haushalte und Energie liegen diese Anteile mit rund 30 % (27 % bzw. 34 %) respektive 70 % (69 % bzw. 71 %) deutlich höher. Die Maßnahmen zur EE-Wärmeversorgung, zum verbesserten Wärmeschutz, die EE-Stromerzeugung und die zusätzlichen Investitionen für Stromnetze führen hier zu einem markanten Anstieg der Investitionen.

Im Verkehrssektor weichen die Klimaschutz-Netto-Investitionen zwischen den beiden Szenarien voneinander ab. Im Roadmap-Szenario sind die KS-Netto-Investitionen nur rund halb so hoch wie im Szenario KNDE. Dies ist im Wesentlichen auf die Einschätzung der Investitionen für die Ladeinfrastruktur sowie Unterschiede beim Schienenverkehr zurückzuführen (geringerer Ausbau der Schieneninfrastruktur im Roadmap-Szenario). In beiden Szenarien sind die KS-Netto-Investitionen deutlich geringer als die Brutto-Investitionen. Die Mehrinvestitionen aufgrund von Klimaschutz sind gering und ein Großteil der Investitionen im Verkehrssektor würde auch ohne Klimaschutz getätigt. Langfristig könnten die Investitionen in Elektrofahrzeuge sogar geringer ausfallen (negative Netto-Investitionen), da erwartet wird, dass aufgrund von Kostendegressionen bei Batterien E-Fahrzeuge billiger werden als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.

Abbildung 32: Roadmap-Szenario – Investitionsaggregate nach Sektoren

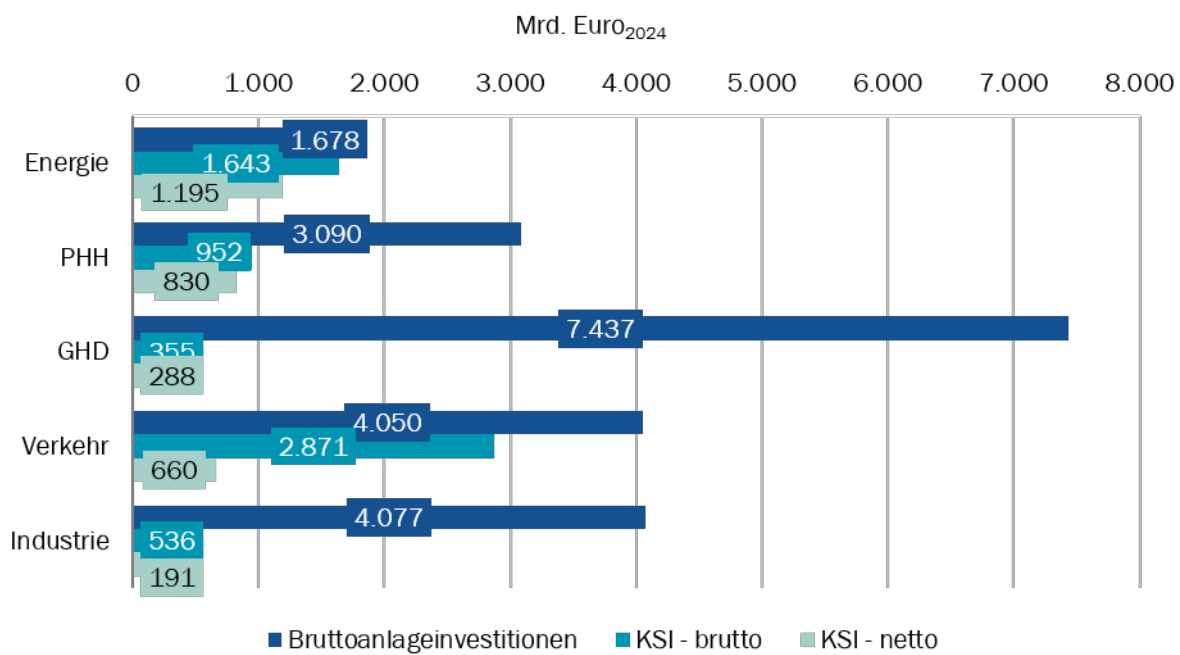
im Zeitraum 2025 – 2045 kumulierte Investitionen, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Abbildung 33: Szenario KNDE – Investitionsaggregate nach Sektoren

im Zeitraum 2025 – 2045 kumulierte Investitionen, in Mrd. Euro₂₀₂₄



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

5 Relevante Akteursgruppen

Die für die Erreichung der Klimaschutzziele notwendige langfristige Transformation klimarelevanter Systeme und Prozesse ist mit heute bekannten Technologien grundsätzlich möglich. Sie erfordert jedoch deutliche Umsteuerungen und signifikante Investitionen in klimafreundliche Technologien durch unterschiedliche Akteursgruppen (Kapitel 4). Die Akteursgruppen können den Bereichen privat, gewerblich und öffentlich zugeordnet werden, wobei der öffentliche Bereich sowohl staatliche als auch halbstaatliche Akteure umfasst. Beispielsweise können Wohnungseigentümer aus dem privaten, gewerblichen (z. B. Immobilienunternehmen) oder öffentlichen (z. B. Sozialwohnungen) Bereich kommen. Akteursgruppen aus dem privaten Bereich sind insbesondere Wohnungseigentümer und Fahrzeugbesitzer sowie Betreiber von (vergleichsweise kleinen) Speichern und EE-Anlagen (z. B. PV-Anlagen auf dem eigenen Gebäudedach oder „Balkonanlagen“). Akteursgruppen aus dem öffentlichen Bereich finden sich v. a. bei den Gebäudebesitzern und Busunternehmen bzw. Unternehmen des öffentlichen Verkehrs sowie Betreibern von Schienennetzen, Oberleitungen und Ladesäulen.

Für eine weitergehende Unterteilung der KSI nach Akteursgruppen werden nachfolgend zuerst die Anteile des öffentlichen Bereichs abgeschätzt (Kapitel 5.1). Anschließend werden die KSI des Gewerbes betrachtet und dabei die Anteile der KMU und Mittelständischen Unternehmen berechnet (Kapitel 5.2). Abschließend werden die KSI auf die Hauptwirtschaftssektoren und diejenigen des Industriesektors zusätzlich auf die Wirtschaftszweige aufgeteilt. (Kapitel 5.3).

5.1 Investitionen des öffentlichen Bereichs

Das methodische Vorgehen zur Aufteilung der KSI auf private und öffentliche Akteure orientiert sich in Teilen an der Vorgängerstudie von Prognos (2022). Die Aufteilung erfolgt mittels der im jeweiligen Sektor und Betreffnis vorfindbaren Eigentümerstrukturen, die auf einer Auswertung von unterschiedlichen Statistiken und Quellen beruht. Sofern die Zuordnung des Investitionsträgers nicht unmittelbar eindeutig ist, werden Abschätzungen anhand geeigneter Analogieschlüsse durchgeführt. Die in der Vorgängerstudie genutzten Quellen wurden aktualisiert. In einigen Bereichen wurden detailliertere Statistiken oder weitere Quellen genutzt, die Änderungen gegenüber der Vorgängerstudie werden jeweils beschrieben.

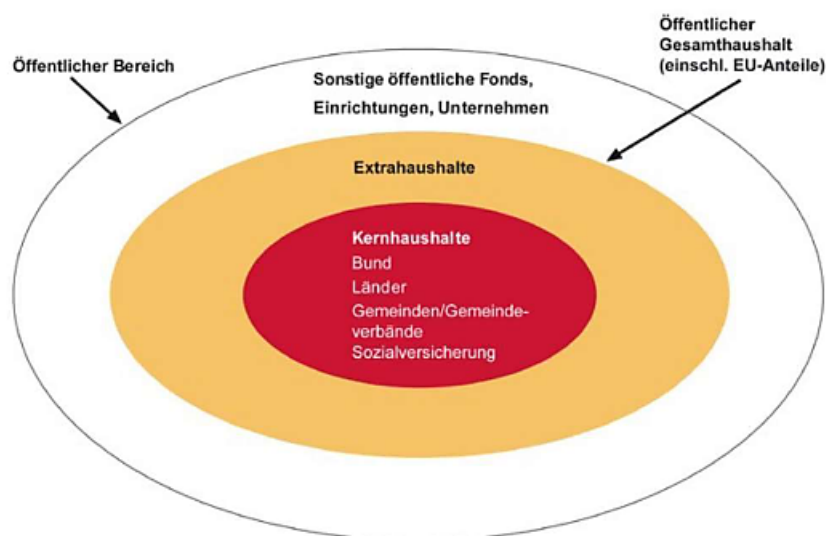
Für die Definition des öffentlichen Bereichs wird wie in der Vorgängerstudie auf eine Definition des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen (Abbildung 34). Die Aufteilung in öffentlich und privat erfolgt auf Grundlage der Besitzerstruktur – entscheidend ist, wer das Sachgut besitzt. Nicht betrachtet wird die Finanzierung der Investitionen. Insbesondere wird nicht berücksichtigt, inwieweit öffentliche Förderprogramme oder sonstige Unterstützungsleistungen notwendig sind, um die Investitionen der privaten Akteure anzustoßen. Der möglicherweise notwendige Umfang der zukünftigen Unterstützungsleistungen ist in den nachfolgenden öffentlichen Anteilen nicht enthalten.

Neu wird in dieser Studie eine weitergehende Differenzierung des öffentlichen Anteils auf die Gebietskörperschaften Bund, Länder und Kommunen vorgenommen. In Einzelfällen ist eine detaillierte Zuordnung auf die Gebietskörperschaften jedoch nicht möglich. In den Sektoren

Verkehr und Energie befinden sich viele Unternehmen im (mehrheitlichen) Besitz von öffentlichen Gebietskörperschaften (z. B. Kommunen oder Bundesländer). In der Abgrenzung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) sind diese Unternehmen dem «Sektor» Staat bzw. dem öffentlichen Extrahaushalt zugeordnet, wenn sie ihre Produktionskosten zu weniger als 50 Prozent aus eigenen Umsatzerlösen decken oder in einem essenziellen Maße unter öffentlicher (politischer) Kontrolle stehen. Das Statistische Bundesamt veröffentlicht periodisch Angaben zu den Unternehmen, die den öffentlichen Extrahaushalten zuzuordnen sind; darunter sind viele Unternehmen aus dem Verkehrsbereich und einige aus dem Bereich Energie.

Alle sonstigen Einrichtungen und Unternehmen, auf die die beiden genannten Kriterien (Deckung Produktionskosten <50 %, öffentliche Kontrolle) nicht zutreffen, bilden zusammen mit dem Kern- und dem Extrahaushalt den sogenannten Öffentlichen Bereich. Eine enge Abgrenzung des öffentlichen Anteils an den Klimainvestitionen gemäß der VGR-Abgrenzung des Staates (nur Kern- und Extrahaushalte) würde den größten Teil der Energieversorgung außen vor lassen. Die nachfolgende Bestimmung des öffentlichen Anteils an den KSI orientiert sich deshalb an der Abgrenzung gemäß des in Abbildung 34 dargestellten Öffentlichen Bereichs und inkludiert damit auch öffentliche Unternehmen, welche ihre Umsätze überwiegend am Markt erlösen.

Abbildung 34: Schalenkonzept der Finanzstatistik- Abgrenzung des Staatssektors



Quelle: Statistisches Bundesamt 2019

Nachfolgend werden die Überlegungen und Datengrundlagen zur Aufteilung der einzelnen Sektoren kurz erläutert.

Industriesektor: Es wurde das identische Vorgehen wie in der Vorgängerstudie gewählt (Prognos, 2022): Da staatliche Unterstützungsleistungen (z. B. über Förderprogramme oder Subventionen) in dieser Studie nicht berücksichtigt werden, liegt der öffentliche Anteil an den Klimaschutzinvestitionen im Sektor Industrie bei null. In der Praxis wird in den emissionsintensiven und wettbewerbsexponierten Industriebranchen wie etwa der Stahlindustrie die Dekarbonisierung nur dann auch in ökonomischer Hinsicht erfolgreich sein (d.h.

Aufrechterhaltung der inländischen Wertschöpfung und Beschäftigung), wenn staatliche Unterstützungsleistungen in größerem Umfang - zumindest für eine Übergangszeit - gewährt werden.

Verkehrssektor: Die Investitionen in Fahrzeuge wie PKW, Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF) wurden anhand des Bestandes der zugelassenen Fahrzeuge nach Haltergruppen ermittelt. Der staatliche Anteil wurde anhand der auf die Branche „Öffentliche Verwaltung“ zugelassenen Fahrzeuge am Gesamtbestand bestimmt. Für eine Diskussion, ob an Stelle des Fahrzeugbestandes nicht besser die Neuzulassungen herangezogen werden sollten siehe Kapitel 5.3.1.

Für Züge im Fernverkehr liegt der Staatsanteil bei rund 60 Prozent. Der Fernverkehr setzt sich aus dem Güter- und dem Personenverkehr zusammen. Im Personenfernverkehr liegen die Anteile nach BNetzA (2024) deutlich höher als im Güterfernverkehr. Der Anteil staatlicher Investitionen am ÖPNV wurde durch den Anteil öffentlicher Unternehmen am Beförderungsangebot nach Destatis (2018) ermittelt. Dabei wurde zwischen Investitionen in Omnibusse, Schieneninfrastruktur für Personennahverkehr und Züge für Personennahverkehr unterschieden.

Die Ladeinfrastruktur wurde anhand von Meldungen an die BNetzA (2025) und Informationen des VKU (2024) bestimmt.

Sektor Energie (inkl. Infrastruktur): Die Investitionen des öffentlichen Bereichs in Auf-Dach-PV basieren auf dem öffentlichen Anteil am Bestand der Wohn- und Nichtwohngebäude. Eine detaillierte Beschreibung, wie der Anteil des Staates am Gebäudebestand bestimmt wurde, findet sich in den Beschreibungen der Sektoren PHH und GHD.

Bei Freiflächen-PV und Wind on-shore werden die Anteile der öffentlichen Anteilseigner an Stadtwerken und großen Energieversorgern herangezogen. Der Anteil der Investitionen der Stadtwerke wurde anhand Angaben des VKU (2024) bestimmt. Bei Wind off-shore wird angenommen, dass die Anlageninvestitionen wie bisher vollständig durch privatwirtschaftliche Investoren erfolgen. Bei der Fernwärme wiederum wird angenommen, dass die KSI ausschließlich durch kommunale Unternehmen getätigt werden (öffentlicher Anteil = 100 %). Die Begründung hierfür liegt in den Investitionen, die vom VKU (2024) für kommunale Unternehmen angegeben werden, und die die Investitionen der öffentlichen Unternehmensstatistik übersteigen (Destatis, 2025).

Die Aufteilung der Investitionen in Stromnetze basiert auf Angaben zur Eigentümerstruktur von Netzbetreibern. Dabei wird unterschieden nach Investitionen in Übertragungsnetze und Investitionen in Verteilnetze. Das Übertragungsnetz befindet sich in Deutschland im Besitz von vier eigenständigen Netzbetreibern. Der ermittelte öffentliche Anteil an diesen Netzbetreibern liegt bei rund 9 % (wobei die jeweilige Netzlänge bei der Berechnung des Mittelwerts berücksichtigt wird). Bei den Verteilnetzen wurde die Besitzerstruktur der zehn größten Netzbetreiber (gewichtet nach größtem geplanten Investitionsvolumen) ausgewertet. Auf die größten 10 Verteilnetzbetreiber entfallen etwa zwei Drittel der geplanten Investitionsvolumina. Der so ermittelte öffentliche Anteil liegt bei 39 % und ist damit deutlich höher als bei den Übertragungsnetzen. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da viele Verteilnetzbetreiber in Hand der örtlichen Kommunen sind.

Für die Bereiche Gas- und Biomassekraftwerke sowie Batteriespeicher wurden die gleichen Anteile wie für Freiflächen-PV und Wind on-shore genutzt, da angenommen wird, dass ebenfalls hauptsächlich Unternehmen der Energiewirtschaft in diese Technologien investieren.¹⁵

Sektor Gewerbe Handel Dienstleistungen (GHD): Die Aufteilung erfolgt abweichend von der Vorgängerstudie (Prognos, 2022). In der vergangenen Studie wurde für die Bestimmung des öffentlichen Anteils der KSI der Betreffnisse Wärmeerzeuger sowie Gebäudehülle (Neubau und Sanierung) der Anteil des Staates am Bruttoanlagevermögen bei Hochbauten herangezogen.¹⁶ Diese Statistik kann jedoch stark durch Preisentwicklungen (z.B. an den Immobilienmärkten) verzerrt sein, da das Anlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen angegeben ist. Aus diesem Grund wurden Kennzahlen zum Gebäudebestand der Nichtwohngebäude aus verschiedenen Quellen (dena, 2024; IWU, 2022, BImA, 2024) genutzt, um den Anteil über die Eigentümerstruktur der Gebäude zu bestimmen. Der ermittelte Anteil liegt mit knapp 16 Prozent tiefer als in der Vorgängerstudie mit 23,6%. Anzumerken ist hier, dass aufgrund der verwendeten Quellen sowohl der Gebäudebestand des Bundes als auch der Länder und Kommunen bestimmt werden konnte.

Sektor Private Haushalte (PHH): Der Sektor Private Haushalte umfasst vor allem Gebäude für die private Wohnnutzung sowie Elektro- und Haushaltsgeräte, welche jedoch für die Emissionsminderung wenig relevant sind. Die Pkw sind im Querschnittssektor Verkehr berücksichtigt. Der Anteil des Staates an den KSI im Sektor PHH wird analog zum Sektor GHD über den Anteil des Staates am Bestand der Wohnbauten hergeleitet. Hierfür wird der 2024 erschienene Zensus zum Gebäude- und Wohnungsbestand genutzt. Im Sektor PHH liegt der Anteil des öffentlichen Bereichs bei rund 6,6 Prozent, wobei der größte Teil hiervon mit 6,2 Prozentpunkten auf die Kommunen entfällt. In der Vorgängerstudie lagen die Werte aufgrund der genutzten Statistik zum Anlagevermögen bei unter 1 Prozent.

Auf Grundlage dieser Annahmen werden die KSI des öffentlichen Bereichs bestimmt. Die resultierenden Anteile sind in Tabelle 2 dargestellt. Die daraus abgeleiteten KSI des öffentlichen Bereichs (in Mrd. Euro₂₀₂₄) wurden aus der Kombination der Anteile mit den in Kapitel 4 hergeleiteten Bandbreiten an KSI berechnet. Die für die jeweiligen Betreffnisse verwendeten Quellen zur Bestimmung der Anteile des Öffentlichen Bereichs sind in Tabelle 9 im Anhang beschrieben. Die in der Tabelle dargestellten Bandbreiten für die Jahre 2025-2030 und 2031 - 2045 lassen sich nicht zusammenaddieren, da sich diese aus unterschiedlichen Studien ergeben innerhalb derer sich die Investitionsvolumina nicht gleichmäßig über den Gesamtzeitraum verteilen.

Exemplarisch kann hier das Agora Szenario herangezogen werden. In diesem Szenario liegen die KSI insgesamt bei 6.356 Mrd. Euro. Hiervon entfallen rund 751 Mrd. Euro auf den öffentlichen Bereich (12 Prozent). In der Energiewirtschaft liegen die öffentlichen Investitionen bei 331 Mrd. Euro, dies entspricht einem Anteil von rund 20 Prozent. Im Gebäudesektor liegen die öffentlichen Investitionen bei 113 Mrd. was einem Anteil von rund 9 Prozent entspricht. Im Verkehr entfallen 305 Mrd. auf den öffentlichen Bereich (Anteil von 11 Prozent).

¹⁵ Für Batteriespeicher sind dies zum großen Teil auch Gebäudebesitzer über Heimspeicher. Der Anteil des Staates an den Gebäuden macht rund 6,8 Prozent aus und liegt damit etwas tiefer als der angenommene Wert von 10 Prozent.

¹⁶ VGR des Bundes - Anlagevermögen (Wiederbeschaffungspreise/ preisbereinigt) (brutto/netto): Deutschland, Jahre, Wirtschaftssektoren, Vermögensarten.

Tabelle 2: Klimaschutzinvestitionen in Deutschland, insgesamt und Anteil öffentlicher Bereich

Investitionen in Mrd. Euro₂₀₂₄ und Anteile des Öffentlichen Bereichs in Prozent

Sektor & Betreffnis	KSI insgesamt		davon öffentlich		Anteil öffentlich
	2025-2030	2031-2045	2025-2030	2031-2045	2025 - 2045
Industriesektor	157-167	366-369	0	0	0%
Verkehrssektor	564-715	1.946-2.156	60-76	206-229	10,5%
PKW	396-547	1.342-1.512	1-2	4-5	0,3%
LNF	29-88	163-286	1-2	3-6	2,0%
SNF exkl. Omnibusse	11-31	104-152	0-1	4-5	3,5%
Züge (SPFV, SGV)	4	25	2	15	60 % davon 60 % Bund
Ladeinfrastruktur (Strom/H2)	64-83	129-258	30-39	61-122	47,3% davon 40% Kommunen 7,3 % Länder
ÖPNV	3-18	45-55	2-16	39-48	87,7% davon 24,1% Kommunen 63,6% Bund
Schienenverkehrsinfrastruktur (SPFV, SGV)	4-18	9-49	4-18	9-49	100% davon 100 % Bund
Energie / Umwandlung	479-672	844-1.119	93-130	163-216	19,3%
PV Auf-Dach	64-90	93-160	5-7	7-12	7,5% davon 6,9% Kommunen 0,5% Länder 0,2% Bund
PV Freifläche	19-56	33-96	2-6	3-10	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
Wind on-shore	59-90	109-165	6-9	11-16	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
Wind off-shore	49-85	105-161	0	0	0,0%
Fernwärme	20	49-77	20	49-77	100,0% davon 100 % Kommunen
Übertragungsnetz	129-187	168-243	12-17	15-22	9,0% davon 5,4 Prozent Bund 3,6 Prozent Länder
Verteilnetz	111-153	144-198	44-60	57-78	39,4% davon ausschließlich

Sektor & Betreffnis	KSI insgesamt		davon öffentlich		Anteil öffentlich
	2025-2030	2031-2045	2025-2030	2031-2045	2025 - 2045
Länder und Kommunen					
Gas/H ₂ Kraftwerke	8-18	26-100	1-2	3-10	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
Biomasse	4	3-9	0,4	1	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
H ₂ -Elektrolyseure	5-15	16-48	1	2-5	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
H ₂ -Netz (inkl. Speicher)	1-12	22-44	1-2	4-8	18,8% davon 14,6 % Bund 1,6 % Länder 2,6 % Kommunen
CCS-Anlagen (u.a. in MVA, ohne Industrie)	3	5-25	2	3-17	70,0% davon 70% Kommunen
DAC-Anlagen	0	3-4	0	0	0,0%
CO ₂ -Netz/Speicher	2-3	15-19	1	3-4	18,8% davon 14,6 % Bund 1,6 % Länder 2,6 % Kommunen
Batteriespeicher	14-17	10-43	1-2	1-4	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen
GHD	92-95	263-304	13-14	38-44	14,4 %
Gebäudehülle (inkl. Neubau)	56-75	168-257	9-12	26-40	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen
Wärmepumpen	17-19	168-257	3	6-7	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen
Wärmeerzeugung (ohne Fossil)	5	16	1	3	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen
Prozesse	2-12	4-37	0	0	0%

Sektor & Betreffnis	KSI insgesamt		davon öffentlich		Anteil öffentlich
	2025-2030	2031-2045	2025-2030	2031-2045	2025 - 2045
Private Haushalte	262-350	690-890	17-23	46-59	6,6%
Gebäudehülle Neubau	49-57	100-102	3-4	7	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen
Gebäude-Sanierung	76-111	282-394	5-7	19-26	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen
Wärmepumpen	114-181	254-396	8-12	17-26	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen
Wärmeerzeugung (ohne Fossil)	24	54	2	4	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen
insgesamt	1.554-1.910	4.109-4.840	203-257	465-547	2025-2030 13% 2031-2045 11%

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis

Hohe Investitionen des öffentlichen Bereichs zeigen sich im Sektor Energie mit rund 260 – 350 Mrd. Euro₂₀₂₄ im Zeitraum 2025 bis 2045. Die öffentlichen Investitionen entfallen hier hauptsächlich auf die Fernwärme (Netz und Erzeugung) und die Stromverteilnetze sowie in geringerem Umfang auf PV-Anlagen (auf Dächern von Gebäuden in öffentlichem Besitz), Wind on-shore und CCS-Anlagen in KVA. Auch im Verkehrssektor entfallen umfangreiche KSI auf den öffentlichen Bereich, insgesamt bis 2045 ca. 265 - 305 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Verkehrssektor betrifft dies hauptsächlich den Aufbau der Ladeinfrastruktur (Strom, H₂), relevant ist auch der Ausbau des Schienenverkehrs (Züge und Schieneninfrastruktur).

Die KSI durch den öffentlichen Bereich im Sektor GHD betreffen überwiegend die öffentlichen Gebäude, an welchen der Wärmeschutz verbessert wird und die Wärmeerzeugung umgestellt wird. Insgesamt fallen im GHD-Sektor rund 50 – 60 Mrd. Euro₂₀₂₄ bis 2045 an. Im Sektor Private Haushalte finden sich KSI des Öffentlichen Bereichs in der Höhe von rund 65 – 80 Mrd. Euro₂₀₂₄. Im Industriesektor fallen in der hier getroffenen Definition keine KSI durch den öffentlichen Bereich an.

Die Investitionen fallen je nach Sektor zwischen den einzelnen föderalen Ebenen recht unterschiedlich aus. Im Sektor Energiewirtschaft entfällt der überwiegende Anteil auf die Kommunen (zwischen 280 und 310 Mrd. Euro). Der überwiegende Anteil hiervon wird durch Stadtwerke zu tragen sein, die sowohl in den Ausbau erneuerbarer Energien als auch in Stromverteilnetze sowie in den Ausbau der Fernwärme investieren müssen. Auf den Bund

entfallen in der Energiewirtschaft im Vergleich nur geringe Investitionen in Höhe von 20 bis 30 Mrd. Euro. Auf die Länder entfallen ähnliche Größenordnungen (ebenfalls 20 bis 30 Mrd. Euro).

Im Sektor Verkehr entfällt ebenfalls der größte Teil auf die Kommunen (120 bis 170 Mrd. Euro). Die Investitionen des Bundes betragen 80 bis 120 Mrd. Euro im Verkehrssektor. Auf die Länder entfallen hier nur vergleichsweise geringe Investitionen in Höhe von 10 bis 20 Mrd. Euro.

Im Gebäudesektor entfallen rund 100 bis 120 Mrd. Euro auf die Kommunen. Auf die Länder entfallen mit 10 bis 15 Mrd. deutlich geringere Anteile. Noch geringere Anteile entfallen auf den Bund (zwischen 5 und 10 Mrd. Euro).

Insgesamt haben die Kommunen mit KSI bis 2045 zwischen 500 und 600 Mrd. Euro den größten Teil der öffentlichen Investitionen zu tätigen. Es ist jedoch anzumerken, dass der überwiegende Teil hiervon nicht direkt durch kommunale Haushalte zu tragen sein wird, sondern dass hierfür überwiegend kommunale Unternehmen wie Stadtwerke, öffentliche Wohnungsgesellschaften sowie Verkehrsbetriebe verantwortlich sein werden. Diese Unternehmen werden diese Investitionen zu einem erheblichen Teil auch aus ihren generellen Einnahmen decken können, da Investitionen in fossile Pendants teilweise unterbleiben und Kosten zumindest teilweise an Verbraucher weitergegeben werden können. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass auch kommunale Haushalte zu einem gewissen Teil durch diese Investitionen belastet werden.

Auf den Bund entfallen mit Investitionen zwischen 105 und 210 Mrd. Euro ebenfalls ein signifikanter Teil. Mehr als die Hälfte der Investitionen des Bundes liegt im Bereich der Schieneninfrastruktur und Züge, sodass die Investitionen hier vor allen Dingen den Anteilen des Bundes an der Deutschen Bahn und ihren Tochterunternehmen zugerechnet werden können. Die Länder haben mit Investitionen zwischen 40 und 65 Mrd. Euro bis 2045 im Vergleich am geringsten zu tragen.

5.2 Größenklassen der Unternehmen

Die Klimaschutzinvestitionen sind von unterschiedlichen Akteuren zu tragen. Die gewerblichen Akteure unterscheiden sich unter anderem in Bezug auf die Unternehmensgröße. Im Folgenden werden die Investitionen der KMU dargestellt. Für die Berechnung des KMU-Anteils wurde auf die Statistik für kleine und mittlere Unternehmen des Statistischen Bundesamtes (Destatis) zurückgegriffen. Für alle Berechnungen wurde die Annahme getroffen, dass der Anteil der Investitionen von KMU je nach Betreffnis über die Szenarien und den Betrachtungszeitraum konstant bleibt.

Die KfW weicht in ihrer Definition des Mittelstandes zum Teil von der Definition des Statistischen Bundesamtes ab. Ziel dieser Studie ist es, die Mittelstandsanteile sowohl nach der Definition der KfW als auch nach der KMU-Definition des Statistischen Bundesamtes darzustellen. Dies geschieht mithilfe einer im Folgenden beschriebenen Hochrechnungsmethode, die die KMU-Daten des Statistischen Bundesamtes als Ausgangswerte nutzt und anhand geeigneter Zusatzinformationen auf die KfW-Definition des Mittelstandes skaliert.

Die vom Statistischen Bundesamt genutzte Definition für die Größenklassen der Unternehmen basiert auf der Zahl der Beschäftigten und den Jahresumsatz (Tabelle 3).¹⁷ Gemäß Statistischem

¹⁷ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Glossar/kmu.html>

Bundesamt umfassen die KMU diejenigen Unternehmen, die über weniger als 250 Beschäftigte verfügen oder einen Jahresumsatz von weniger als 50 Millionen Euro erwirtschaften.

Tabelle 3: Definition der Größenklassen von KMU nach Statistischem Bundesamt

Unternehmen	Beschäftigte	Umsatz pro Jahr
Kleinstunternehmen	bis 9	und bis 2 Mio. Euro
Kleine Unternehmen	bis 49	und bis 10 Mio. Euro
Mittlere Unternehmen	bis 249	und bis 50 Mio. Euro
Großunternehmen	mehr als 249	oder über 50 Mio. Euro

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis

Die Definition des Mittelstands gemäß Mittelstandspanel der KfW umfasst im Gegensatz dazu alle Unternehmen mit einem Jahresumsatz von unter 500 Millionen Euro (oder weniger als 500 Beschäftigten). Entsprechend sind nach KfW-Definition alle Unternehmen ab einem jährlichen Umsatz von 500 Mio. Euro oder mehr Großunternehmen. In Abhängigkeit von der Zahl an Beschäftigten werden die Unternehmen in weitere Untergruppen unterteilt (Tabelle 4). Dabei weist die KfW-Definition eine Größenklasse mehr auf als die KMU-Definition des Statistischen Bundesamtes.

Tabelle 4: Definition des Mittelstands nach KfW-Definition

Unternehmen	Beschäftigte	Umsatz pro Jahr
Kleinstunternehmen	weniger als 5	und weniger als 500 Mio. Euro
Kleine Unternehmen	weniger als 9	und weniger als 500 Mio. Euro
Mittlere Unternehmen	weniger als 49	und weniger als 500 Mio. Euro
Größere Mittelständler	mehr als 50	und weniger als 500 Mio. Euro

Eigene Darstellung basierend auf Angaben der KfW

Da eine Statistik für kleine und mittlere Unternehmen mit Angaben zu den Unternehmen nach Wirtschaftszweigen, Unternehmensgröße und getätigten Investitionen, nur in Form der Abgrenzung des Statistischen Bundesamtes vorliegt, wurden diese Werte zunächst als Ausgangspunkt gewählt.

Für die Unternehmen des Mittelstandes nach KfW-Definition liegen in der amtlichen Statistik keine detaillierten Informationen zu den getätigten (Sach-)Investitionen vor. Jedoch ist aus den Daten des KfW-Mittelstandspanel ersichtlich, wie viele Beschäftigte in den Wirtschaftsbereichen, des Verarbeitenden Gewerbes, des Bausektors, des Handels, der Dienstleistungen und im Bereich Sonstige in den jeweiligen Größenklassen tätig sind.

Da die gesamte Beschäftigtenzahl und jene der einzelnen Wirtschaftsbereichen nach den KfW Daten leicht von den Daten von Destatis abweichen, werden die Daten in einem ersten Schritt auf die Zahlen von Destatis normiert, indem die Differenzen gleichmäßig rausgerechnet werden.

In einem nächsten Schritt werden die Bruttoinvestitionen in Sachanlagen pro Beschäftigte für die einzelnen Wirtschaftsbereiche bestimmt. Diese Information wird genutzt und mit den normierten Beschäftigtenzahlen multipliziert. So können Investitionsanteile für die genannten Wirtschaftsbereiche in den 5 Größenklassen nach KfW Definition bestimmt werden.

Zur Bestimmung des Mittelstandsanteil der einzelnen Sektoren nach Abgrenzung der Energiebilanz wurde unterschiedlich, je nach Sektor vorgegangen.

- Die gesamten Investitionsbedarfe für den Sektor Industrie werden dem Unternehmenssektor zugeschrieben. Zur Ermittlung der KMU-Anteile an den Investitionsbedarfen werden die Anteile der KMU in den einzelnen Wirtschaftszweigklassen an den momentanen Bruttosachinvestitionen des Jahres 2022 (aktueller Rand der Unternehmensstatistik) genutzt. Um die Mittelstandsanteile nach KfW-Definition zu erhalten, werden anschließend die Bruttosachinvestitionen nach dem bereits oben beschriebenen Verfahren auf die einzelnen Größenklassen des Mittelstandes umgelegt, wobei beim Umlageverfahren die Beschäftigtenzahlen des Wirtschaftsbereich Verarbeitenden Gewerbe verwendet werden.
- Die gesamten Investitionsbedarfe für den Sektor GHD werden ebenfalls dem Unternehmenssektor zugeschrieben. Die Ermittlung der KMU-Anteile an den Investitionsbedarfen erfolgt auf Basis der KMU-Anteile an den Sachinvestitionen der Wirtschaftszweige G bis S, wobei die Teile Verkehr und Lagerei sowie Grundstücks- und Wohnungswesen nicht berücksichtigt werden.¹⁸ Es wird davon ausgegangen, dass die Investitionen dieser beiden sehr investitionsintensiven Sektoren in den Sektoren Verkehr und private Haushalte enthalten sind. Um die Mittelstandsanteile nach KfW-Definition zu bestimmen, werden anschließend die Bruttosachinvestitionen der Wirtschaftszweige G bis S nach dem oben beschriebenen Verfahren auf die einzelnen Größenklassen des Mittelstandes umgelegt, wobei die Beschäftigtenzahlen des Wirtschaftsbereich Dienstleistungen zugrunde gelegt werden.
- Für den Energiesektor erfolgt die Bestimmung auf Ebene unterschiedlicher Betreffnisse. Für die meisten erneuerbaren Anlagen wird der Mittelstandsanteil der WZ Gruppe D genutzt (Ausnahme PV Dachanlagen). Diese wird analog zum oben beschriebenen Vorgehen aus dem KMU-Anteil nach Destatis bestimmt, wobei aufgrund fehlender Beschäftigungszahlen nach KfW für den Wirtschaftszweig des Energiesektors auf den Normierungsfaktor der Sonstigen Unternehmen zurückgegriffen wird. Für Photovoltaik Dachanlagen werden die Anteile des Mittelstandes in den Sektoren GHD und PHH nach den Anteilen dieser Sektoren an den insgesamt Dachanlagen genutzt. Hierfür wird das Verhältnis von Wohngebäude (rund 90 Prozent) zu Nichtwohngebäuden (rund 10 Prozent) am gesamten Gebäudebestand verwendet¹⁹. Die Nichtwohngebäude werden dem Unternehmenssektor zugeordnet. Die Investitionen der PV-Aufdachanlagen die auf den Sektor Private Haushalte entfallen, werden mit den KMU bzw. Mittelstandsanteilen des Sektors Private Haushalte (Siehe übernächster Bulletpoint) berücksichtigt.

¹⁸ Bei der Klassifikation der Wirtschaftszweige werden die Unternehmen anhand ihrer Tätigkeit nach Branchen gegliedert. Bei der Klassifikation werden für die Kennzeichnung der Abschnitte die Buchstaben A bis U verwendet. Die Abschnitte werden anhand von Kennzahlenbereichen weiter unterteilt.

¹⁹ Herleitung der Verhältnisse nach

Zensus 2022 - Ausgewählte Zensusergebnisse zu Gebäuden zum Stichtag 15. Mai 2022 sowie

https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2022_IWU_HoernerEtBischof_WorkingPaper_Typologie-der-Nichtwohngebaeude-Deutschlands.pdf

- Für die Betreffnisse der Netzinvestitionen würde jedoch der ermittelte Anteil des Mittelstandes von rund 45 Prozent zu hoch liegen. Unter Netzinvestitionen fallen vor allen Dingen Investitionen des Stromnetzes, die zu über der Hälfte auf das Übertragungsnetz und der Anbindung von Offshore Windparks entfallen. In diesem Bereich dürfte Anteil des Mittelstandes jedoch sehr gering ausfallen, da diese Investitionen (fast) ausschließlich von Großunternehmen getätigt werden dürften. Aus diesem Grund wird für dieses Betreffnis weiter der KMU-Anteil nach Destatis genutzt. Für das Betreffnis der Batterien wird für die Heimspeicher analog zum Vorgehen der Photovoltaik Dachanlagen vorgegangen. Für die Großbatterien wird wiederum der Anteil der WZ Gruppe 08-D verwendet. Für die Investitionen in Fernwärme wird auf den ermittelten Mittelstandanteil aus dieser WZ-Gruppe 08-353 zurückgegriffen, die eine Unterkategorie der WZ Gruppe 08-D darstellt. Für die weiteren Betreffnisse des CO₂-Netzes, der CCS- und DAC-Anlagen sowie der Elektrolyseure wurden Anteile analog zum Verarbeitenden Gewerbe verwendet.
- Der Anteil der Investitionsbedarfe, der auf den Unternehmenssektor entfällt, wird für den Sektor private Haushalte wie folgt ermittelt: Gemäß der Gebäude- und Wohnungszählung des Zensus 2022 werden von 43,1 Millionen Wohnungen in Deutschland 8,9 Millionen Wohnungen von professionellen Anbietern bewirtschaftet. Dies entspricht einem Anteil von rund 21 Prozent. Der KMU-Anteil an diesen gewerblichen Investitionen wird anhand der Sachinvestitionen des WZ-Abschnitts L Grundstücks- und Wohnungswesen ermittelt. Anhand des Unterschieds im Wirtschaftsbereich Dienstleistungen kann der Anteil des Mittelstandes nach KfW Definition ermittelt werden.
- Der Anteil der Investitionsbedarfe, der auf Unternehmen entfällt, wird für den Sektor Verkehr wie folgt ermittelt: Im Verkehrsbereich werden die aktuellen Anteile der Fahrzeughaltergruppen des Kraftfahrt-Bundesamtes verwendet. Bei den Investitionen, die auf Unternehmen entfallen wird zwischen Pkw (Unternehmensanteil 12%), leichten (68%) und schweren (35%) Nutzfahrzeugen sowie Bussen unterschieden (97%). Diese Investitionen werden mit zusätzlichen Informationen der KfW über die zugelassenen Fahrzeuge in den einzelnen Unternehmensgrößen verschnitten (Anteile der Unternehmensgrößenklassen an den Fahrzeugflotten). Die Informationen liegen für Pkw und Nutzfahrzeuge vor²⁰.
- Für Busse wurden dieselben Anteile wie für Nutzfahrzeuge verwendet. Für Investitionen in Schienenfahrzeuge und Schieneninfrastruktur wird angenommen, dass diese nicht von KMU getätigt werden. Für die Investitionen in Ladeinfrastruktur werden jene Investitionen, die von Privatpersonen getätigt werden herausgerechnet. Die restlichen Investitionen, die auf Unternehmen entfallen, werden nach den Anteilen der KMU bzw. Mittelstandsanteilen der Energieversorgung aufgeteilt.
- Für die Investitionen der Ladeinfrastruktur wurden die gleichen KMU bzw. Mittelstandsanteile wie für die Energieversorgung (WZ Gruppe D) verwendet, da Großteil der aktuellen Ladesäulenbetreiber auf diese Branche entfällt.

In den beiden nachfolgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse der Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen auf die KMU bzw. den Mittelstand sowie die übrigen Unternehmen und Privatpersonen²¹ für die beiden Szenarien Roadmap und KNDE dargestellt. Dabei werden jeweils die Ergebnisse für die KMU in der Abgrenzung nach Statistischem Bundesamt und in der KfW-Abgrenzung dargestellt.

²⁰ Bei diesem Vorgehen wurden die Fahrzeughalter genutzt nicht die Neuzulassungen, die überwiegend von Unternehmen getätigt werden. Für eine ausführliche Beschreibung hierzu siehe Kapitel 5.3. im Ergebnis würden Berücksichtigung der Neuzulassungen den KMU Anteil im Verkehr nahezu verdreifachen.

²¹ In Abgrenzung zu dem Begriff „Private Haushalte“, der in den Sektoren der Energiebilanz genutzt wird hier der Begriff „Privatpersonen“ verwendet. Der Begriff Privatpersonen beschreibt die Investitionen der Privaten Haushalte. Im Gegensatz dazu beschreibt der Begriff Privat Haushalte nach Energiebilanz den Energieverbrauch, der im Bereich der Wohngebäude fällt.

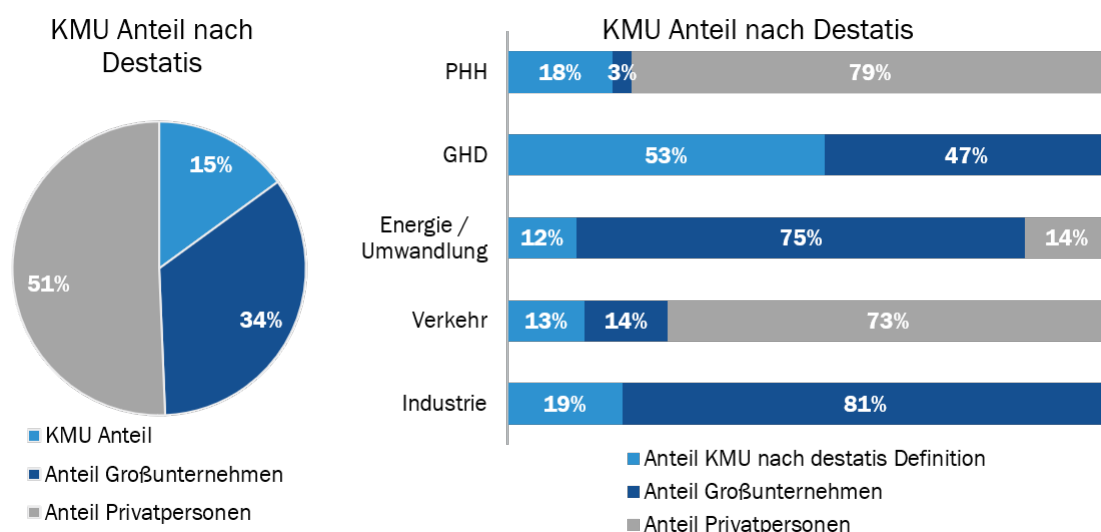
Bei der Darstellung ist zu berücksichtigen, dass die Investitionen des Unternehmenssektors auch öffentliche Investitionen umfassen, wie in Kapitel 5.1 dargestellt. Zum einen sind dies Investitionen, die innerhalb der WZ-Klasse P (Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung) getätigt werden. Hierbei wird es sich um Investitionen des GHD-Sektors handeln, zu dem unter anderem die Bürogebäude der öffentlichen Verwaltung gehören. Des Weiteren sind auch Investitionen der WZ-Klasse P im Verkehrssektor enthalten, da dieser auch Fahrzeuge der öffentlichen Verwaltung umfasst. Neben der WZ-Klasse P werden auch weitere Investitionen des Unternehmenssektors in den öffentlichen Bereich fallen, wie er in Kapitel 5.1 bestimmt wurde. In allen dargestellten Energiesektoren mit Ausnahme des Industriesektors befinden sich Investitionen, die sich nach dem in Kapitel 5.1 beschriebenen Vorgehen dem öffentlichen Bereich zuordnen lassen. Eine separate Ausweisung der Investitionen des öffentlichen Bereichs ist jedoch nicht möglich, da davon auszugehen ist, dass die öffentlichen Unternehmen nicht die gleiche Verteilung der Größenklassen aufweisen wie die jeweils dargestellten Sektoren insgesamt.

5.2.1 KMU- bzw. Mittelstands-Anteile der Klimaschutzinvestitionen im Roadmap-Szenario

Im Roadmap-Szenario fallen im Zeitraum 2025 bis 2045 von den rund 6,1 Billionen Euro an Klimaschutzinvestitionen 1020 – 1.689 Mrd. Euro₂₀₂₄ auf KMU bzw. Mittelstand. Dabei ergibt sich der untere Rand bei der KMU-Abgrenzung nach Statistischem Bundesamt und der obere Rand bei der Mittelstands-Definition nach KfW. Diese Summen entsprechen Anteilen von 17 % bzw. 28 % der gesamten KSI (Abbildung 35 und Abbildung 36). Am höchsten ist der KMU-Anteil im Sektor GHD (Nichtwohngebäude) mit rund 80 %. Im Sektor GHD fallen jedoch nur rund 7 % der gesamten KSI an.

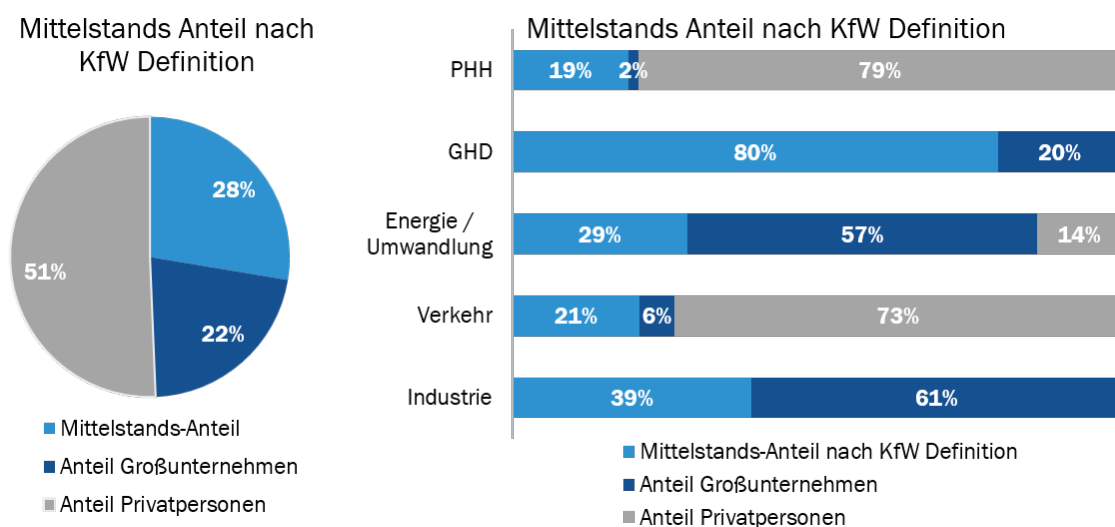
Gering sind die Anteile der KMU an den KSI in den Sektoren Verkehr und Energiewirtschaft. Gleichwohl sind die absoluten KSI von KMU im Verkehrssektor höher als im Sektor GHD, gleiches gilt für den Sektor PHH. Im Industriesektor fallen KSI durch KMU im Umfang von rund 152 Mrd. Euro₂₀₂₄ an, das sind 29 % der KSI im Industriesektor.

Abbildung 35: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Roadmap-Szenario – Anteil KMU
nach KMU-Definition des Statistischen Bundesamtes (Destatis)



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Abbildung 36: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Roadmap-Szenario – Anteil Mittelstand
nach Mittelstands-Definition der KfW



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

In Tabelle 5 sind die KSI der KMU und Mittelständischen Unternehmen anhand der Anzahl der Beschäftigten weiter aufgeteilt. Kleinst- und Klein-Unternehmen haben im Sektor PHH große Bedeutung für die KSI, hingegen nur eine sehr geringe Bedeutung in den Sektoren Industrie und Energie. Rund 75 % der KSI der KMU und Mittelständischen Unternehmen entfallen auf die mittleren Unternehmen und die größeren Mittelständler.

Tabelle 5: Roadmap-Szenario: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionennach Unternehmensgröße und Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₄, Abgrenzung nach Mittelstands Definition der KfW

Unternehmen	Beschäftigte	Gesamt	Industrie	GHD	Energie	Verkehr	PHH
Kleinstunternehmen	<5	301	4	51	2	177	67
Kleine Unternehmen	5<9	130	5	29	1	63	32
Mittlere Unternehmen	10<49	369	33	67	73	121	76
Größere Mittelständler	<50	888	163	171	304	188	62
Großunternehmen >500 Mio. Euro Umsatz	>50	1.329	317	81	760	151	20
Andere: Arbeitnehmer, Haushalte usw.		3.097	0	0	183	1.930	985
Gesamt		6.115	523	399	1.323	2.629	1.241

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis und KfW

Tabelle 6: Roadmap-Szenario: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionennach Unternehmensgröße und Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₄, Abgrenzung nach KMU-Definition von Destatis

Unternehmen	Beschäftigte	Gesamt	Industrie	GHD	Energie	Verkehr	PHH
Kleinstunternehmen <9 < 2 Mio. Euro Umsatz	<9	316	9	81	1	126	99
Kleine Unternehmen < 10 Mio. Euro Umsatz	10<49	341	31	71	49	113	76
Mittlere Unternehmen < 50 Mio. Euro Umsatz	50<249	365	62	58	102	99	43
Großunternehmen > 50 Mio. Euro Umsatz	>250	1.997	423	189	988	360	38
Andere: Arbeitnehmer, Haushalte usw.		3.097	0	0	183	1.930	985
Gesamt		6.115	523	399	1.323	2.629	1.241

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis und KfW

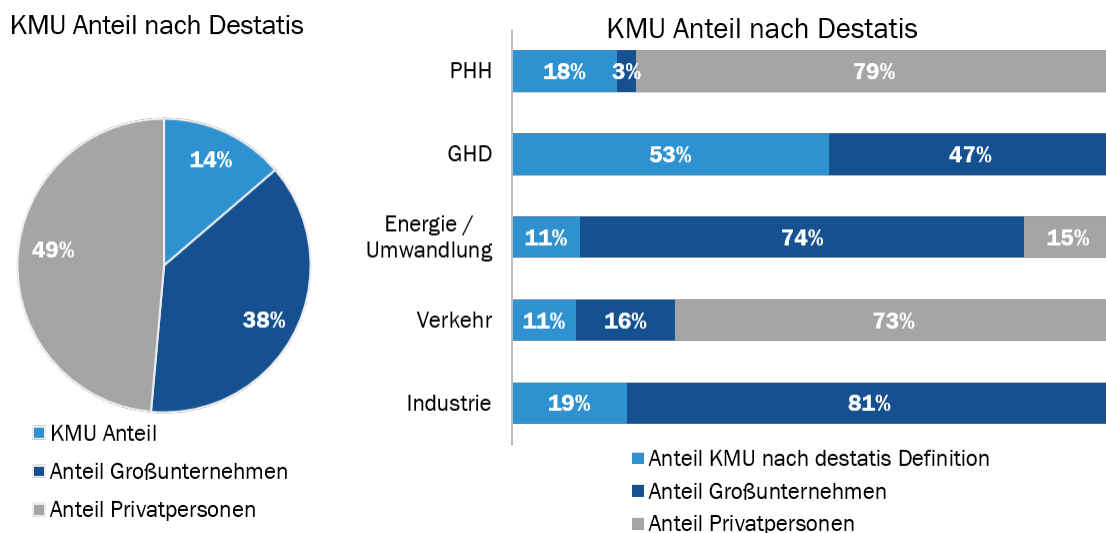
5.2.2 KMU- bzw. Mittelstands-Anteile der Klimaschutzinvestitionen im Szenario KNDE (Agora)

Die Ergebnisse im Szenario KNDE unterscheiden sich nicht wesentlich von denjenigen des Roadmap-Szenarios. Im Szenario KNDE fallen im Zeitraum 2025 bis 2045 in den berücksichtigten Sektoren KSI im Umfang von annähernd 6,4 Billionen Euro₂₀₂₄ an. Davon entfallen 952 Mrd. Euro₂₀₂₄ auf KMU in der Abgrenzung nach Destatis. Wird die etwas weitergefasst Definition des Mittelstands gemäß KfW angesetzt, ergeben sich KSI im Umfang von 1.671 Mrd. Euro₂₀₂₄. Dies entspricht Anteilen von 15 % bzw. 26 % an den gesamten KSI (Abbildung 37 und Abbildung 38).

Die Anteile der KMU und des Mittelstands an den KSI in den Sektoren unterscheiden sich ebenfalls nur wenig zwischen den beiden betrachteten Szenarien. Auch im Szenario KNDE ist der KMU-Anteil im Sektor GHD mit rund 50 % am höchsten, wobei lediglich 6 % der gesamten KSI im Sektor GHD anfallen. Die Anteile der KMU und des Mittelstandes an den KSI sind ebenfalls in den im Verkehr am geringsten.

In Tabelle 7 sind die KSI der KMU und des Mittelstands anhand der Anzahl der Beschäftigten weiter aufgeteilt. Kleinst- und Klein-Unternehmen haben im Sektor PHH große Bedeutung für die KSI und eine mittlere Bedeutung in den Sektoren GHD und Verkehr. In den Sektoren Industrie und Energie ist die Bedeutung dieser Unternehmensgruppen für die KSI sehr gering. Von großer Bedeutung für die KSI der KMU und Mittelständischen Unternehmen sind die mittleren Unternehmen und die größeren Mittelständler. Auf die Unternehmen dieser Unternehmensgruppen entfallen fast 80 % der KSI der KMU und des Mittelstandes.

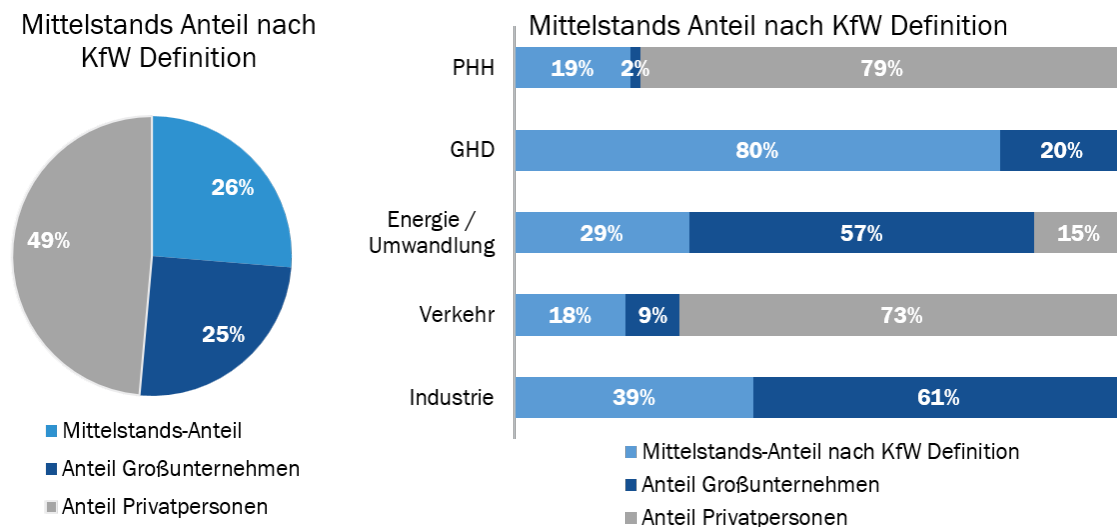
Abbildung 37: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Szenario KNDE – Anteil KMU
nach KMU-Definition des Statistisches Bundesamtes (Destatis)



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Abbildung 38: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen im Szenario KNDE – Anteil Mittelstand

Mittelstands- Anteil nach KfW Definition



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Tabelle 7: Szenario KNDE: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionen

nach Unternehmensgröße und Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₄, Abgrenzung nach Mittelstands-Definition der KfW

Unternehmen	Beschäftigte	Gesamt	Industrie	GHD	Energie	Verkehr	PHH
Kleinstunternehmen	<5	266	5	45	3	163	51
Kleine Unternehmen	5<9	113	5	26	1	56	25
Mittlere Unternehmen	10<49	353	33	59	90	111	59
Größere Mittelständler	<50	939	167	152	377	195	47
Großunternehmen >500 Mio. Euro Umsatz	>50	1.597	325	72	930	255	15
Andere: Arbeitnehmer, Haushalte usw.		3.088	0	0	241	2.091	755
Gesamt		6.356	535	355	1.643	2.871	952

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis und KfW

Tabelle 8: Szenario KNDE: Aufteilung der Klimaschutzinvestitionennach Unternehmensgröße und Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₄, Abgrenzung nach KMU Definition von Destatis

Unternehmen	Beschäftigte	Gesamt	Industrie	GHD	Energie	Verkehr	PHH
Kleinstunternehmen <9 < 2 Mio. Euro Umsatz		270	9	72	2	111	76
Kleine Unternehmen < 10 Mio. Euro Umsatz	10<49	316	31	63	60	103	59
Mittlere Unternehmen < 50 Mio. Euro Umsatz	50<249	366	62	52	126	93	33
Großunternehmen > 50 Mio. Euro Umsatz	>250	2.317	433	167	1.214	473	29
Andere: Arbeitnehmer, Haushalte usw.		3.088	0	0	241	2.091	755
Gesamt		6.356	535	355	1.643	2.871	952

Eigene Darstellung basierend auf Angaben von Destatis und KfW

5.3 Aufteilung nach Wirtschaftsbereichen

5.3.1 Aufteilung nach Sektoren der VGR

In den bisherigen Darstellungen der Kapitel 4 und 5 erfolgte eine Darstellung der KSI nach Sektoren der Energiebilanz. Um diese Darstellungsform auf Sektoren der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) anzupassen, müssen einige Anpassungen bei den einzelnen Sektoren und Betreffnissen vorgenommen werden.

Als erster Schritt wird der Querschnittssektor Verkehr auf die anderen Sektoren aufgeteilt. Hierzu müssen die Investitionen der einzelnen Verkehrsbetreffnisse über geeignete Kennzahlen den Sektoren Produzierendes Gewerbe (WZ B-C), Energieversorgung (WZ-D), sowie Bau, Handel und Dienstleistungen (WZ F-S) und Privatpersonen (Wz. T) zugeordnet werden.²²

Die Betreffnisse der Verkehrsinfrastrukturen, der Züge und Omnibusse werden vollständig dem Sektor Bau, Handel, Dienstleistungen (Wz. F-S) zugeordnet. Die Investitionen in die Ladeinfrastruktur werden zwischen den Privatpersonen und dem Sektor Bau, Handel, Dienstleistungen (Wz. F-S) aufgeteilt, indem der Anteil der Ladepunkte in Wohngebäuden den Privaten Haushalten zugerechnet wird. Die restlichen Ladepunkte werden als öffentliche

²² Wz. Abschnitt U ist nicht enthalten. Wz. Abschnitte A (Landwirtschaft und sonstigen Landnutzung) und E (Abfallwirtschaft) sind nur für das Agora Szenario verfügbar. Dort belaufen sich die KSI der Landwirtschaft und sonstigen Landnutzung bis zum Jahr 2045 auf rund 300 Mrd. Euro₂₀₂₄., die dem Abschnitt A zugerechnet werden können. Die Investitionen der Abfallwirtschaft (Wz. E) belaufen im Agora Szenario auf rund 2 Mrd. Euro₂₀₂₄ bis 2045.

Ladepunkte oder als Ladepunkte in Unternehmen dem Sektor Bau, Handel, Dienstleistungen (Wz. F-S) zugerechnet.

Die Aufteilung der Betreffnisse der Fahrzeuge, also Pkw, Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) wird anhand der Bestandszahlen der zugelassenen Fahrzeuge des Kraftfahrt Bundesamtes (KBA, Zahlen von 2024) vorgenommen. Diese Aufteilung folgt der Logik, dass die Investition dem Besitzer des jeweiligen Betreffnisses zugeordnet wird. Da der Bestand von Fahrzeugen, insbesondere von Pkw, überwiegend in der Kategorie „Arbeitnehmende und Nichterwerbspersonen“ liegt, entfallen die KSI nach dieser Methodik überwiegend auf die Privatpersonen. Weitere größere Anteile der Verkehrsinvestitionen liegen im Sektor Bau, Handel, Dienstleistungen wobei auf diesen vor allen Dingen Investitionen der Verkehrsinfrastruktur sowie Nutzfahrzeuge, Züge und Omnibusse entfallen.

Die Zahlen zum Bestand der Fahrzeuge weichen jedoch deutlich von den jährlichen Neuzulassungen ab. So wird der überwiegende Teil der Neufahrzeuge von gewerblichen Nutzern zugelassen. Daten dazu wurden vom KBA bis zum Jahr 2021 veröffentlicht. Im Jahr 2021 lag der Anteil gewerblicher Nutzer an den Neuzulassungen bei rund zwei Dritteln. Legt man daher die Neuzulassungen zu Grunde, um die Investitionen des Verkehrs auf die Wirtschaftssektoren aufzuteilen, verschiebt sich das Bild. Der Anteil, der auf die Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen entfällt, wäre nach dieser Methodik deutlich größer als jener der Privatpersonen. So würden die Investitionen der Privatpersonen um rund ein Drittel sinken und jene der Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen sich nahezu verdoppeln. Ebenfalls würden die Investitionen des Produzierenden Gewerbes um über 20 Prozent ansteigen.

Die Abweichung zwischen den beiden Ansätzen (Bestandszahlen oder Neuzulassungen) kommt zu Stande, da die Fahrzeuge in der Regel nur wenige Jahre durch die Unternehmen gehalten werden. Danach werden die Fahrzeuge über den Gebrauchtmärkte veräußert und wechseln so ihren Halter überwiegend in Hände der Privatpersonen. Die ursprüngliche Investition wird daher zwar in der Mehrzahl durch Unternehmen getätigt, die Folgeinvestition der Privatpersonen Haushalte auf dem Gebrauchtwagenmarkt würde über diese Methodik jedoch nicht abgedeckt. Aus diesem Grund wird an der Methodik festgehalten, die KSI des Verkehrssektors anhand der Struktur des Fahrzeugbestands aufzuteilen.

Neben der Aufteilung der Investitionen des Verkehrssektors müssen auch die Investitionen des Energiebilanzsektors der „Privaten Haushalte“ aufgeteilt werden. Unter diesem Sektor versteht man in der Energiebilanz den Bereich Wohngebäude, also wieviel Energie zum Wohnen verbraucht wird (inkl. Elektrogeräte). In der Logik der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung fallen unter Private Haushalte die Ausgaben, die von Privatpersonen getätigt werden. In Abgrenzung zum Energiebilanzsektor Private Haushalte bezeichnen wir diesen Bereich daher als Privatpersonen. Zur Aufteilung des Energiesektors Private Haushalte werden jene Investitionen, die von Privateigentümern oder Wohneigentumsgemeinschaften getätigt werden, den Privatpersonen zugeordnet. Die restlichen Investoren im Wohnsektor entfallen auf die Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen (Wz. F-S), da diese von Wohnungsunternehmen getätigt werden, die in diese Wz.- Gruppen fallen. Die Aufteilung erfolgt dabei analog zum Vorgehen bei in Kapitel 5.2, in dem ein Anteil von professionellen Wohnungsanbietern in Höhe von rund 21 % ermittelt wurde.

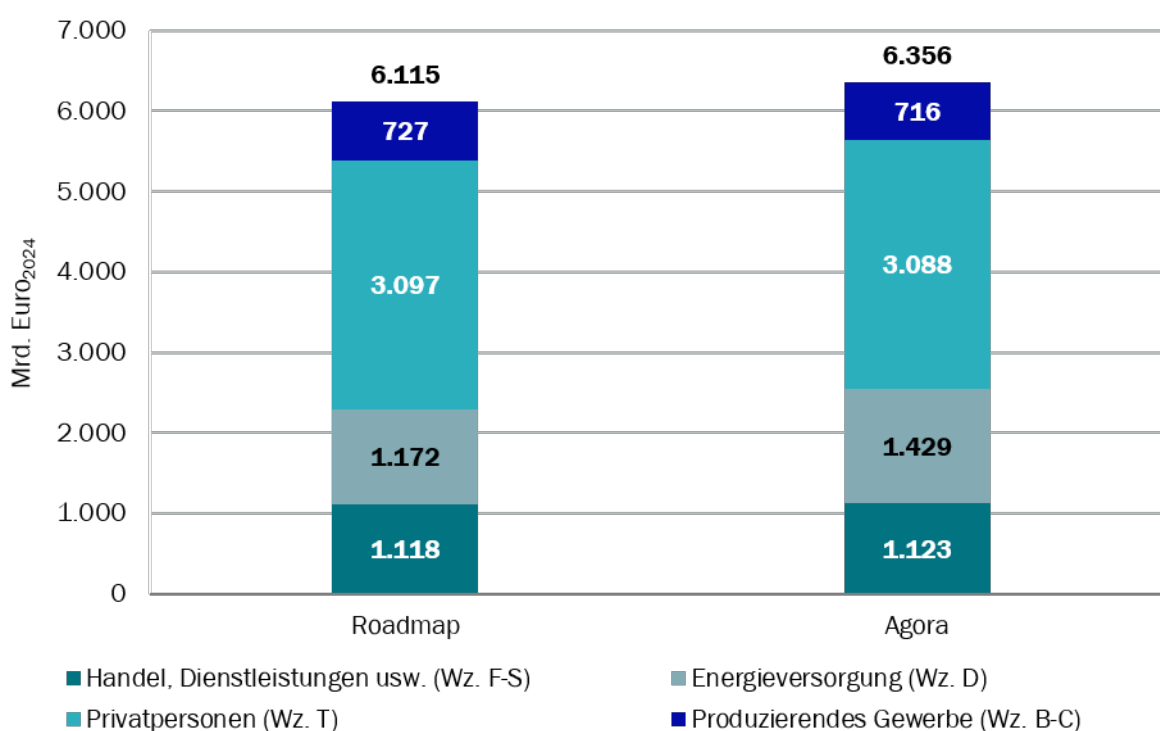
Ebenfalls aufgeteilt werden die Investitionen Sektors Energiewirtschaft bzw. Umwandlung aus der Energiebilanz. Dieser Sektor beschreibt in der Energiebilanz die Umwandlung bzw. „Erzeugung“ von Energie. Hierunter fällt die gesamte Strom- und Fernwärmerzeugung aller Technologien. In der VGR werden in der Branche Energieversorgung jedoch nur die Investitionen von Unternehmen

aus der öffentlichen Energieversorgung zusammengefasst, nicht die vollständigen Investitionen in Stromerzeugungsanlagen. Es wird davon ausgegangen, dass der weitaus überwiegende Anteil der PV Dachanlagen entweder auf die Privatpersonen oder die Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen entfällt. Zur Umrechnung werden die Investitionen der Auf-Dach-Photovoltaik Anlagen nach ihren Anteilen auf die Privatpersonen und den Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen aufgeteilt. Bei Batterien werden die Heimspeicher nach den jeweiligen Gebäudeanteilen auf die Privatpersonen und den Sektoren Bau, Handel, Dienstleistungen aufgeteilt. Die Großbatterien, die zur Stabilisierung des Stromnetzes genutzt werden, werden hingegen der Branche Energieversorgung zugeordnet wie ebenfalls die weiteren Investitionen in Erzeugungsanlagen für Wind- und Biomassekraftwerke. Auf diese Branche entfallen ebenfalls die Investitionen in die Fernwärmeversorgung, sowie die Strom- und Wasserstoffnetze. Die Investitionen in DAC-Anlagen, CCS-Anlagen, CO₂ Transportnetz, sowie Elektrolyseure werden hingegen dem Produzierenden Gewerbe zugeordnet.

Insgesamt ergibt sich nach dieser Methodik für die Sektoren folgendes in Abbildung 39 dargestellte Bild der Klimaschutzinvestitionen²³.

Abbildung 39: KSI aufgeteilt nach Wirtschaftssektoren der VGR

Klimaschutzinvestitionen 2025 – 2045; in Milliarden Euro₂₀₂₄



Eigene Darstellung Prognos

²³ Wz. Abschnitt U ist nicht enthalten. Wz. Abschnitte A (Landwirtschaft und sonstigen Landnutzung) und E (Abfallwirtschaft) sind nur für das Agora Szenario verfügbar. Dort belaufen sich die KSI der Landwirtschaft und sonstigen Landnutzung bis zum Jahr 2045 auf rund 300 Mrd. Euro₂₀₂₄., die dem Abschnitt A zugerechnet werden können. Die Investitionen der Abfallwirtschaft (Wz. E) belaufen im Agora Szenario auf rund 2 Mrd. Euro₂₀₂₄ bis 2045.

5.3.2 Aufteilung nach Wirtschaftsbranchen (Verarbeitendes Gewerbe Wz C)

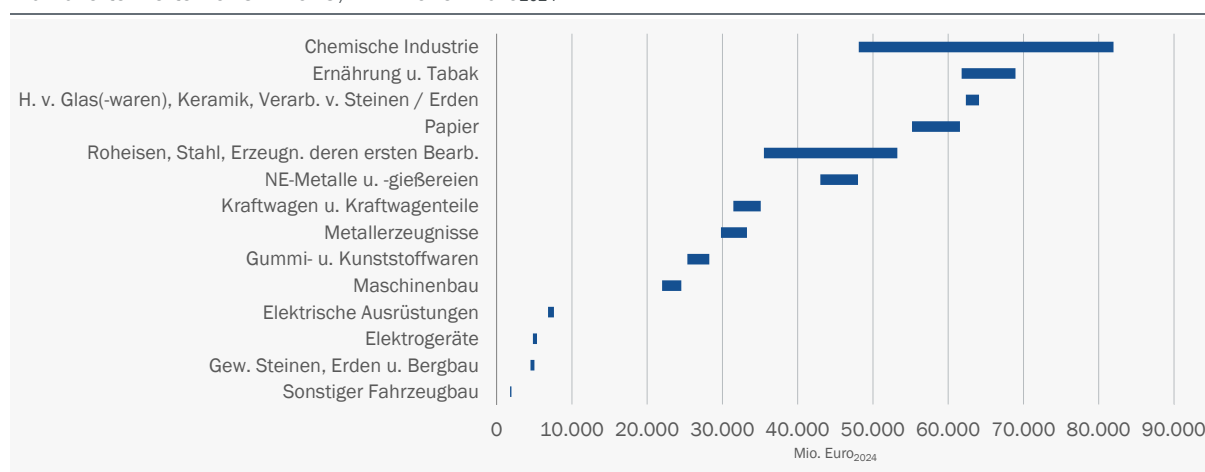
Die in Kapitel 4.4 ausgewiesenen KSI für den Industriesektor lassen sich nach den folgenden übergeordneten Technologiebereichen aufteilen: Umstellung industrieller Prozesse, Energie- und Ressourceneffizienztechnologien sowie CCS-Anlagen. In einer ergänzenden Auswertung werden die KSI auf Wirtschaftsbranchen aufgeschlüsselt (Jährliche Werte in Abbildung 40 und kumulierte Werte in Abbildung 41).

Die Aufteilung erfolgt für die Szenarien Roadmap Energieeffizienz und KNDE. Die Aufteilung der Investitionen im Roadmap-Szenario auf die Branchen basiert auf Grundlagen und Ergebnissen der Modellierung, u.a. der Energieverbrauchsstruktur. Für das Szenario KNDE liegen zu einzelnen Branchen explizite Werte vor, darunter die energie- und emissionsintensiven Branchen Chemie, Stahl und Zement. Die Aufteilung der Investitionen der restlichen Branchen erfolgt für das Szenario KNDE vereinfacht anhand des Verteilungsschlüssels, der im Roadmap-Szenario berechnet wurde.

Der höchste Bedarf an KSI fällt in der Branche Chemische Industrie an (Abbildung 40), dabei zeigen sich zwischen den beiden Szenarien erhebliche Unterschiede. Im Szenario KNDE wird die Branche sehr stark transformiert, insbesondere wird die Rohstoffbasis stark umgestellt, von Kohlenwasserstoffen aus fossilen Quellen auf Biomasse sowie stark erhöhtes Stoffrecycling (chemisch und mechanisch). Zudem wird die Wärme- bzw. Dampferzeugung zunehmend elektrifiziert. Für die Chemieparks und die dazugehörige Infrastruktur bedeuten diese Umstellungen eine tiefgreifende Veränderung. Im Roadmap-Szenario erfolgt ebenfalls eine Umstellung der Rohstoffbasis, diese ist jedoch weniger umfassend, auch 2045 werden teilweise noch fossile Energieträger für die stoffliche Verwendung genutzt.

Abbildung 40: Klimaschutzinvestitionen im Industriesektor nach Wirtschaftsbranchen

kumulierte Werte 2025 – 2045; in Millionen Euro₂₀₂₄



Eigene Darstellung Prognos

Vergleichsweise groß fallen die KSI auch in den energieintensiven Branchen Ernährung, Herstellung von Glas(-waren), Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (inkl. Zement), Papier, Roheisen und Stahl sowie NE-Metalle an. Beim Stahl wird in beiden Szenarien davon ausgegangen, dass die jährlich produzierten Stahlmengen auch zukünftig in etwa auf dem

heutigen Niveau verbleiben. Der Herstellungsprozess wird jedoch umgestellt, anstelle der Hochofenroute wird 2045 für die Herstellung von Primärstahl (fast) ausschließlich Direktreduktion mit Wasserstoff eingesetzt. Auch das Recycling von Stahl gewinnt an Bedeutung, damit verbunden sind Investitionen in Elektrolichtbogenöfen.

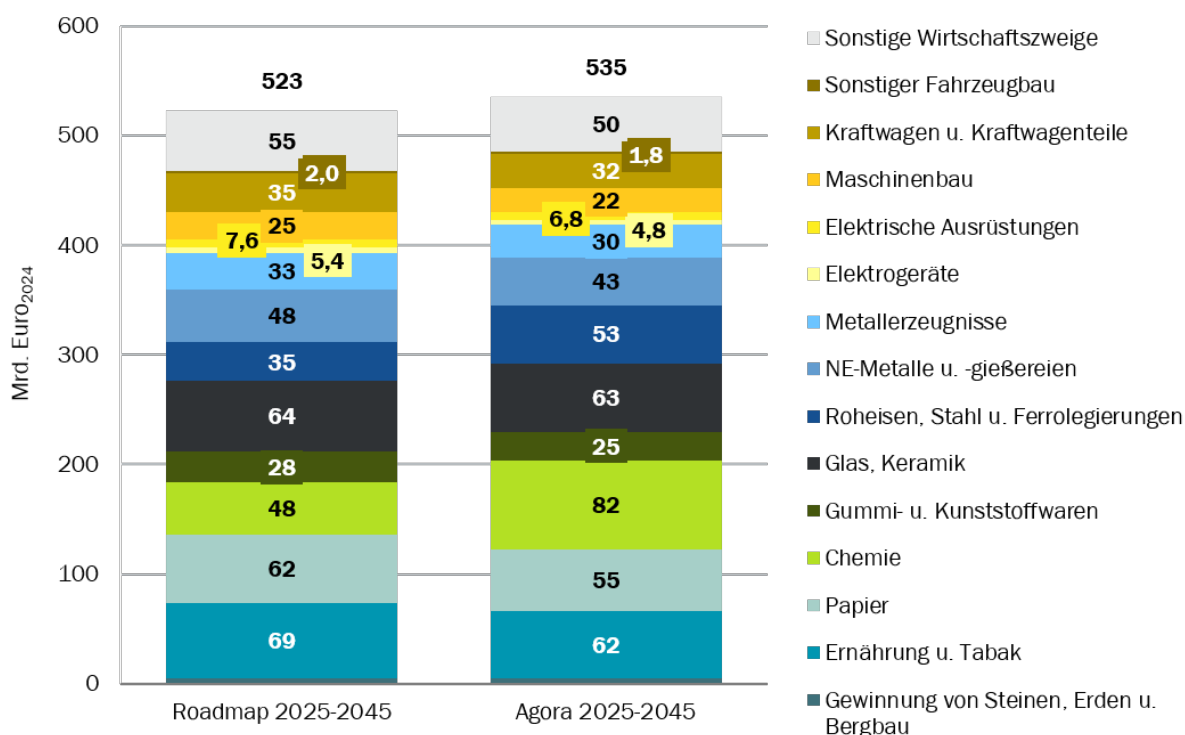
Bei der Herstellung von Zement wird in den Zielszenarien auf verschiedene Maßnahmen zur Erreichung einer THG-armen Produktion gesetzt. Wichtigste Maßnahme ist die Ausstattung von Zementwerken mit Klinkerbrennen mit CCS-Anlagen. In Kombination mit einem hohen Anteil an biogenen Brennstoffen für die Wärmeerzeugung lassen sich damit in Summe sogar negative THG-Emissionen erzielen. Ergänzend zur Ausstattung der Produktionsanlagen mit CCS sind Maßnahmen zur Reduktion des Klinkerbedarfs relevant zur Senkung der THG-Emissionen (Einsatz von Klinkerersatzstoffen). Durch die rückläufigen Neubaumengen im Gebäudesektor nimmt zukünftig auch der Bedarf an Zement etwas ab.

In den Branchen Ernährung, Papier und NE-Metalle ergeben sich die KSI hauptsächlich durch die Steigerung der Energieeffizienz bei der Wärmeerzeugung und die Umstellung der Wärmeversorgung, wobei die Elektrifizierung eine zentrale Rolle spielt. Investitionen in effizientere Querschnittstechnologien (Motoren, Geräte) und in geringerem Ausmaß auch in den Wärmeschutz und die Wärmeversorgung der Industriegebäude, fallen in allen Branchen an. Insgesamt belaufen sich diese Posten auf rund 20 % der sektoralen KSI.

Bei den in Abbildung 41 dargestellten kumulierten KSI handelt es sich um absolute Werte in den jeweiligen Branchen. Sie geben noch keine Auskunft über den Bedarf bezogen auf die Wirtschaftsleistung (z. B. bezogen auf die Bruttowertschöpfung) der jeweiligen Branchen.

Abbildung 41: Klimaschutzinvestitionen nach Wirtschaftsbranchen

über den Zeitraum 2025 – 2045 kumulierte Werte, nach Szenarien, in Mrd. Euro₂₀₂₄

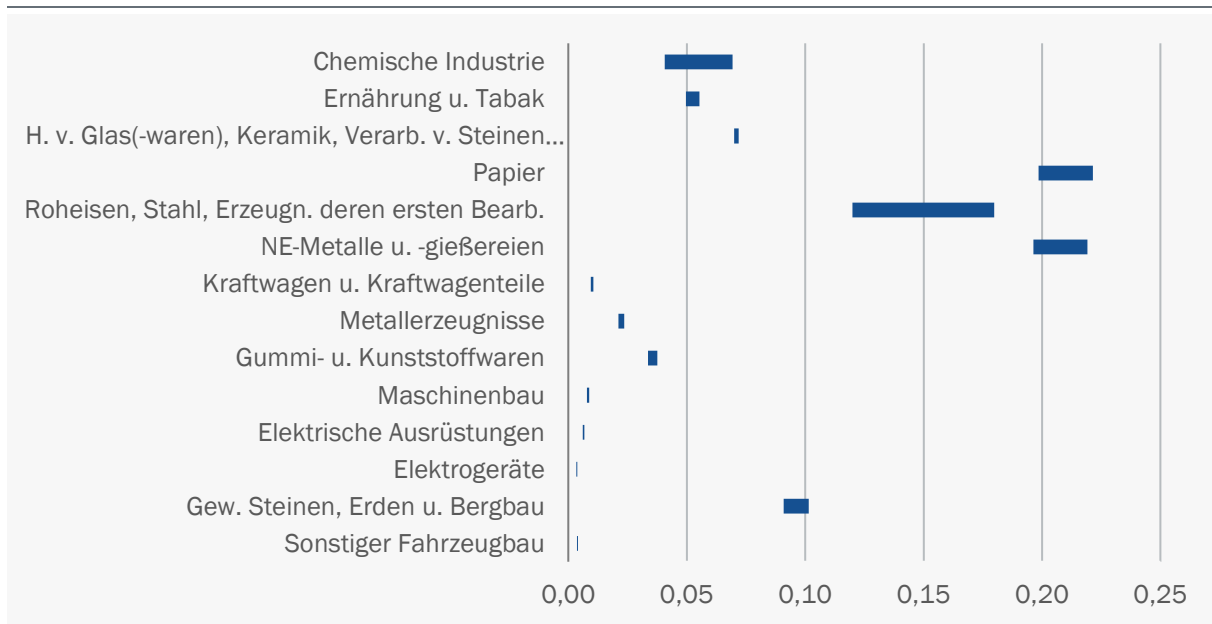


Die Sonstigen Wirtschaftszweigen beschreiben alle hier nicht aufgeführten Wirtschaftszweige des Verarbeitenden Gewerbes (Wz C)
Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Ergänzend zu Abbildung 41 werden die von den beiden Szenarien errechneten KSI der Wirtschaftszweige im Verhältnis ihrer Bruttowertschöpfung (BWS) abgebildet (Abbildung 42). Hierzu wurden die Bandbreiten der KSI durch die BWS der einzelnen Wirtschaftszweige für den Zeitraum 2025 bis 2045 ins Verhältnis gesetzt. Die Daten der BWS stammen aus einer eigenen Projektion zu sozioökonomischen Kennzahlen. Die dargestellten Relationen in Abbildung 42 können daher auch als Investitionsquoten für Klimaschutz (KSI/BWS) je Wirtschaftszweig interpretiert werden. Eine hohe Quote deutet daraufhin, dass relativ zu der Wirtschaftskraft in diesem Zeitraum viel in Klimaschutz investiert werden muss. Ein Wert von 0,01 entspricht dabei 1 % der Wirtschaftsleistung.

Während die Chemische Industrie die höchsten absoluten KSI unter den Wirtschaftsbranchen aufweist (Abbildung 40), liegt die Bandbreite der Investitionsquote für Klimaschutz zwischen 0,04 bis 0,07 im Mittelfeld im Vergleich zu den anderen Branchen (Abbildung 42). In vergleichbaren Größenverhältnissen bewegen sich auch die Branchen Ernährung und Tabak (0,05 bis 0,06), Herstellung von Glas(-waren), Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (0,07) und Gewinnung von Steinen, Erden und Bergbau (0,09 bis 0,01).

Abbildung 42: Investitionsquote für Klimaschutz bezogen auf die BWS der jeweiligen Branchen



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Die Branchen Papier und Nichteisen-Metalle inkl. Gießereien weisen die höchste Investitionsquoten auf (0,2 bis 0,22), gefolgt von Erzeugung von Roheisen und Stahl und deren erste Bearbeitung (0,12 bis 0,18). Gemessen an der BWS dieser Industriebranchen wird in den kommenden Jahrzehnten ein bedeutender Anteil in Klimaschutzinvestitionen fließen. Diese Branchen sind durch hohe Energiekosten gekennzeichnet. Die klimabedingten Umstellungen auf elektrische Prozesse bzw. die Umstellung auf Wasserstoffdirektreduktionsanlagen im Falle von Roheisen und Stahl erfordern erhebliche Investitionen. Die hohe Klimaschutz-Investitionsquote spiegelt diese Herausforderungen wider.

Für die restlichen Branchen ergeben sich Investitionsquoten kleiner 0,05. Das bedeutet, dass laut den Zielszenarien weniger als 5 % der Wirtschaftsleistung des Zeitraumes von 2025 bis 2045 für KSI aufgewendet wird.

6 Anhang

Tabelle 9: Klimaschutzinvestitionen – Anteil des öffentlichen Bereichs und verwendete Quellen

Sektor & Betreffnis	Anteil öffentlich	Quellen
Industriesektor	0%	
Verkehrssektor	10,5%	
PKW	0,3%	Anteile der Branche Öffentliche Verwaltung am Bestand an Fahrzeugen nach KBA 2024
LNF	2,0%	Anteile der Branche Öffentliche Verwaltung am Bestand an Fahrzeugen nach KBA 2024
SNF exkl. Omnibusse	3,5%	Anteile der Branche Öffentliche Verwaltung am Bestand an Fahrzeugen nach KBA 2024
Züge (SPFV, SGV)	59,9% davon 59,9 % Bund	Anteil Bund am Güter- und Fernverkehr nach BNetzA (2024)
Ladeinfrastruktur (Strom/H2)	47,3% davon: 40% Kommunen 7,3 % Länder	Anteil Kommunen nach VKU (2025), sowie Aufwertung BNetzA (2025)
ÖPNV	87,7% davon 24,1% Kommunen 63,6% Bund	Anteil Öffentliche Unternehmen am Beförderungsangebot mit Gewichtung zwischen Verkehrsträgern nach Destatis (2018)
Schienenverkehrsinfrastruktur (SPFV, SGV)	100% davon 100 % Bund	Schieneninfrastruktur des Fernverkehrs ist vollständig in staatlicher Hand
Energie / Umwandlung	19,9%	
PV Auf-Dach	10,3%	Gewichteter Anteil der Sektoren PHH und GHD auf Basis der Gebäudezahl der jeweiligen Sektoren
PV Freifläche	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen	Annahme auf Basis vku (2024) und Destatis (2025)
Wind on-shore	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen	Annahme auf Basis vku (2024) und Destatis (2025)
Wind off-shore	0,0%	Investoren in Wind Offshore sind bisher vollständig privat
Fernwärme	100,0% davon 100 % Kommunen	Auswertung von VKU (2024) und Destatis (2025)
Übertragungsnetz	9,0% davon	Auswertung der Anteilseigner der 4 deutschen Übertragungsnetzbetreiber

	5,4 % Bund 3,6 % Länder	
Verteilnetz	39,4% davon ausschließlich Länder und Kommunen	Auswertung der Anteilseigner der 10 größten Verteilnetzbetreiber
Gas/H ₂ Kraftwerke	10,0%	Anteil Staat an Energiewirtschaft auf Basis von Auswertungen der Anteilseigner der größten Unternehmen und vku (2024)
Biomasse	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen	Annahme auf Basis vku (2024) und Destatis (2025)
H ₂ -Elektrolyseure	10,0% davon 2,5 % Länder 7,5 % Kommunen	Annahme auf Basis vku (2024) und Destatis (2025)
H ₂ -Netz (inkl. Speicher)	18,8% davon 14,6 % Bund 1,6 % Länder 2,6 % Kommunen	Öffentliche Anteile an Fernleitungsnetzbetreibern
CCS-Anlagen (u.a. in MVA, ohne Industrie)	70,0% davon 70% Kommunen	Annahme auf Basis vku (2024) und Destatis (2025)
DAC-Anlagen	0,0%	Eigene Annahme bisher keine Zahlen verfügbar
CO ₂ -Netz/Speicher	18,8% davon 14,6 % Bund 1,6 % Länder 2,6 % Kommunen	Öffentliche Anteile an Fernleitungsnetzbetreibern
Batteriespeicher	10,0%	Siehe PV Freifläche
GHD	14,1%	
Gebäudehülle (inkl. Neubau)	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen	Anteil kommunale Gebäude an den beheizten Nichtwohngebäuden nach IWU (2022) und dena (2024)
Wärmepumpen	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen	Anteil kommunale Gebäude an den beheizten Nichtwohngebäuden nach IWU (2022) und dena (2024)
Wärmeerzeugung (ohne Fossil)	15,6% davon 1,5% Bund 2,6% Land 11,5% Kommunen	Anteil kommunale Gebäude an den beheizten Nichtwohngebäuden nach IWU (2022) und dena (2024)
Prozesse	0%	
Private Haushalte	6,6%	

Gebäudehülle Neubau	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen	Staatliche Eigner am Bestand der Wohnungen nach Zensus (2024), Anteil Bund nach BImA (2024)
Gebäude-Sanierung	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen	Staatliche Eigner am Bestand der Wohnungen nach Zensus (2024), Anteil Bund nach BImA (2024)
Wärmepumpen	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen	Staatliche Eigner am Bestand der Wohnungen nach Zensus (2024), Anteil Bund nach BImA (2024)
Wärmeerzeugung (ohne Fossil)	6,6 % davon 0,1 % Bund 0,3 % Länder 6,2 % Kommunen	Staatliche Eigner am Bestand der Wohnungen nach Zensus (2024), Anteil Bund nach BImA (2024)
insgesamt	11,6%	

| Eigene Darstellung

7 Quellenverzeichnis

Agora Energiewende (2024): Investitionen für ein Klimaneutrales Deutschland. Finanzbedarfe und Politikoptionen. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/A-EW_347_KNDE_Investitionsbedarfe_WEB.pdf

Agora Think Tanks, Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Universität Kassel (2024): Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung – Vertiefung der Szenariopfade. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/A-EW_349_KNDE_Szenariopfade_WEB.pdf

BlmA (2024): Jahresabschluss 2023
https://cdn0.scrvt.com/1f9e599af5d26bd9a064fd3c6c6d6d3b/dc0abece218c0158/3837f0af21e5/Jahesabschluss_2023.pdf

BMWK (2023): Energieeffizienz für eine klimaneutrale Zukunft 2045. Roadmap Energieeffizienz. Endbericht. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/XYZ/endbericht-roadmap-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=4

BNetzA (2024): Marktuntersuchung Eisenbahnen.
https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Veroeffentlichungen/Marktuntersuchungen/MarktuntersuchungEisenbahnen/MarktuntersuchungEisenbahnen2024.pdf

BNetzA (2025): E-mobilität Ladeinfrastruktur.
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>

Dena (2024) Energieeffiziente
Kommune.https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Zertifizierung_als_dena_Energieeffizienz-Kommune.pdf

Destatis (2018): Verkehr Personenverkehr mit Bussen und Bahnen
https://www.Destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Personenverkehr/Publikationen/Downloads-Personenverkehr/personenverkehr-busse-Bahnen-jahr-2080310187004.pdf?__blob=publicationFile

Destatis (2025): Unternehmen, Tätige Personen usw. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/48121/table/48121-0003>

Fraunhofer ISI et al. (2022): Einzelmaßnahmenbewertung des Klimaschutzsofortprogramms der Bundesregierung 2022. Fraunhofer ISI, FÖS, Prognos, IREES, Öko-Institut, ifeu, verfasst im Auftrag des BMWK. <https://doi.org/10.24406/publica-1766>

Fraunhofer ISI et. al (2024): Langfristszenarien – 045-Szenarien. Fraunhofer ISI, Consentec GmbH, ifeu, E&R - TU-Berlin, im Auftrag des BMWK. <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/dokumente/>

IWU (2022): Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland.

https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2022_IWU_HoernerEtBischof_WorkingPaper_Typologie-der-Nichtwohngebaeude-Deutschlands.pdf

KBA (2024):

https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz23_b_uebersicht.html

Luderer et al. (2025): Luderer G. (Hrsg.), Bartels F. (Hrsg.), Brown T. (Hrsg.), Aulich C., Benke F., Fleiter T., Frank F., Ganai H., Geis J., Gerhardt N., Gnann T., Gunnemann A., Hasse R., Herbst A., Herkel S., Hoppe J., Kost C., Krail M., Lindner M., Neuwirth M., Nolte H., Pietzcker R., Plötz P., Rehfeldt M., Schreyer F., Seibold T., Senkpiel C., Sörgel D., Speth D., Steffen B., Verpoort P.C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. <https://www.doi.org/10.48485/pik.2025.003>

Prognos, Nextra Consulting, NKI (2021): Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

<https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Green-Finance-und-Klimaneutralitaet.pdf>

Prognos (2022): Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland: Öffentlicher Anteil an Klimaschutzinvestitionen. Kurzstudie im Auftrag der KfW.

https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Prognos_Kurzstudie_Green_Finance_AnteilOeffentlich.pdf

Prognos (2024): Klimaschutzinvestitionen für die Transformation des Energiesystems - nach Sektoren und Anwendungen. Im Auftrag des BMWK.

<https://www.prognos.com/sites/default/files/2024-07/Klimaschtzinvestitionen-Prognos-2024-07-18.pdf>

Prognos (2025 a): Rahmendaten für die Treibhausgas-Projektionen 2025; im Auftrag des UBA.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmendaten-fuer-die-treibhausgas-projektionen-2025>

Prognos (2025 b): Endverbraucherpreise der Energieträger für die Treibhausgas-Projektionen 2025; im Auftrag des UBA.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/endverbrauchspreise-der-energietraeger-fuer-die>

Prognos (2025c): Auswirkungen unterschiedlicher Sanierungsraten auf Energiesystem und Systemkosten. Gutachten im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität. Online verfügbar unter

https://www.prognos.com/sites/default/files/2025-12/SKN_Paper_Prognos.pdf

Öko-Institut et al. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025). Öko-Institut, Fraunhofer ISI, IREES, M5, Prognos, FfE im Auftrag des UBA.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionsbericht_2025.pdf

Statistisches Bundesamt (2019): Finanzen und Steuern: Fachbegriffe der Finanz- und

Personalstatistiken, Wiesbaden.UBA (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7821>

VKU (2024): Zahlen, Daten Fakten 2024.

https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Publikationen/2024/VKU_ZDF_2024_DE_RZ_ES.pdf

Zensus (2024): Zensus 2022 - Gebäude und Wohnungen:

https://www.zensus2022.de/DE/Aktuelles/Gebaeude_Wohnungen_VOE.html

