

Klimaschutzszenarien 2050: Modellierung, Analyse und Vergleich von Zielszenarien - Sektor Gebäude

Sektor Gebäude

Freiburg, Berlin,
30.07.2024

Autorinnen und Autoren

Öko-Institut e.V.
Malte Bei der Wieden
Katja Schumacher
Dennis Appenfeller
Veit Bürger

Fraunhofer ISI
Tim Mandel

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 17 71
79017 Freiburg

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

Büro Berlin
Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

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

Kontakt
info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Ausgestaltung Instrumente	6
3 Folgenabschätzung	13
3.1 THG-Emissionen	13
3.2 Endenergieverbrauch	14
3.3 Energetische Sanierungsrate	16
3.4 Sektorale ökonomische Folgen	18
4 Kernbotschaften	23
Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: THG-Emissionen im KSG-Gebäudesektor	13
Abbildung 3-2: Endenergieverbrauch im KSG-Gebäudesektor	14
Abbildung 3-3: Anteil je Energieträger am Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im KSG-Gebäudesektor	15
Abbildung 3-4: Anteil je Energieträger am Endenergieverbrauch für Geräte und Prozesse im KSG-Gebäudesektor	16
Abbildung 3-5: Energetische Sanierungsrate Wohngebäude	17
Abbildung 3-6: Energetische Sanierungsrate Nichtwohngebäude	18
Abbildung 3-7: Mehrinvestitionen und Investitionszuschüsse	20
Abbildung 3-8: Wärmekosten und Wärmekostenzuschüsse	21
Abbildung 3-9: Annuierte energetische Mehrinvestitionen sowie Wärmekosteneinsparungen für die Szenarien KS1 und KS4 im Vergleich zur Referenz	22
Abbildung 3-10: Annuierte energetische Mehrinvestitionen sowie Wärmekosteneinsparungen für die Szenarien KS2 und KS3 im Vergleich zur Referenz	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht Instrumente und Narrative, die allen Szenarien zugrunde liegen	7
Tabelle 2-2: Übersicht der Ausgestaltung der Instrumente in den Szenarien	9

1 Einleitung

Das Klimaschutzgesetz (KSG 2021) versteht unter dem Gebäudesektor die Emissionen, die beim Beheizen der Gebäude (Raumwärme und Warmwasser) sowie bei Prozessen in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) durch den Einsatz von Brennstoffen entstehen.¹ Die Minderungsziele im KSG 2021 für den Gebäudesektor wurden 2023 zum vierten Mal verfehlt. Der Gebäudesektor war 2023 für 15 % der deutschen THG-Emissionen verantwortlich (UBA 2024), ohne die Emissionen für Strom- und Fernwärme, die nach dem KSG der Energiewirtschaft zugerechnet werden. Die Energiewende im Gebäudesektor ist somit zentraler Baustein der Transformation zur Klimaneutralität.

Die Energiewende im Gebäudesektor fußt auf drei Säulen: Erstens, dem Austausch fossiler Heizungen (Gas, Öl, Kohle) zugunsten erneuerbarer Wärmeerzeuger (Wärmepumpen, Biomasse, dekarbonisierte Fernwärme, Solarthermie, grüne Gase). Durch einen Energieträgerwechsel werden die THG-Emissionen direkt reduziert und es sinkt die Abhängigkeit vom Import fossiler Brennstoffe. Zweitens, der Senkung des Energieverbrauchs, v.a. durch die Dämmung der Gebäudehülle (Außenwand, Dach, Fenster, Fußboden) und den Einsatz energieeffizienter Produkte. Dadurch sinken laufende Energiekosten und die Anfälligkeit auf Energiepreisschwankungen. Außerdem ist Effizienz ein langfristiger Ausweg aus Energiearmut. Die Energiewende im Gebäudesektor ist kein zentrales Infrastrukturprojekt, sondern bedarf des Handelns aller Eigentümer*innen von Gebäuden. Akzeptanz und Motivation sind zentral. Die dritte Säule der Wärmewende ist daher die Bezahlbarkeit des Wohnens.

In diesem Sektorbericht wird auf alle drei Säulen eingegangen. Wir zeigen anhand von vier Klimaschutzszenarien („KS“) auf, wie unterschiedliche Mischungen an politischen Instrumenten (z.B. gesetzliche Vorgaben, Förderprogramme) dazu führen, dass die Sektorziele des KSG 2021 erreicht werden:

- KS1 führt die Logik des bestehenden Regulierungsrahmens fort und verstärkt die Förderung für den Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeuger.
- In KS2 und KS3 wird der Pull-Effekt der Subventionen durch einen Push-Effekt in Form stark steigender CO₂-Preise ersetzt.
- KS4 setzt auf ein starkes Ordnungsrecht mit energetischen Mindesteffizienzstandards (MEPS) als Schlüsselement.

In allen vier Klimaschutzszenarien ist die Anforderung, beim Heizungstausch einen erneuerbaren Wärmeerzeuger einzubauen, der stärkste Treiber der Dekarbonisierung (Novelle 2024 Gebäudeenergiegesetz).

Bezüglich des Pfades der THG-Emissionen ähneln sich die Szenarien stark. Bei der Rolle der Effizienz und der Reduktion des Energieverbrauchs gibt es Unterschiede. Die größte Variation ergibt sich jedoch in der Abschätzung der ökonomischen und sozialen Folgen je Politik-Mix.

2 Ausgestaltung Instrumente

Die Szenarien KS1 bis KS4 haben die Instrumente und Narrative aus Tabelle 2-1 gemeinsam.

¹ Außerdem noch Emissionen von „sonstigen Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere militärischen Einrichtungen)“ (Anlage 1 KSG 2021).

Tabelle 2-1: Übersicht Instrumente und Narrative, die allen Szenarien zugrunde liegen

Instrumente/Narrativ	Ausgestaltung
Novelliertes Gebäudeenergiegesetz 2023 inkl. 65%-EE-Regel	<p>Bezüglich Heizungstausch gemäß 2023 verabschiedeter Novelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anforderung zur Nutzung 65 % erneuerbarer Energien beim Heizungstausch - Flächendeckende Gültigkeit ab 1.7.2026/2028 nach Abschluss der kommunalen Wärmeplanung - 1.1.2024 bis 30.6.2026/2028: Einbau fossiler Kessel erlaubt mit Mindestquoten an erneuerbarem Brennstoff: 15 % im Jahr 2035, 30 % im Jahr 2035, 60 % im Jahr 2040 <p>Annahmen zur Reaktion von Eigentümer*innen auf das GEG:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Heizölkessel werden bereits ab 2024 nicht weiter eingebaut, weil Eigentümer*innen das Erfüllen der Mindestquoten als nicht realistisch einschätzen - In ausgewählten Regionen mit Nähe zum H₂-Kernnetz und Industriegebieten werden Wasserstoffnetzausbaugebiete ausgewiesen. Eigentümer*innen in diesen Gebieten entscheiden sich zum Teil dazu, Wasserstoff zur dezentralen Wärmeerzeugung einzusetzen. <p>Bezüglich Effizienz:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anforderung Neubau: EH55 bzgl. Primärenergie - Mindesteffizienzvorgaben bei Sanierung (Anlage 7, „EH140“) - Leichte Effizienzsteigerung von Heizungsanlagen durch gering-investive Maßnahmen (z.B. hydraulischer Abgleich und Heizungsoptimierung)
Importbeschränkung Biomasse	Das Szenario-Design sieht vor, dass keine Biomasse über das nationale Potenzial hinaus eingesetzt wird. Die Angebotsknappheit schlägt sich in erhöhten Preisen nieder. Wir nehmen an, dass Eigentümer*innen diese berücksichtigen und sich der Einsatz fester Biomasse (Pellet/Hackschnitzel/Scheitholz) etwas unter dem aktuellen Niveau einpendelt trotz des Ausstiegs aus fossilen Wärmeerzeugern. Aus demselben Grund nehmen wir keinen Hochlauf von Biomethan an.
Kommunale Wärmeplanung und Hochlauf Fernwärme	<p>Durch die flächendeckende Ausweisung von Versorgungsgebieten durch Wärmenetze wird Planungssicherheit für deren Hochlauf geschaffen. Diese wird zusätzlich erhöht durch die Identifikation von Gebieten, in denen das Gasnetz zurückgebaut werden kann. In ausgewählten Regionen mit Nähe zum Wasserstoff-Kernnetz und Industriegebieten werden Wasserstoffnetzausbaugebiete ausgewiesen und Wasserstoff zur dezentralen Wärmeerzeugung eingesetzt.</p> <p>Es erfolgt ein Abbau weiterer Hemmnisse zum Ausbau und Nachverdichtung von Wärmenetzen, die zusätzlich gefördert werden.</p>
Abbau Hemmnisse vermieteter Bestand	Wir gehen davon aus, dass die Wärmewende auch im vermieteten Bestand vorangeht und das Investor-Nutzer-Dilemma durch begleitende Regelungen reduziert wird, z.B. (Teil-)Warmmietenmodell, stärkere Rekommunalisierung von Wohnraum, gezielte Förderprogramme für strukturschwache Gegenden oder Haushalte ggf. mit Mietpreisbindung, Dittelmodell (Mellwig 2024)
Energieverbrauchskennzeichnung für	Neu angeschaffte Geräte und Prozesse werden mit einem Energielabel (Effizienzklassen E bis G) gekennzeichnet. Dies reduziert Informationsasymmetrien

Instrumente/Narrativ	Ausgestaltung
Geräte und Prozesse gemäß EU-Labelling-Verordnung	zwischen Herstellern effizienter Geräte und Konsumentinnen und Konsumenten und trägt damit zu fundierteren Kauf- und Investitionsentscheidungen in Haushalten sowie Unternehmen im GHD-Sektor bei.
Verbot neuer Gasherde	Es wird davon ausgegangen, dass Erdgasherde im Haushaltsbereich ab 2030 vom Markt genommen werden. Dies betrifft ausschließlich Neugeräte. Herde im Bestand sind davon nicht betroffen und werden entsprechend bis zum Ende ihrer technischen Lebensdauer weiter genutzt.

Quelle: Öko-Institut und Fraunhofer ISI

In der Modellierung des Gebäudebestands von 2028 bis 2045 ist die Anforderung an den Heizungstausch im novellierten GEG Haupttreiber dafür, dass zunehmend erneuerbare Wärmeerzeuger zum Einsatz kommen. Die größte Herausforderung besteht darin, rechtzeitig auf den Transformationspfad einzuschwenken und das Sektorziel für 2030 zu erreichen. Der bestehende Policy-Mix (Stand Mitte 2024) reicht dafür nicht aus (siehe auch Harthan et al. 2024). In Tabelle 2-2 werden deshalb für vier verschiedene Zielszenarien zusätzliche Instrumente definiert, v.a. um die Ziellücke bis 2030 zu schließen bzw. konkreter: um den Einbau zusätzlicher erneuerbare Wärmeerzeuger anzureizen, die über die Wirkung der 65 %-Anforderung aus dem GEG hinausgehen.

Im Szenario **KS1 „Policy-Mix“** wird die derzeitige Anreizlogik fortgeschrieben und zusätzliche finanzielle Anreize zum Einbau zusätzlicher Wärmepumpen gesetzt. Dadurch werden im Szenario Vorteile generiert bzw. Abwartehaltungen („Attentismus“) abgebaut. Zum einen wird die Investitionsförderung über das derzeitige Niveau hinaus erhöht. Zum anderen wird die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen im Betrieb verbessert, indem die staatlich bestimmten Preisbestandteile von Wärmepumpenstrom gesenkt werden, v.a. durch eine Reduktion der Mehrwertsteuer. Dadurch wird die Attraktivität von Wärmepumpen auch in schlechter gedämmten Gebäuden gesteigert und der Dekarbonisierung bis 2030 Vorschub geleistet.

In den Szenarien **KS2 und KS3** wird dieser „Pull-Effekt“ in einen „Push-Effekt“ umgewandelt, indem die CO₂-Preise bis 2030 sprunghaft ansteigen und Gebäudeeigentümer*innen zu einem vorzeitigen Wechsel auf erneuerbare Wärmeerzeuger drängen. Das Verhältnis aus Wärmegestehungskosten für Gaskessel und Wärmepumpe dient als Benchmark für die Attraktivität eines Heizungstauschs. Die Investitionsförderung für den Heizungstausch wird ab 2030 eingestellt.

Das Szenario **KS4 „Ordnungsrecht“** erreicht die zusätzlichen Heizungstausche, indem die „worst performing buildings“ durch energetische Mindesteffizienzstandards (MEPS) zu einer Sanierung bzw. Heizungstausch gedrängt werden. Durch die direkte Setzung des Zielliveaus werden Lock-In-Effekte vermieden. KS4 ist das einzige Szenario, in dem die Effizienz gegenüber der Referenzentwicklung (Harthan et al. 2023) maßgeblich gesteigert wird. Das Ordnungsrecht wird durch mäßige finanzielle Förderung flankiert.

Die Szenarien werden insbesondere in der ökonomischen Folgenabschätzung mit einem **Referenzszenario (REF)** verglichen. Darin sind die Instrumente gemäß Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2023 hinterlegt (Harthan et al. 2023; Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut 2023). Damit ist es ein kontrafaktisches Szenario v.a. ohne Novelle des Gebäudeenergiegesetzes und der Bundesförderung für effiziente Gebäude, was dem zeitlichen Verlauf des Forschungsprojektes geschuldet ist.

Tabelle 2-2: Übersicht der Ausgestaltung der Instrumente in den Szenarien

Instrumente	KS1 „Policy-Mix“	KS2 „ETS/BEHG-Preis“	KS3 „Einheitlicher THG-Preis“	KS4 „Ordnungsrecht“
Ökonomische Instrumente				
Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	<p>„Baugipfel extended“²: Höhere Fördersätze für den Heizungstausch als im Dezember 2023 novellierten BEG:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grundförderung Wärmeerzeuger 30 % - Einkommensbonus 30 % - Höherer und längerer Klimageschwindigkeitsbonus: 25 % von 2024 bis 2030, Abschmelzen bis 2037 <p>Fördersätze für energetische Sanierungen gemäß BEG WG 2022 und BEG EM 2023</p>	Abschmelzen der Heizungsförderung bis 2030 auf 0 %	Wie KS2	Nur Grundförderung von 30 % für Heizungstausch, kein Einkommensbonus, kein Klimageschwindigkeitsbonus
Steuerliche Förderung der Gebäudesanierung	„Baugipfel extended“: 30 % von 2024 bis 2030, danach wieder 20 %	Abschmelzen bis 2030 auf 0%	Wie KS2	20 % gemäß Einkommenssteuergesetz §35c
Senkung Wärmepumpen-Strompreis	Zusätzlicher Anreiz für den Umstieg auf eine Wärmepumpe durch eine Besserstellung von Wärmepumpen-Stromtarifen von 2024 bis 2035 ³ :	Keine Förderung des Wärmepumpenstroms	Wie KS2	Wie KS2

² 2023 hatte die Bundesregierung sich auf Maßnahmen geeinigt, um die Baubranche zu unterstützen (BMWSB 2023). Dieser sogenannte „Baugipfel“ wurde allerdings nur in Teilen umgesetzt.

³ Eine rechtliche Prüfung zur Senkung der Strompreisbestandteile ist in diesem Projekt nicht erfolgt.

Instrumente	KS1 „Policy-Mix“	KS2 „ETS/BEHG-Preis“	KS3 „Einheitlicher THG-Preis“	KS4 „Ordnungsrecht“
	<ul style="list-style-type: none"> - Senkung Stromsteuer auf EU-Minimum - Senkung Mehrwertsteuer von 19 % auf 7 % - KWK- und Offshore-Umlage entfallen (§ 22 Energiefinanzierungsgesetz) - Absenkung der Konzessionsabgabe (ggf. Kompensation der Kommunen durch den Bund) - Förderprogramm „Flex-Prämie“ für Extra-Zähler für Wärmepumpenstrom und Anlagentechnik zur Optimierung von PV-Eigenverbrauch und netzdienlicher Betriebsweise - Verpflichtung, dass Netzbetreiber, günstigere Wärmepumpen-Stromtarife anzubieten 			
Weisse-Zertifikate-System	Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems nach Artikel 9 EED mit moderaten Einsparanforderungen an die Verpflichteten (z.B. Stadtwerke).	Wie in KS1	Wie in KS1	Wie in KS1
CO ₂ -Bepreisung (BEHG/ETS-2)	Es wird der CO ₂ -Preispfad gemäß ProJEKTionsbericht 2023 (Mendelevitch et al. 2022) verwendet: 95/197€ _{2019/tCO₂} in 2030/2045	Der CO ₂ -Preispfad steigt von 2027 bis 2030 sprunghaft auf 360€ _{2019/tCO₂} an und sinkt bis 2045 auf 250€ _{2019/tCO₂}	Der CO ₂ -Preispfad steigt von 2027 bis 2030 sprunghaft auf 360€ _{2019/tCO₂} an, fällt durch die Einführung eines sektorübergreifenden ETS auf 250€ _{2019/tCO₂} im Jahr	Wie in KS1

Instrumente	KS1 „Policy-Mix“	KS2 „ETS/BEHG-Preis“	KS3 „Einheitlicher THG-Preis“	KS4 „Ordnungsrecht“																												
			2031 und steigt bis 2045 weiter an auf 350€ _{2019/tCO₂} .																													
Ordnungsrechtliche Instrumente																																
Energetische Mindesteffizienzstandard (MEPS)	Nur für Nichtwohngebäude: „worst 15/25%“ in 2030/2034 ⁴ , Primärenergie als Anforderungsgröße, d.h. Heizungstauch als Erfüllungsoption	Wie KS1	Wie KS1	<p>Ambitionierte Ausgestaltung für Wohn (WG)- und Nichtwohngebäude (NWG) auf Basis des Kommissionsvorschlags (EC 2021) zur Revision der EPBD inkl. einer Fortführung mit folgenden Schwellenwerten:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2027</th> <th>2030</th> <th>2033</th> <th>2036</th> <th>2042</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>WG</td> <td>F</td> <td>E</td> <td>D</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NWG</td> <td>F</td> <td>E</td> <td>D</td> <td>C</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Effizienzklasse EPBD</th> <th>F</th> <th>E</th> <th>D</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Worst %</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>		2027	2030	2033	2036	2042	WG	F	E	D	C		NWG	F	E	D	C		Effizienzklasse EPBD	F	E	D	C	Worst %	30	45	60	75
	2027	2030	2033	2036	2042																											
WG	F	E	D	C																												
NWG	F	E	D	C																												
Effizienzklasse EPBD	F	E	D	C																												
Worst %	30	45	60	75																												
Mindesteffizienz im Neubau	Keine Vorgaben über das GEG 2023 hinaus	Wie KS1	Wie KS1	Einführung von EH40 für Neubau ab 2025																												
Anschluss- und Benutzungzwang Fernwärme	Moderate Anwendung seitens Kommunen	Wie KS1	Wie KS1	Verstärkte Anwendung seitens Kommunen																												

⁴ Diese Ausgestaltung entspricht der Position des Rates (Council of the European Union 2022) in den Trilog-Verhandlungen zur Revision der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD). Das finale Verhandlungsergebnis ist sehr nah an der Position des Rates mit den Schwellenwerten „worst 16/26%“ in 2030/2033 (EP 2024).

Instrumente	KS1 „Policy-Mix“	KS2 „ETS/BEHG-Preis“	KS3 „Einheitlicher THG- Preis“	KS4 „Ordnungsrecht“
Mindesteffizienzstandards für Produkte	Je Technologiegruppe (z.B. Kühl-schränke) wird ab 2030 die niedrigste Energieeffizienzklasse vom Markt genommen. Ab 2040 folgt die zweitniedrigste Effizienzklasse.	Wie KS1	Wie KS1	Zusätzlich zu KS1 wird 2040 eine je Technologiegruppe weitere Effizienzklasse vom Markt genommen.

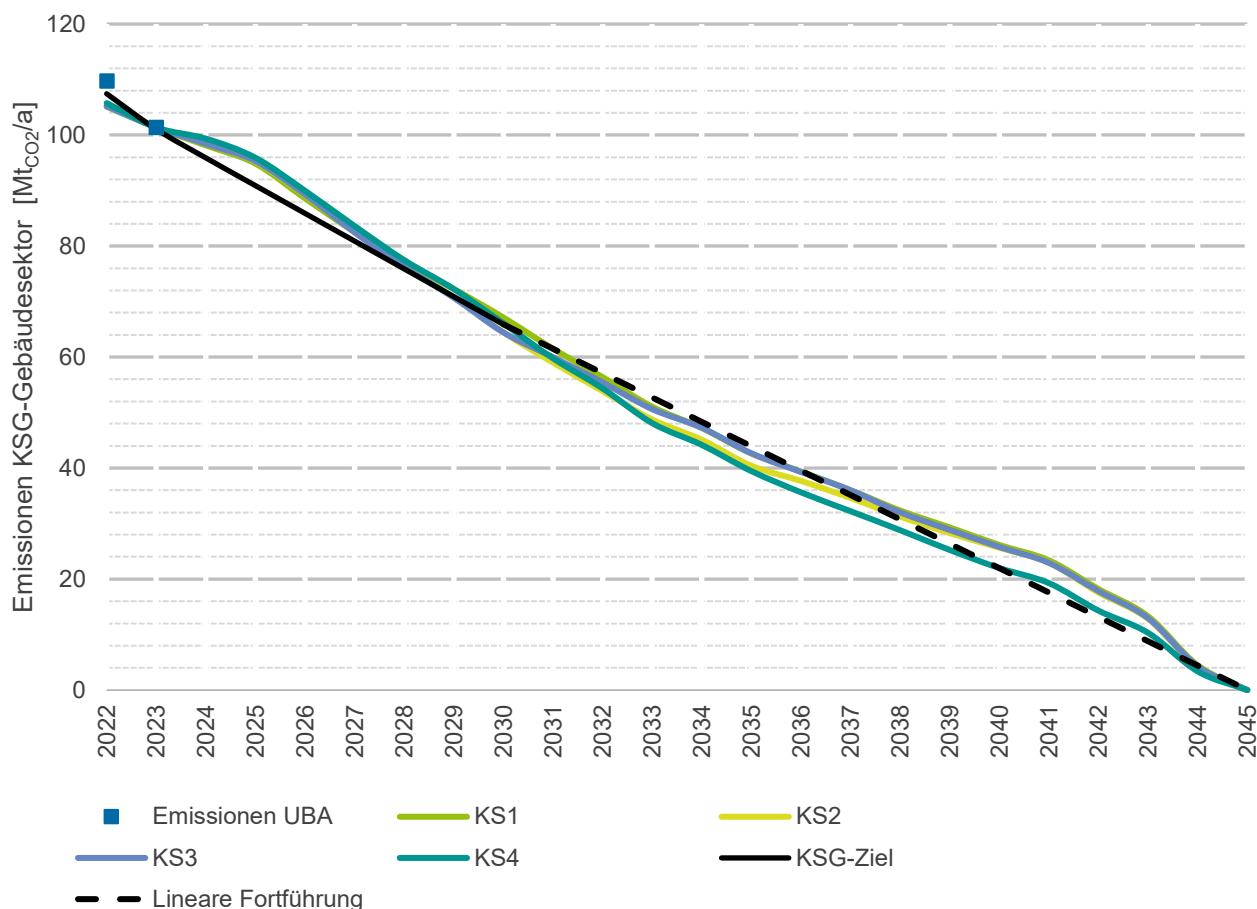
Quelle: BMWK (2022); BMWK (2023); BMWSB (2023), eigene Annahmen Öko-Institut

3 Folgenabschätzung

3.1 THG-Emissionen

Der Verlauf der THG-Emissionen in den vier Szenarien wird in Abbildung 3-1 dargestellt. Gezeigt werden die Sektoremissionen in der Sektorlogik des Klimaschutzgesetz (KSG 2021). Diese beinhaltet die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Gebäuden im Subsektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), die Nutzung von Gasherden im Haushaltssektor sowie die Emissionen aus dem Brennstoffeinsatz für Prozesse in GHD und Militär.

Abbildung 3-1: THG-Emissionen im KSG-Gebäudesektor



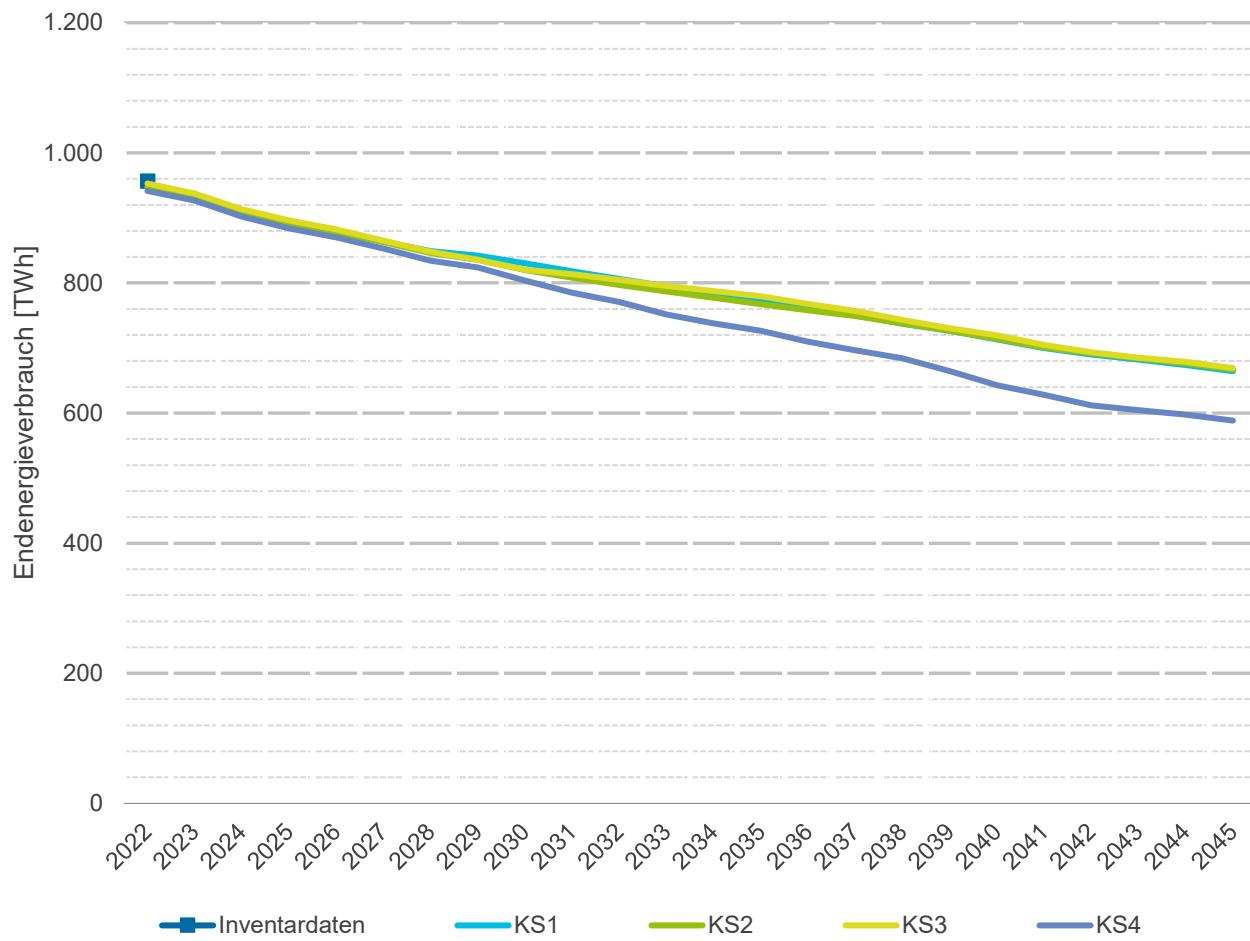
Quelle: UBA (2024), Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Bis 2030 sieht der THG-Pfad der Szenarien sehr ähnlich aus: Das 2030er Ziel wird in KS1 und KS4 knapp erreicht. In KS2 und KS3 wird es leicht unterschritten. Das liegt daran, dass der hohe CO₂-Preis das Heizen mit Erdgas und Heizöl derart verteuert, dass als Preisreaktion weniger geheizt wird. KS4 hält in jedem Jahr das KSG-Ziel ein, insbesondere aufgrund ambitionierter MEPS, die sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude einen klaren Sanierungspfad vorgeben. In den anderen drei Szenarien kommt es in den 2040ern zu einem Austausch fossiler Kessel vor Ende ihrer Lebensdauer.

3.2 Endenergieverbrauch

Die Rolle der Effizienz in den Szenarien wird in Abbildung 3-2 veranschaulicht. Lediglich KS4 hat mit MEPS ein zusätzliches Instrument, das energetische Sanierungen und energieeffiziente Produkte verstkt anreizt und damit Endenergie einspart. In KS2 und KS3 kommt es vorrübergehend um das Jahr 2030 zu Mehreinsparungen gegenüber KS1 durch angepasstes Heizverhalten infolge der hohen CO₂-Preise.

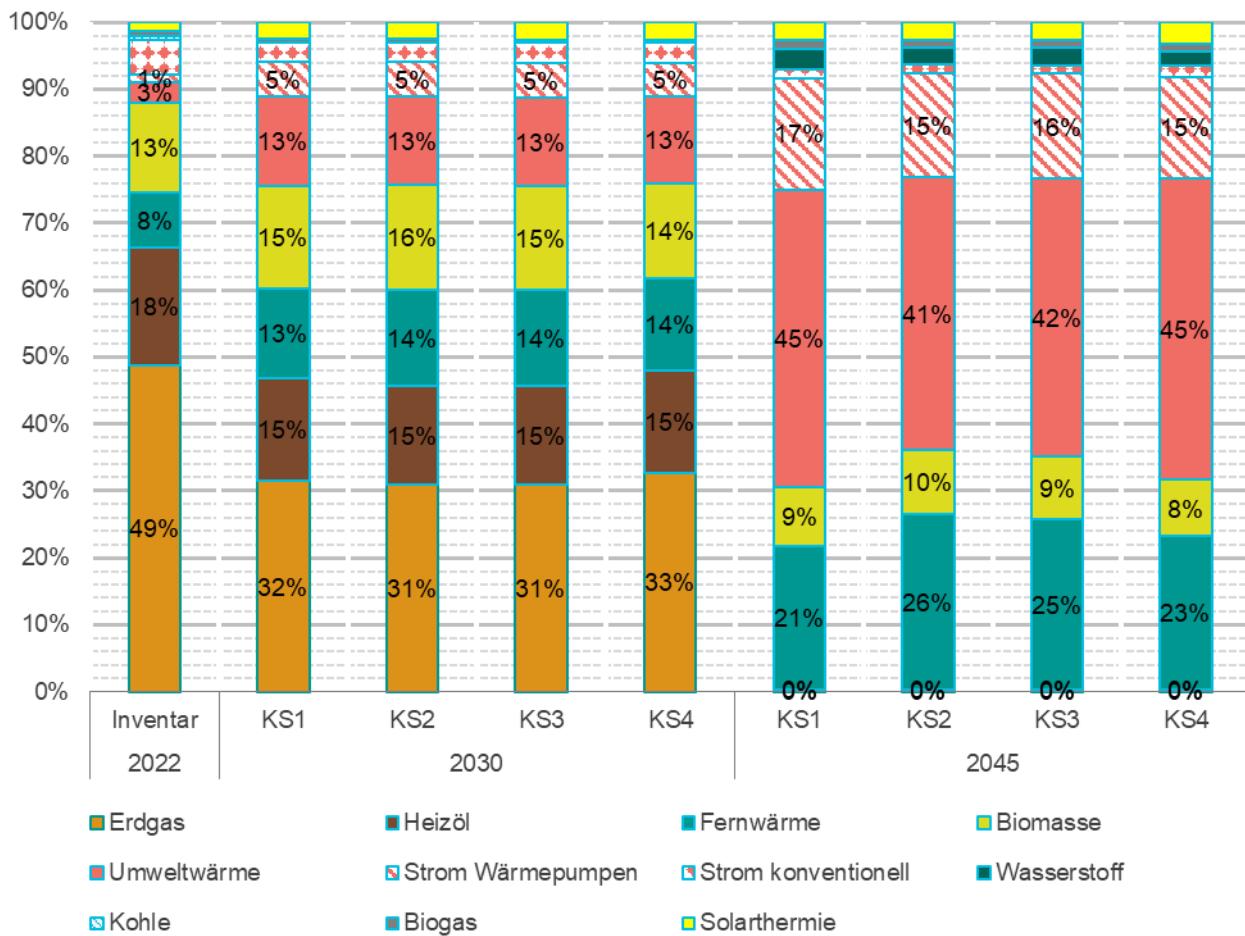
Abbildung 3-2: Endenergieverbrauch im KSG-Gebäudesektor



Quelle: Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Abbildung 3-3 zeigt die Energieträgerverteilung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser. Insgesamt ähneln sich die Szenarien stark. Bis 2045 sinkt der Anteil fossiler Brennstoffe auf null. In KS1 ist der Anteil an Wärmepumpen etwas höher. Grund dafür sind die verbesserten Förderbedingungen für Wärmepumpen. In KS2 und KS3 ist der Anteil an Biomasse und Fernwärme als erneuerbare Alternativen höher, da diese Optionen aufgrund der ausbleibenden Förderung für den Heizungstausch weniger kapitalintensiv sind. In KS4 ist zudem der Anteil der Fernwärme leicht höher als in KS1 aufgrund von mehr kommunaler Anschluss- und Benutzungszwnge. Wasserstoff und Biogas spielen in allen Szenarien eine untergeordnete Rolle, kommen im Ziel- system allerdings zum Einsatz. Der Anteil fester Biomasse ist begrenzt durch die Annahme der nationalen Verfügbarkeit und der Vorgabe im Szenario-Design keine Biomasse zu importieren.

Abbildung 3-3: Anteil je Energieträger am Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im KSG-Gebäudesektor



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Abbildung 3-4 zeigt dagegen die Aufteilung nach Energieträgern für Geräte und Prozesse im Gebäudesektor. Bereits aus den Bestandsdaten ist ersichtlich, dass Strom der dominierende Energieträger ist. Neben Gasherden im Haushaltssektor werden im GHD-Sektor fossile Energieträger wie Erdgas, Benzin und Diesel für Prozesswärme sowie Motoren und andere Querschnittstechnologien eingesetzt. Bis zum Jahr 2030 kommt es zu einer leichten Verschiebung, die auf schnelle Effizienzfortschritte bei elektrisch betriebenen Prozessen zurückzuführen ist. Getrieben durch die stark steigende CO₂-Bepreisung und höhere Anforderungen an die Energieeffizienz werden die verbleibenden fossil basierten Prozesse bis 2045 weitgehend elektrifiziert oder durch Biomasse und Biokraftstoffe ersetzt. Ähnlich wie bei Raumwärme und Warmwasser (Abbildung 3-3) unterscheiden sich die Szenarien nur geringfügig in der Verteilung der Energieträger.

Abbildung 3-4: Anteil je Energieträger am Endenergieverbrauch für Geräte und Prozesse im KSG-Gebäudesektor



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

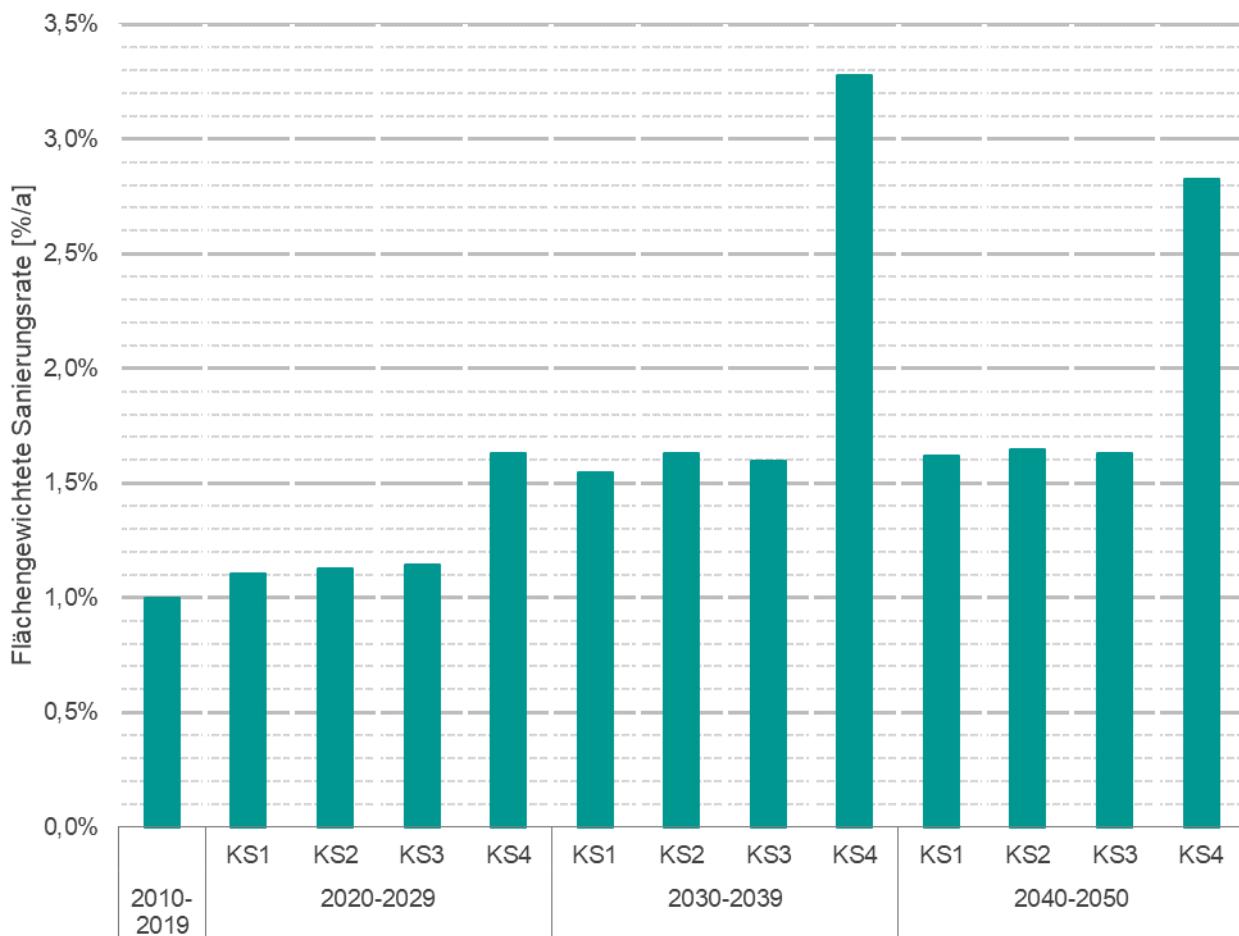
3.3 Energetische Sanierungsrate

Neben dem Wechsel des Energieträgers (Heizungstausch) ist die energetische Sanierung der Gebäudehülle (Dämmung) ein wesentlicher Indikator für den Fortschritt der Wärmewende. Dieser wird gemeinhin als flächengewichtete Sanierungsrate in Bezug auf Vollsanierungsäquivalente angegeben. Eine Sanierungsrate von 1 % pro Jahr bedeutet, dass 1 % der Gebäudehüllfläche (Außenwand, Dach, Fenster) in einem Jahr saniert werden, d.h. die Komplettsanierung des Gebäudebestands 100 Jahre dauern würde. In die energetische Sanierungsrate halten nur Bauteilflächen Einzug, deren Wärmeschutz sich verbessert. Das bedeutet keine Renovierungen.

Abbildung 3-5 zeigt die Sanierungsrate für Wohngebäude. Die Szenarien KS1, KS2 und KS3 ähneln sich stark, da dieselben Instrumente hinterlegt sind, die Sanierungen anreizen. In den 2030er und 2040er Jahren steigert sich die Sanierungsrate gegenüber historischen Werten, obwohl keine weiteren Effizienzinstrumente wirken. Das liegt an der Modellierung des Gebäudebestands, in der angenommen wird, dass nach Ablauf einer festen Lebensdauer die Möglichkeit zu einer energetischen Sanierung besteht. Ab 2030 erreichen mehr Gebäude im Modell auf Basis der statistischen Altersverteilung das Ende ihres Reinvestitionszyklus. Die Sanierungsrate in KS2 und KS3 ist leicht höher

als in KS1, da der hohe CO₂-Preis in geringem Maße zu zusätzlichen Effizienzmaßnahmen anreizt. KS4 zeichnet sich durch eine sehr hohe Sanierungsrate aus, die darin begründet liegen, dass die unterstellten Mindesteffizienzstandards eine hohe Zahl an Sanierungen auslösen.

Abbildung 3-5: Energetische Sanierungsrate Wohngebäude



Quelle: Cischinsky und Diefenbach (2018), Berechnungen Öko-Institut

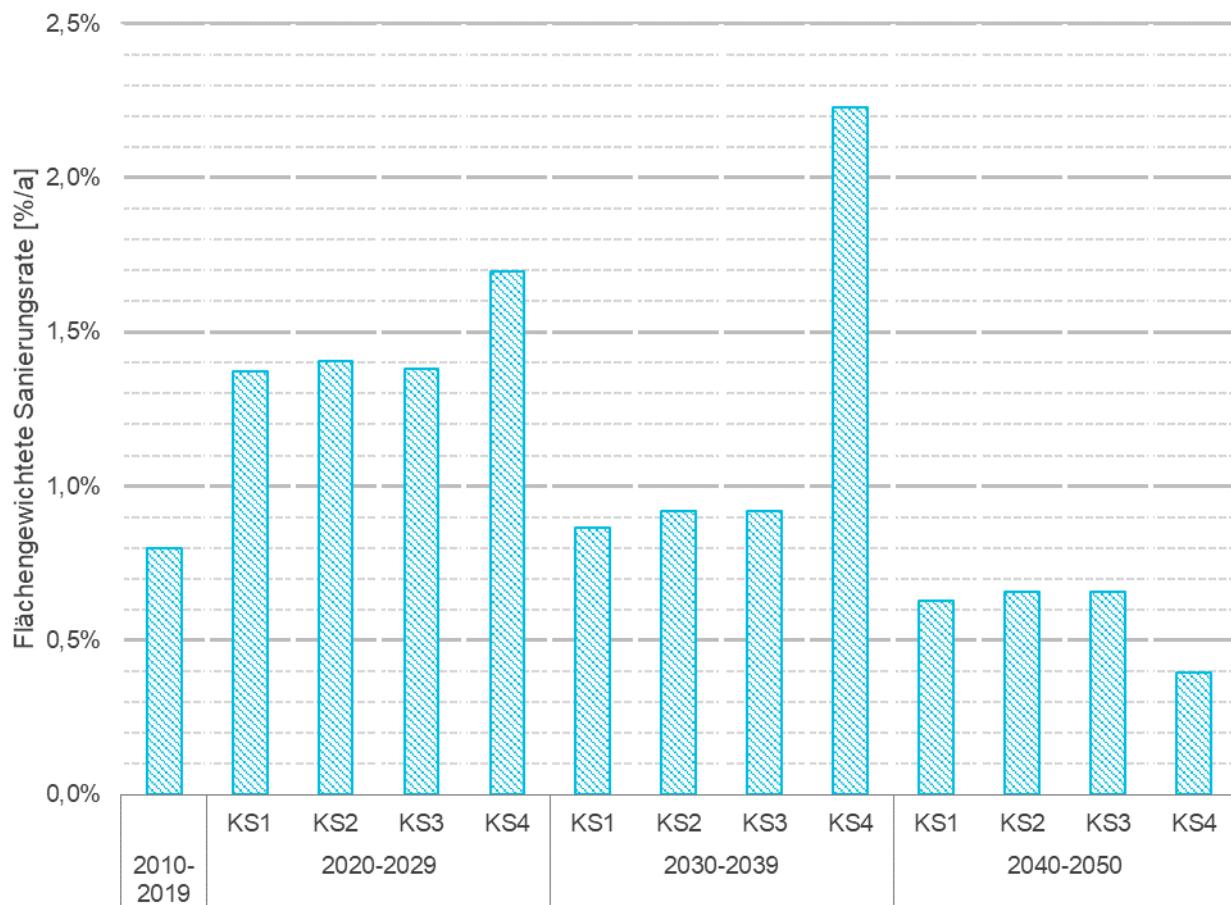
Abbildung 3-6 zeigt die Sanierungsrate für Nichtwohngebäude. In allen Szenarien sind Mindesteffizienzstandards (MEPS) für die „worst performing“ Nichtwohngebäude enthalten mit den Schwellenwerten 15 %/25 % in 2030/2034⁵. In der zweiten Hälfte der 2020er steigt die Sanierungsrate dadurch besonders stark. In der Modellierung wird angenommen, dass die Sanierungsmaßnahmen zur Erreichung des 2030er Schwellenwerts in den Jahren davor getätigten werden. Außerdem werden Sanierungsentscheidungen vorausschauend getroffen, d.h. Gebäude, die ihren natürlichen Reinvestitionszyklus erreichen, sanieren direkt auf das Zielniveau der MEPS. Der zweite Schwellenwert liegt in den 2030ern, weshalb hier die Sanierungsrate auch leicht erhöht ist gegenüber der Historie.

Im Szenario KS4 werden die Anforderungen weiter fortgeführt, was zu einem starken Anstieg der Sanierungsaktivität führt. In den 2040ern fallen in allen Szenarien weniger Sanierungen an, da

⁵ Diese Ausgestaltung entspricht der Position des Rates in den Trilog-Verhandlungen zur Revision der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD). Das finale Verhandlungsergebnis ist nah an der Position des Rates mit den Schwellenwerten „worst 16/26%“ in 2030/2033.

MEPS zu Vorzieheffekten führen. In den Szenarien KS1, 2 und 3 führt das Anhalten der Anforderungssystematik beim Schwellenwert 25 % zudem in geringem Maß zu Lock-In-Effekten, da nicht die gesamte Gebäudehülle saniert wird, sondern nur ausgewählte Bauteile, um den Schwellenwert zu erreichen.

Abbildung 3-6: Energetische Sanierungsrate Nichtwohngebäude



Quelle: Hörner et al. (2021), Berechnungen Öko-Institut

3.4 Sektorale ökonomische Folgen

Die Wärmewende basiert auf Investitionen in Wärmeerzeuger und Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle. In diesem Kapitel werden die ökonomischen Folgewirkungen der einzelnen Szenarien miteinander verglichen. Die Investitionen bzw. Energiekosteneinsparungen werden zu den Stützjahren 2030, 2040 und 2045 betrachtet.⁶

Abbildung 3-7 zeigt die relevanten Investitionskosten im Gebäudesektor. Die Hälfte der Investitionen ist bedingt durch die Neubauaktivität. Diese ist in allen Szenarien nahezu gleich zur Referenz und über die Jahre als konstant zu heutigem Niveau angenommen. In KS4 sind die Neubaukosten leicht erhöht durch eine Verschärfung des Neubaustandards auf Effizienzhaus-40-Niveau ab 2025.

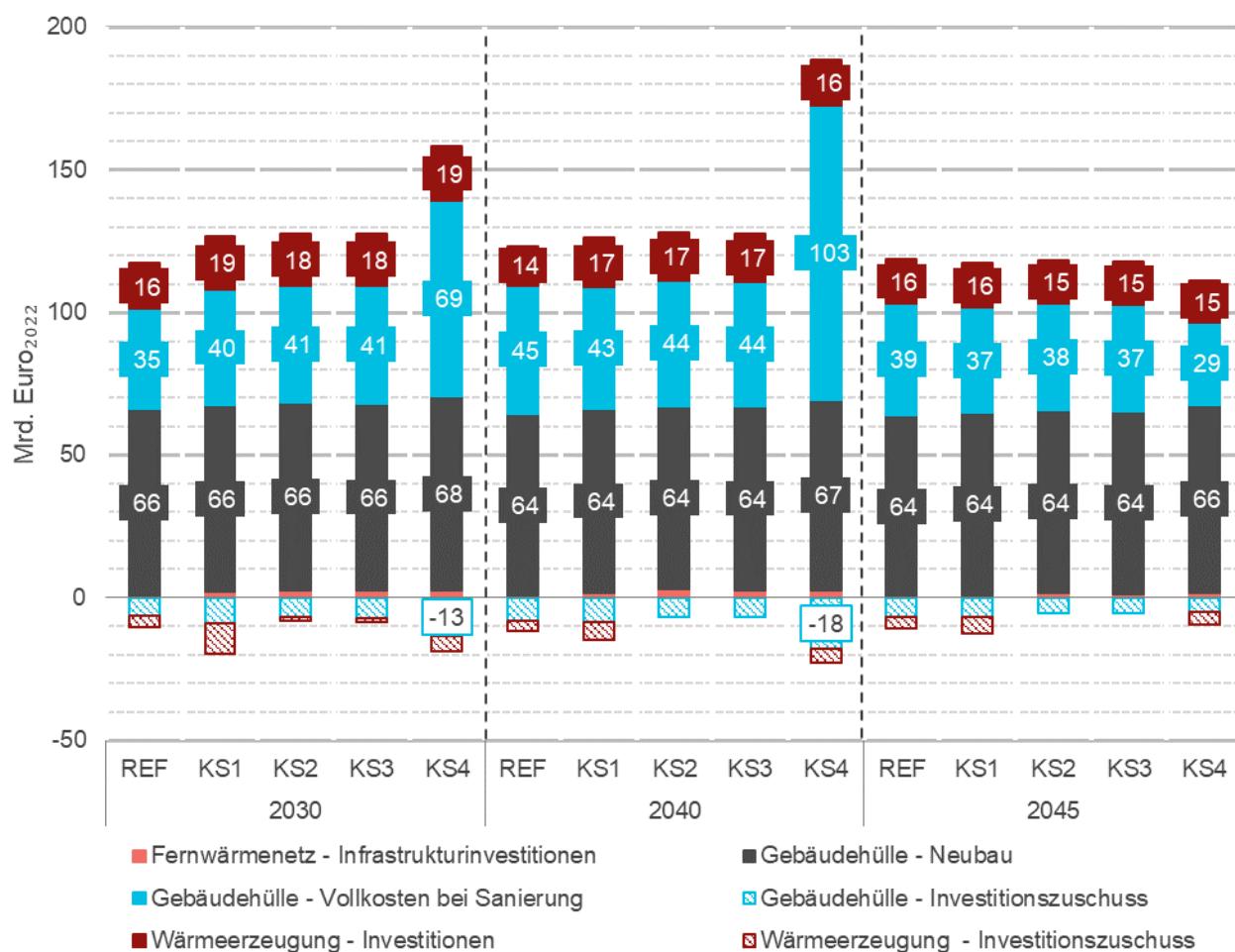
⁶ Beispiel: Der Wert im Stützjahr 2030 entspricht dem Mittelwert aus den Jahren 2028 bis 2032.

Die Investitionen in Wärmeerzeuger⁷ sind für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors zentral – ihre Investitionskosten machen jedoch nur einen geringen Anteil aus. Sie sind über alle Szenarien nahezu gleich hoch, wobei im Referenzszenario weiterhin Gas- und Ölkessel installiert werden, die gegenüber erneuerbaren Heizungstechnologien geringere Investitionskosten aufweisen. In KS1 wird der Heizungstausch stärker gefördert als in den anderen Szenarien – vor allem um das Jahr 2030.

In den Szenarien KS1-3 wird annähernd gleich viel gedämmt, was sich in den aufgebrachten Vollkosten bei Sanierung der Gebäudehülle niederschlägt (Dämmung Außenwand, Dach, Fußboden, obere Geschossdecke, Austausch Fenster). Durch energetische Mindesteffizienzstandards (MEPS) für Nichtwohngebäude sind die Effizienzinvestitionen in den Zielszenarien höher als in der Referenz. Die Ausnahme bildet KS4, bei dem das Anforderungsregime der MEPS für Nichtwohngebäude fortgeführt und zusätzlich MEPS für Wohngebäude eingeführt werden. Im Ergebnis steigen die Investitionen in die Hüllflächensanierung stark an.

Außerdem werden Investitionen in den Ausbau von Wärmenetzen gezeigt (nur Leitungen, ohne Erzeugungspark), die aus dem Anteil der Fernwärmeanschlüsse abgeleitet werden und zwischen den Szenarien leicht variieren gemäß Abbildung 3-3.

⁷ Dazu zählen Investitionen in: Wärmepumpe, Holzheizung, Übergabestation Wärmenetz, Gaskessel, Heizölkessel, Solarthermieranlage, elektrische Direktheizung, Warmwasserboiler, Erneuerung der Heizungsperipherie, Umstellung auf Zentralheizung.

Abbildung 3-7: Mehrinvestitionen und Investitionszuschüsse

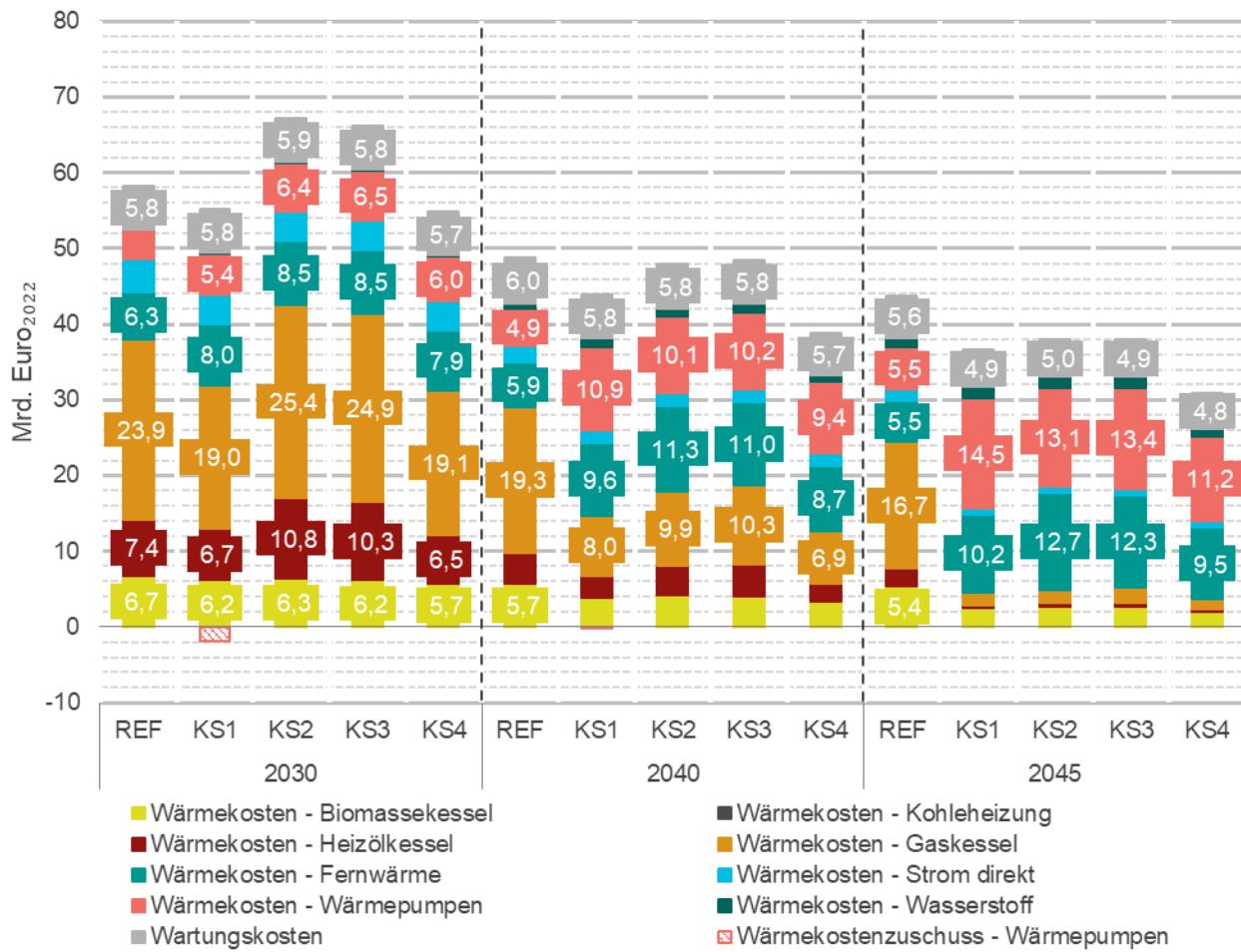
Quelle: Eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

Während Investitionskosten nur einmalig anfallen, fallen für die Beheizung und Versorgung von Gebäuden mit Warmwasser jedes Jahr Betriebskosten an. Der Großteil davon sind Wärmekosten, ein kleiner Anteil sind Kosten für Wartung und Instandhaltung. Die Wärmekosten ergeben sich aus dem Energieverbrauch bzw. der Effizienz je Szenario und den Kosten je Energieträger. Abbildung 3-8 zeigt den Vergleich zwischen den Szenarien in Bezug auf Endverbrauchspreise (inkl. Steuern). Für alle Szenarien werden dieselben Energiepreisprojektionen angenommen. Allerdings sind die CO₂-Preise in KS2 und KS3 ab Jahr 2030 deutlich höher als in den anderen Szenarien.

Die Energiekosten für Biomassekessel und Stromdirektheizungen sind in allen Szenarien nahezu gleich. In den Zielszenarien KS1 bis KS3 sind zudem die Kosten für Strom in Wärmepumpen nahezu gleich. Entsprechend der Energieträgerverteilung aus Abbildung 3-3 sind die Kosten für Fernwärme in den Szenarien KS2 und KS3 leicht höher, weil mehr Fernwärme bezogen wird. Die Endverbrauchspreise für Heizöl und Erdgas sind um 2030 in KS2 und KS3 höher als KS1 aufgrund stark gestiegener CO₂-Preise. Im Referenzszenario sind die Energiekosten für Gas und Heizöl in den Jahren 2040 und 2045 höher als in den Zielszenarien, weil mehr fossile Kessel im Betrieb sind. In KS4 sind die Energiekosten insgesamt niedriger, weil mehr Gebäude infolge der MEPS gedämmt sind und somit weniger Energie verbrauchen. Das Szenario KS1 hat die Besonderheit, dass um das Jahr 2030 herum der Strompreis für Wärmepumpen subventioniert wird (Betriebskostenzuschuss).

Wärmepumpen). Wasserstoff kommt nur in sehr wenigen Gebäude zum Einsatz. Dort fallen in den 2040ern hohe Kosten an.

Abbildung 3-8: Wärmekosten und Wärmekostenzuschüsse



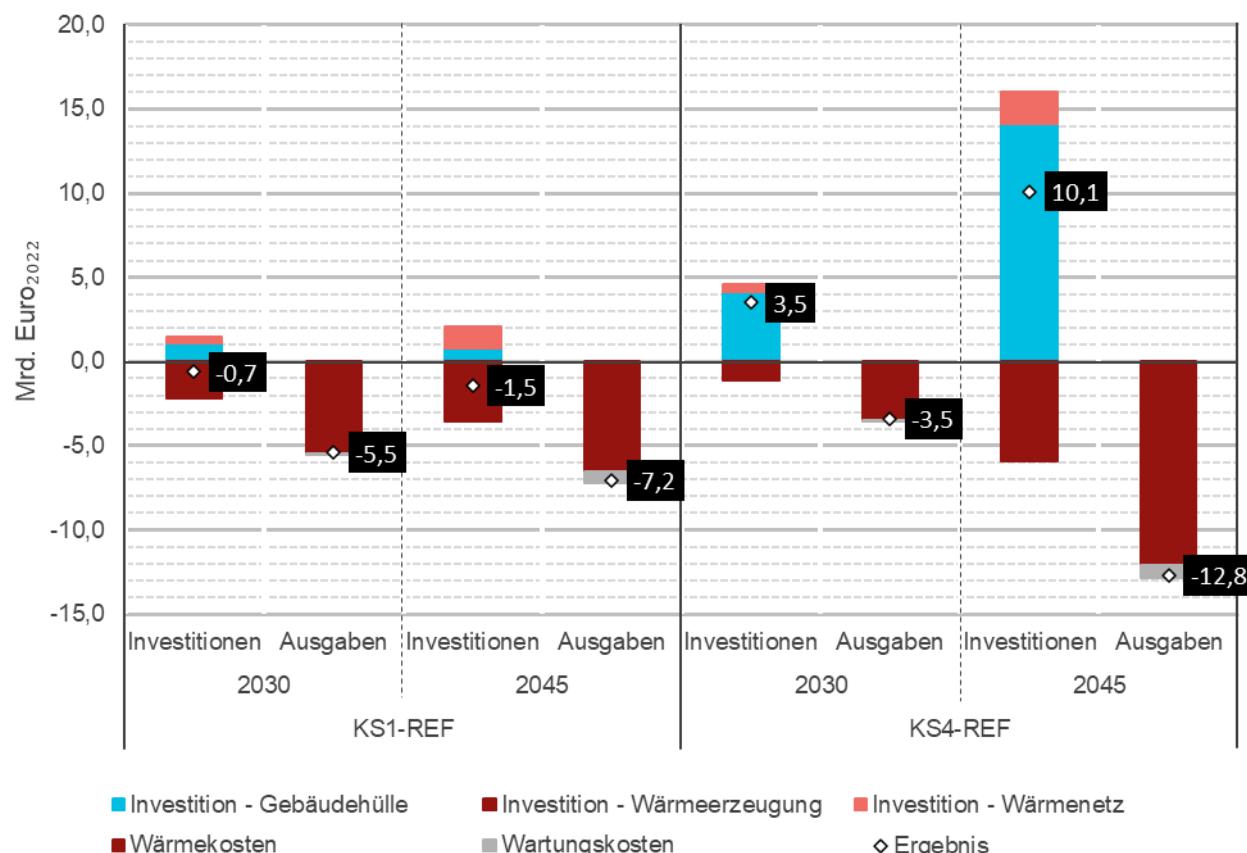
Quelle: Eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

Um die zusätzlichen Investitionen mit den dadurch bewirkten Wärmekosteneinsparungen verglichen zu können, werden die Mehrinvestitionen für Modernisierungen der Gebäudehülle und Anlagentechnik in jährliche Annuitätenzahlungen umgelegt. Annuitäten werden über die Lebensdauer der Anlagen und mit einer Diskontrate von 4 % berechnet. In Abbildung 3-9 und Abbildung 3-10 werden diese annuisierten Investitionen und die Wärmekosten für zwei Stützjahre im Vergleich der Klimaschutzszenarien je zur Referenz illustriert. Die Betrachtung erfolgt aus Sicht der Investoren unter Berücksichtigung von Förderung, Steuern und CO₂-Kosten.

Für die Szenarien KS1 und KS4, siehe Abbildung 3-9, übersteigen die Einsparungen die annuisierten Investitionen. Das bedeutet, dass beide Szenarien wirtschaftlich darstellbar sind. Im KS1 wird mehr investiert als in der Referenz. Allerdings ist auch die Förderung höher, sodass sich insgesamt ein geringerer Eigenmittelbedarf für Investoren ergibt. Im KS1 wird hauptsächlich in Heizungstechnologien (v.a. Wärmepumpen) investiert. Dadurch werden Wärmekosteneinsparungen erzielt gegenüber der Referenz, in der ab 2030 für mehr Gebäude CO₂-Kosten anfallen. In KS4 wird aufgrund der ordnungsrechtlichen Vorgaben zusätzlich in die Verbesserung des Wärmeschutzes investiert. Die Förderung trägt deutlich zur Wirtschaftlichkeit der Sanierungen bei. Die

Sanierungsrate ist höher als in der Referenz und es wieder ambitionierter saniert. Dadurch lassen sich deutliche Einsparungen erreichen. Im Jahr 2030 liegen die annuisierten Investitionen noch in etwa gleich mit den Einsparungen, im Jahr 2045 übersteigen die Einsparungen die annuisierten Mehrinvestitionen um fast 3 Milliarden Euro.

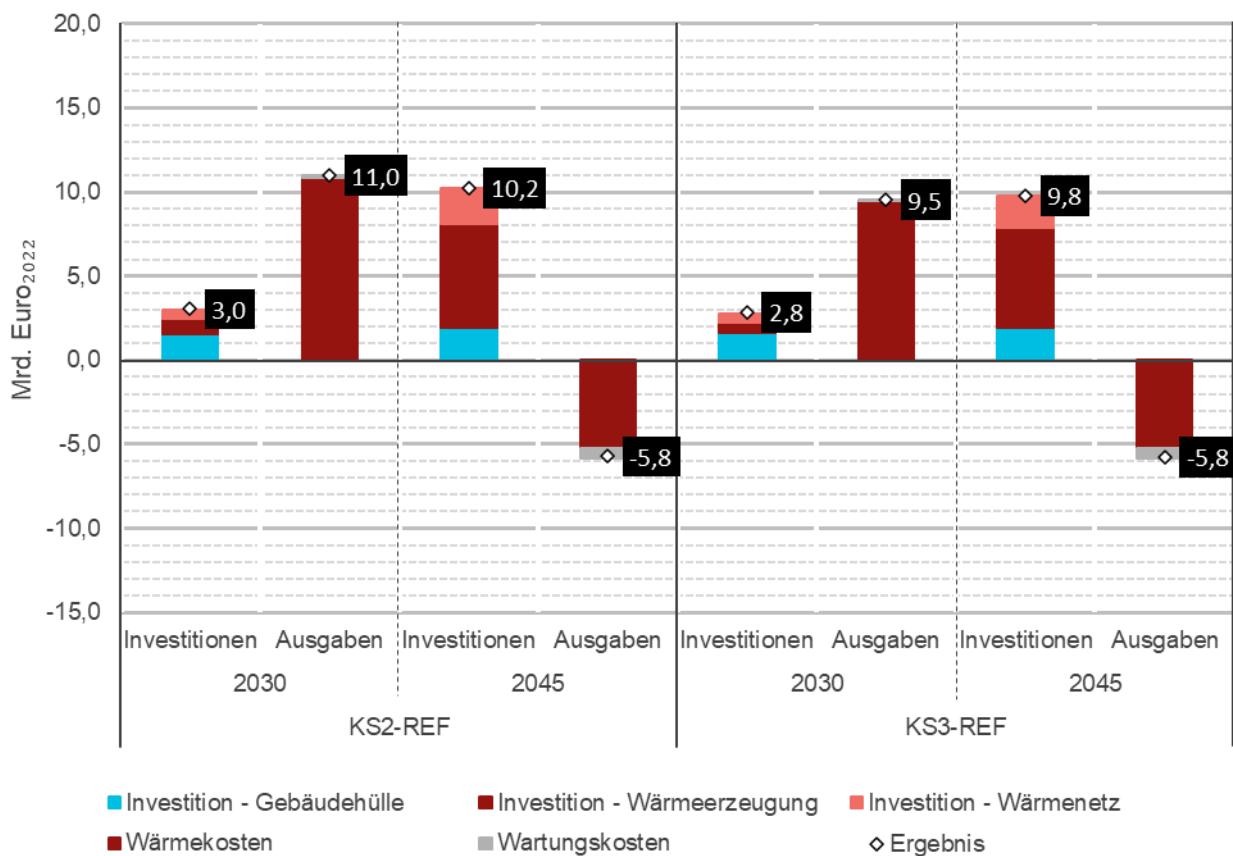
Abbildung 3-9: Annuierte energetische Mehrinvestitionen sowie Wärmekosteneinsparungen für die Szenarien KS1 und KS4 im Vergleich zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

Etwas anders gestaltet sich das Bild für die CO₂-Preisszenarien KS2 und KS3, siehe Abbildung 3-10: Zwar wird auch hier in Heizungstausch und Gebäudesanierung investiert. Allerdings erhalten die Investoren keine zusätzliche Förderung. Der CO₂-Preis führt zu deutlich höheren Ausgaben bei Gebäuden, die noch mit fossilen Brennstoffen heizen. Einsparungen ergeben sich erst nach der Wirkung des Preissignals. Im Jahr 2045 belaufen die Einsparungen gegenüber der Referenz sich auf knapp sechs Milliarden Euro. Sie reichen allerdings nicht aus, um die Mehrinvestitionen von ca. 10 Milliarden Euro zu kompensieren. In der Modellierung erzielt ein hoher CO₂-Preis dieselbe Anreizwirkung zum Austausch von fossilen Wärmeerzeugern. Allerdings entstehen bei den Gebäuden, bei denen ein Heizungstausch nicht unmittelbar möglich ist, hohe CO₂-Kosten. Die Einsparungen nach Heizungstausch und Sanierung reichen nicht aus, um aus Investorenperspektive Wirtschaftlichkeit herzustellen.

Abbildung 3-10: Annuierte energetische Mehrinvestitionen sowie Wärmekosteneinsparungen für die Szenarien KS2 und KS3 im Vergleich zur Referenz



Quelle: Eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

4 Kernbotschaften

- Die konsequente Umsetzung der 65 %-EE-Regel im GEG ist für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors von zentraler Bedeutung. In den Zielszenarien wird angenommen, dass der Anteil neuer Gas- und Ölheizungen bereits ab 2024 stark zurückgeht. Diese Entwicklung spiegelt sich jedoch noch nicht in der Realität wider: Im ersten Quartal 2024 waren – trotz späterer Mindestquoten für erneuerbare Brennstoffe⁸ – drei Viertel der abgesetzten Heizungsanlagen Gas- oder Ölketten. Ein Fortsetzen dieser Dynamik wäre fatal für die Erreichung der Klimaziele im Gebäudesektor.
- Bei einer Kehrtwende sind die Klimaziele im Gebäudesektor dennoch erreichbar. Insbesondere zur Erreichung des Ziels für 2030 sind jedoch weitere wirksame Instrumente erforderlich. Die Szenarien spannen dafür unterschiedliche Lösungsräume auf: Finanzielle Förderung für Wärmepumpenstrom bzw. die Einführung einer Wärmepumpenstrompreisbremse (KS1), bis 2030 stark ansteigende CO₂-Preise (KS2 und KS3) und MEPS für Wohngebäude (KS4). In allen Szenarien wird

⁸ Von 2024 bis Mitte 2026/2028 ist die Installation von Gas- und Heizölkessel zulässig. Allerdings müssen diese Kessel später Mindestquote an erneuerbarem Brennstoff erfüllen: 15 % im Jahr 2029, 30 % im Jahr 2035 und 60 % im Jahr 2040 (§71 Abs. 10 GEG).

zudem ein Weiße Zertifikate System eingeführt, um zusätzliche Dynamik in die Wärmewende zu bringen.

- Um die Dekarbonisierung des Gebäudesektors maßgeblich voranzutreiben, muss ein CO₂-Preis möglichst schnell sehr hoch sein. Die Wirkung kurzfristig stark steigender CO₂-Preise ist jedoch insbesondere für einkommensschwache Haushalte sehr belastend (siehe Kapitel 3.3, Klimaschutzszenarien 2050 – Übergreifender Bericht). Hinzu kommt, dass die Lenkungswirkung einer CO₂-Bepreisung durch lange Reinvestitionszyklen von Heizung und Hülle sowie durch nicht-ökonomische Hemmnisse wie das Investor-Nutzer-Dilemma gehemmt wird.
- Die Zielszenarien unterscheiden sich vor allem deshalb kaum, weil der Lösungsraum klein geworden ist, d.h. sowohl die Hüllflächensanierung als auch der Umstieg auf erneuerbare Heizsysteme angemessene Zielbeiträge leisten müssen. Für eine sichere Zielerreichung sind im Gebäude-sektor Instrumente aller Art in ambitionierter Ausgestaltung erforderlich, z.B.: ökonomische Anreize durch ein Weiße-Zertifikate-System, ein verlässlich (stark) steigender CO₂-Preis (KS2 und KS3), weiterhin hohe Förderung, Senkung der Betriebskosten vor allem von Wärmepumpen (KS1) und Fernwärme sowie ein starkes Ordnungsrecht in Form von GEG und MEPS (KS4).
- KS4 mit ambitionierten MEPS setzt auf eine Effizienzsteigerung. Damit ist die Wärmewende teurer als in KS1 bis 3. Die zusätzlichen Investitionen in Wärmeschutz werden durch die Energiekosten-einsparungen getragen. Weniger Effizienz, wie in KS1-3 bedeutet eine Problemverlagerung in den Energiesektor, der mehr erneuerbaren Strom und mehr klimafreundliche Fernwärme bereitstellen muss, verbunden mit dem Mehrbedarf an vorgelagerter Infrastruktur (insbesondere bei den Stromübertragungs- und -verteilnetzen).
- KS2 und KS3 mit Fokus auf die Anreizwirkung hoher CO₂-Preise stellen sich aus Investorensicht nicht wirtschaftlich da. Trotz hoher Preise wird in vielen Gebäude weiterhin fossil geheizt wegen langer Reinvestitionszyklen und nicht-ökonomischer Hemmnisse (Vermieter-Mieter-Dilemma, fehlende Liquidität, Alter etc.). Die Einsparungen kompensieren die erhöhten CO₂-Kosten nicht.
- Szenarien KS1 und KS4 sind beide wirtschaftlich gegenüber der Referenz. Die höhere Förderung von Wärmepumpen in KS1 senkt den Investitionsaufwand für Investoren. In KS4 wird mehr und ambitionierter saniert. Die dadurch erzielten Wärmekosteneinsparungen übersteigen die Mehrinvestitionen.

Literaturverzeichnis

BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG) (Bundesanzeiger, AT 30.12.2022 B2).

Online verfügbar unter https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-wohngebaeude-20221209.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 26.06.2024.

BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) (Bundesanzeiger, BAnz AT 29.12.2023 B1). Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/TevdpcR9NeEp7m7Rhbj/content/TevdpcR9NeEp7m7Rhbj/BAnz%20AT%202029.12.2023%20B1.pdf?inline>, zuletzt geprüft am 17.04.2024.

BMWSB - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2023): Maßnahmenpaket der Bundesregierung. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/topthemen/Webs/BMWSB/DE/Massnahmenpaket-bauen/massnahmenpaket-artikel.html>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Cischinsky, H.; Diefenbach, N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (Hg.). Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEt-Diefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2024.

Council of the European Union (2022): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings (Recast), General Approach. Online verfügbar unter <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13280-2022-INIT/en/pdf>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

EC - European Commission (2021): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings (Recast). Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:c51fe6d1-5da2-11ec-9c6c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

EP - European Parliament (2024): Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast). Online verfügbar unter <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-102-2023-INIT/en/pdf>, zuletzt geprüft am 26.06.2024.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C. et al. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland (2. Auflage) (Climate Change, 39/2023). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau.

Hörner, M.; Cischinsky, H.; Diefenbach, N. (2021): ENOB: dataNWG Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude, Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle im Bestand der Nichtwohngebäude. Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung; Bergische Universität Wuppertal Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens. Institut Wohnen und Umwelt (Hg.). Darmstadt. Online verfügbar unter

https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/211216_IWU_E4.2-1_Teilbericht_Strukturdaten-Modernisierung-Huelle.pdf, zuletzt geprüft am 10.02.2022.

Mellwig, P. (2024): Klimaschutz in Mietwohnungen: Modernisierungskosten fair verteilen, Kurzstudie zur Weiterentwicklung und Aktualisierung des „Drittelfmodells“. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/energiewende/klimaschutz-in-mietwohnungen-studie-bund-2024.pdf, zuletzt geprüft am 26.06.2024.

Mendelevitch, R.; Repenning, J.; Matthes, F. C. (2022): Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmendaten-fuer-den-projektionsbericht-2023>, zuletzt geprüft am 09.08.2023.

Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut (2023): Treibhausgasprojektionen 2023 für Deutschland, Instrumente im MMS und MWMS. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht2023_instrumente_final.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2023.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2024): Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland, in der Abgrenzung der Sektoren des Klimaschutzgesetzes (KSG). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx, zuletzt geprüft am 28.03.2024.