



# GROSSBAUSTELLE GEBÄUDESEKTOR

Lokal und sozial die  
Wärmewende entfachen

## IMPRESSUM

<b>Herausgeber</b>	WWF Deutschland
<b>Stand</b>	August 2023
<b>Autor:innen</b>	Dr. Sibylle Braungardt, Malte Bei der Wieden, Dr. Tilman Hesse, Tanja Kenkmann, Dr. Matthias Koch, Susanne Krieger (alle Öko-Institut e.V.)
<b>Koordination</b>	Sebastian Breer (WWF Deutschland)
<b>Mitwirkende</b>	Viviane Raddatz, Johann Rathke, Felix Schmidt, Susanne Winter und Johannes Zahnen (alle WWF Deutschland)
<b>Kontakt</b>	sebastian.breer@wwf.de
<b>Gestaltung</b>	Marijke Küsters und Monica Howe, <i>epoqstudio.com</i>

### Bildnachweise

Cover: IMAGO/Silas Stein; S. 2: White Bear Studio/iStock/Getty Images; S. 4: Daniel Seiffert/WWF; S. 9: Bilanol/iStock/Getty Images; S. 12: Vlad Yushinov/iStock/Getty Images; S. 13: mitifo/iStock/Getty Images; S. 19: jirkajc/iStock/Getty Images; S. 24: peterschreiber.media/iStock/Getty Images; S. 27: elxeneize/iStock/Getty Images; S. 32: Martin Murinsky/iStock/Getty Images; S. 43: Wirestock/iStock/Getty Images; S. 45: NAPA74/iStock/Getty Images; S. 47: eyewave/iStock/Getty Images; S. 48: lilly3/iStock/Getty Images; S. 49: hanohiki/iStock/Getty Images; S. 51: surfi/iStock/Getty Images; S. 55: neirfy/iStock/Getty Images; S. 57: Tinnakorn Jorruang/iStock/Getty Images; S. 67: sommersby/iStock/Getty Images; S. 74: freepik; S. 75: Waeske/iStock/Getty Images; S. 77: anyaberkut/iStock/Getty Images; S. 79: ofc pictures/iStock/Getty Images



© 2023, WWF Deutschland, Berlin  
All rights reserved.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>VORWORT</b>	<b>4</b>	<b>4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN</b>	<b>48</b>
<hr/>		4.1 Verteilung der Energieträger	49
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>5</b>	4.2 Altersstruktur und Sanierungszustand	54
<hr/>		4.3 Eigentümer*innenstruktur und sozioökonomische Merkmale	56
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>9</b>	4.3.1 Selbstnutzende Eigentümer*innen	57
<hr/>		4.3.2 Mieter*innen	58
<b>2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS</b>	<b>13</b>	4.4 Effiziente Wohnflächennutzung	62
2.1 Definition von Referenz- und Zielszenario	14	4.5 Verknüpfung mit der kommunalen Wärmeplanung	65
2.2 Ergebnisse	20	4.6 Fallbeispiele	66
2.2.1 Energieeffizienz durch energetische Sanierung (Wärmeschutz durch Dämmung)	20	4.6.1 Großstadtbezirk – Gas	66
2.2.2 Dekarbonisierung durch erneuerbare Wärmeerzeuger	23	4.6.2 Großstadtbezirk – Fernwärme	71
<hr/>		4.6.3 Ländliche Kommune	73
<b>3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG</b>	<b>27</b>	<hr/>	
3.1 Ausgangspunkt: Energieträgermix und CO <sub>2</sub> -Emissionen je Bundesland für die Fernwärmeversorgung in Deutschland im Jahr 2020	28	<b>5. SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>75</b>
3.1.1 Datengrundlage und Methodik	28	<hr/>	
3.1.2 Jährlicher Energieträgereinsatz zur Erzeugung von Fernwärme und KWK-Strom	33	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>81</b>
3.1.3 Treibhausgasemissionen der Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung	35	<hr/>	
3.1.4 Spezifische Treibhausgasemissionen der Fernwärmeversorgung nach der „Finnischen Methode“	36	<b>ANHANG: METHODISCHER ANSATZ FÜR DIE MODELLIERUNG</b>	<b>87</b>
3.1.5 Bundeslandspezifischer Energieträgermix und spezifische Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung nach der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“	40	<hr/>	
3.1.6 Vergleich der spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung nach der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“ und der „Finnischen Methode“	42		
3.2 Zielbild: Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung durch Substitution fossiler Brennstoffe	44		

# VORWORT



**Viviane Raddatz**  
Fachbereichsleitung  
Klimaschutz und  
Energiepolitik,  
WWF Deutschland

**Wir möchten mit der  
vorliegenden Studie  
wieder Dynamik in die  
Gebäudewende bringen.**

Der Gebäudesektor ist eine Großbaustelle für den Klimaschutz. Schlechte Dämmung und emissionsintensive Heizungen sorgen dafür, dass 15 Prozent der Treibhausgasemissionen hierzulande auf das Konto des Gebäudebestands geht. Für die Zukunft ist das nicht länger tragbar. Was es braucht, ist eine umfassende Wärmewende. Mit ihr schaffen wir uns ein klimafreundliches Zuhause. Ohne sie verkommt die Großbaustelle schnell zur Bauruine.

Das Problem: Die Transformation des Gebäudesektors ist schwerfällig, vor allem im Bestand. Energetische Sanierungen brauchen Zeit und verursachen Kosten. Der Um- und Ausbau von Wärmenetzen ebenfalls. Umso wichtiger also, jetzt zügig und entschlossen Änderungen auf den Weg zu bringen: Denn mit den richtigen Maßnahmen lässt sich die Gebäudewende vollziehen, und zwar auf regionale Bedürfnisse angepasst und sozial abgedeckt. Zuletzt allerdings rumpelte es politisch. Wichtige Vorgaben für neue Heizungen und den Anteil erneuerbarer Energien in Wärmenetzen wurden verwässert. Von der Einführung von Mindesteffizienzstandards ist weit und breit nichts zu sehen, obwohl diese als Klimaschutzmaßnahme längst Wirkung entfalten sollten. Und während im Neubau höhere Energiestandards schnell Wirkung entfalten könnten, zögert die Gesetzgeberin auch hier. Dabei ist es nicht nur im Sinne des Klimaschutzes und damit unserer Gesundheit, sondern auch unserer aller Geldbeutel, wenn der Weg wegführt von der fossilen Vergangenheit und Gegenwart.

Wir möchten mit der vorliegenden Studie wieder Dynamik in die Gebäudewende bringen. Sie beschreibt effektive Instrumente für den Klimaschutz im Gebäudesektor, regt die regionale Betrachtung aufgrund von großen örtlichen Unterschieden an, sowie die soziale Begleitung der Maßnahmen, damit alle Menschen vom Fortschritt profitieren können.

Die Studie zeigt, welche Wirkungen feste Vorgaben für den Anteil Erneuerbarer in der Wärmeversorgung entfalten, wie wichtig Mindeststandards für Gebäude sind und warum Fördermaßnahmen für den Heizungstausch und etwa die Einführung des Klimagelds von essenzieller Bedeutung sind.

Für den WWF ist klar, wie sehr die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes hinter ihrem Potential bleibt, denn sie bremst und verunsichert, statt klar zu lenken. Ethische und ökonomische Verantwortung darf nicht allein bei Verbraucher:innen liegen, die Politik muss Orientierung bieten. Unser Konzept könnte dazu dienen, genau dies zu schaffen, wenn die darin enthaltenen Maßnahmen Anwendung finden. Wir wünschen es uns.

# ZUSAMMENFASSUNG

Die Transformation des Gebäudesektors ist zentral für die Erreichung der nationalen Klimaziele sowie für die Reduktion der Importabhängigkeit von Erdgas. Nachdem der Sektor in den Jahren 2020 bis 2022 bereits drei Mal sein im Bundes-Klimaschutzgesetz verankertes Ziel verfehlt hat, müssen zügig ambitionierte Maßnahmen umgesetzt werden, um den Sektor auf seinen Zielpfad zu lenken.

Während viele zentrale Weichen für die Transformation des Sektors auf nationaler Ebene gestellt werden, ist die Wärmewende stark durch lokale Gegebenheiten geprägt: Dazu zählen unter anderem die Struktur des Gebäudebestands (Alter, Zustand, Besiedlungsdichte), die Nachfrage nach Wohnraum (Mietmarkt) und Potenziale für Erneuerbare in der Fernwärme.

Um eine sozialverträgliche Transformation des Gebäudesektors zu erreichen, müssen die Wirkungen der Politikinstrumente für die Wärmewende auf regionaler und lokaler Ebene berücksichtigt und aktiv gestaltet werden. Auch die Nutzung von Fernwärme sowie die weiteren Infrastrukturen, die Struktur des Gebäudebestands und die sozioökonomischen Rahmenbedingungen unterscheiden sich regional deutlich.

**Jetzt zentrale Weichen für die Wärmewende stellen – ansonsten verfehlt der Sektor die langjährigen Klimaschutzziele.**

Vor diesem Hintergrund hat die Studie zum Ziel, einen Transformationspfad für den Gebäudesektor zu erarbeiten und diesen Pfad im Hinblick auf verschiedene Auswirkungen auf lokaler und regionaler Ebene zu untersuchen. Aus den Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen für eine sozialgerechte Transformation des Gebäudesektors abgeleitet.

Die Studie vergleicht zwei Transformationspfade, die mit dem Gebäudemodell Building-STAR die Entwicklung des Sektors bis zum Jahr 2045 vergleichen:



In einem **Referenzszenario** wird die Entwicklung mit dem derzeitigen Instrumentenmix (Stand Mai 2023) betrachtet.



Ein **Zielszenario** zeigt auf, welche Entwicklungen für die Transformation des Sektors notwendig sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Gebäudesektor mit dem aktuellen Politik-Mix (Stand Mai 2023 ohne GEG-Novelle; Referenzszenario) die Klimaschutzziele im Jahr 2030 deutlich verfehlt. Die jährlichen Emissionen liegen um  $15 \text{ Mt}_{\text{CO}_2}/\text{a}$  bzw. 28 Prozent über dem Klimaziel. Im Jahr 2045 liegen die jährlichen Emissionen  $40 \text{ Mt}_{\text{CO}_2}/\text{a}$  über dem Ziel der Klimaneutralität.

### Klimaschutzlücke steigt auf fast 500 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> an.

Die jährlichen Emissionen können jedes Jahr mit dem Zielwert im Klimaschutz verglichen werden, um eine Differenz zu bilden. Addiert man die Ziellücke jedes Jahr, ergeben sich die kumulierten Jahresemissionsmengen im rechten Teil von ► Abbildung 6. Sie steigen mit jedem weiteren Jahr an, in dem die Emissionen über dem Jahresziel nach Klimaschutzgesetz liegen.

Mit dem aktuellen Politik-Mix (Stand 06/2023 ohne GEG-Novelle; Referenzszenario) ergibt sich von 2020 bis 2030 eine kumulierte Gesamtlücke zu den Klimazielen von 99 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub>. Im Jahr 2045 steigt sie auf 498 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub> an.

Im Zielszenario können im Bezug auf die jährlichen Emissionen beide Zielverfehlungslücken durch zusätzliche Instrumente geschlossen werden. Die 65-Prozent-Regel spielt dabei die Hauptrolle, indem sie den Ausstieg aus fossilen Energien einleitet. Für die Erreichung des Klimaziels im Jahr 2030 sind zusätzlich Mindesteffizienzstandards für Bestandsgebäude (MEPS) wichtig. Bezogen auf die kumulierte Ziellücke verfehlt jedoch auch das Zielszenario die Vorgabe in 2030, da der geänderte Politik-Mix erst verspätet wirken kann. Ab 2030 kann dieser Rückstand aufgeholt werden und bis 2045 stößt der Gebäudesektor kumuliert so viele Emissionen aus, als hätte er sich seit jeher auf dem Zielpfad befunden.

Im Bereich der Fernwärme zeigt die vorliegende Studie die regionalen Unterschiede im Energiemix in der Fernwärmeversorgung auf und diskutiert verschiedene Verfahren zur Bilanzierung der Emissionen. Dabei sind vor allem zwei Punkte relevant: erstens die Frage, ob die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen in der Bilanzierung berücksichtigt werden oder nicht und zweitens welche Allokationsmethode für die Bilanzierung von KWK-Anlagen verwendet wird.

Hinsichtlich der Aufteilung der Treibhausgasemissionen auf die Produkte Strom und Fernwärme führt die derzeit noch verwendete Stromgutschriftenmethode dazu, dass die Treibhausgasemissionen vor allem der Stromerzeugung zugewiesen werden, während die Fernwärmeerzeugung nur mit geringen Treibhausgasemissionen bewertet wird. Der dabei verwendete Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix im Stromsystem ist veraltet und berücksichtigt den Ausbau der erneuerbaren Energien nicht ausreichend. Daher sollte der Verdrängungsmix jährlich aktualisiert werden und die Berechnungen besser dokumentiert werden. Im Ergebnis werden bisher die spezifischen Emissionen der Fernwärme unterschätzt. Dies kann zu Fehlanreizen führen, weil dies dazu führt, dass die Standards für die Gebäudedämmung zu niedrig ausfallen und Hausbesitzer\*innen falsche Informationen bezüglich der CO<sub>2</sub>-Intensität dieser Wärmeversorgungs-option erhalten. Daher sollte mittelfristig die Allokationsmethode in der AGFW-Richtlinie und im GEG auf die „Finnische Methode“ oder die „Carnot-Methode“ umgestellt werden.

### Die Transformation der Fernwärmeversorgung ist anspruchsvoll und zudem ein zentrales Element der Wärmewende.

Die Modellierung des Gebäudesektors zeigt, dass die Fernwärme einen zunehmenden Anteil an der Wärmeversorgung einnimmt. Derzeitig basiert die Fernwärmeerzeugung jedoch noch überwiegend auf fossilen Brennstoffen. Um die Fernwärmeversorgung zu dekarbonisieren, ist ein Technologie- und Brennstoffwechsel hin zu Großwärmepumpen, Geothermie, Solarthermie und Abwärme, sowie wenn nötig, auch Wasserstoff und Biomasse von zentraler Bedeutung. Die Transformation der Fernwärmeversorgung ist anspruchsvoll und zudem ein zentrales Element der Wärmewende.

In Bezug auf die Sozialverträglichkeit der Wärmewende zeigt die Studie regionale Unterschiede auf, die sich aus den unterschiedlichen Handlungsbedarfen für verschiedene Gebäudecharakteristika sowie aus der Struktur der Gebäudenutzer\*innen ergeben. Insbesondere ist zwischen selbstnutzenden Eigentümer\*innen und Mieter\*innen zu unterscheiden:



- Im Bereich der vermieteten Gebäude ist die Verteilung der Kosten für Modernisierungen von zentraler Bedeutung:
  - Der Koalitionsvertrag sieht die Prüfung des Umstiegs auf ein Teilwärmemietenmodell vor, in dem die Modernisierungsumlage aufgehen soll. Während Teilwärmemietenmodelle grundsätzlich einen Beitrag zur sozial verträglichen Transformation des Sektors leisten können, hängen die Auswirkungen für Mieter\*innen und Vermieter\*innen stark von den gewählten Ausgestaltungsoptionen ab. Ein Teilwärmemietenansatz trägt somit weder per se zu mehr Mieter\*innenschutz bei, noch werden per se die Anreizstrukturen für Vermieter\*innen gestärkt. Vor dem Hintergrund, dass die Einführung eines Teilwärmemietenmodells mit großer Komplexität und großem administrativen Aufwand verbunden ist, empfiehlt es sich, zunächst einfachere Anpassungen im Mietrecht zu prüfen.
  - Ein Beispiel für eine Anpassung im Mietrecht sind die im Zuge der GEG-Novellierung vorgesehene weitere Modernisierungsumlage sowie die neu einzuführende Kappungsgrenze von 50 Cent pro Quadratmeter, die die Belastung für Mieter\*innen begrenzt. Im Vergleich zu den derzeitigen Umlagemöglichkeiten dürfte sich dadurch beim Einbau einer Wärmepumpe eine geringere Belastung für Mieter\*innen ergeben als mit der derzeit gültigen Rechtslage.
  - Beim Einbau von fossilen Heizungen, die in der Zukunft anteilig mit Biogas/Biomethan oder Wasserstoff beheizt werden müssen, besteht das Risiko hoher Energiekosten, die durch die Mieter\*innen getragen werden müssen. Begleitend zur Einführung der 65-Prozent-Anforderung sollte ein fairer Ansatz zur Verteilung der zusätzlichen Kosten zwischen Mieter\*innen und Vermieter\*innen entwickelt werden.



- Für eine sozialgerechte Transformation des Gebäudesektors ist es essenziell, dass die Förderung so ausgestaltet wird, dass insbesondere auch Haushalten mit geringem Einkommen der Umstieg auf eine klimaneutrale, bezahlbare Wärmeversorgung ermöglicht wird. Dazu können gestaffelte Fördersätze dienen, sodass in Haushalten mit geringem Einkommen ein größerer Anteil der notwendigen Investitionen gefördert wird. Die Förderung dient damit nicht primär als Anreiz für energetische Sanierungen und den Tausch der Heizungsanlage, sondern dazu, die ordnungsrechtlichen Anforderungen zu ermöglichen.



- Während für den Bereich der selbstgenutzten Gebäude erstmals vorgesehen ist, einen Förderbonus für Haushalte mit geringem Einkommen einzuführen, der voraussichtlich zu einer sozial gerechteren Verteilung der Fördermittel führen wird, ist für den vermieteten Bestand bisher keine soziale Differenzierung in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) geplant. Um auch vulnerable Mieter\*innen angemessen zu unterstützen, ist es essenziell, auch für diesen Bereich die soziale Komponente in der Förderung stärker zu berücksichtigen.

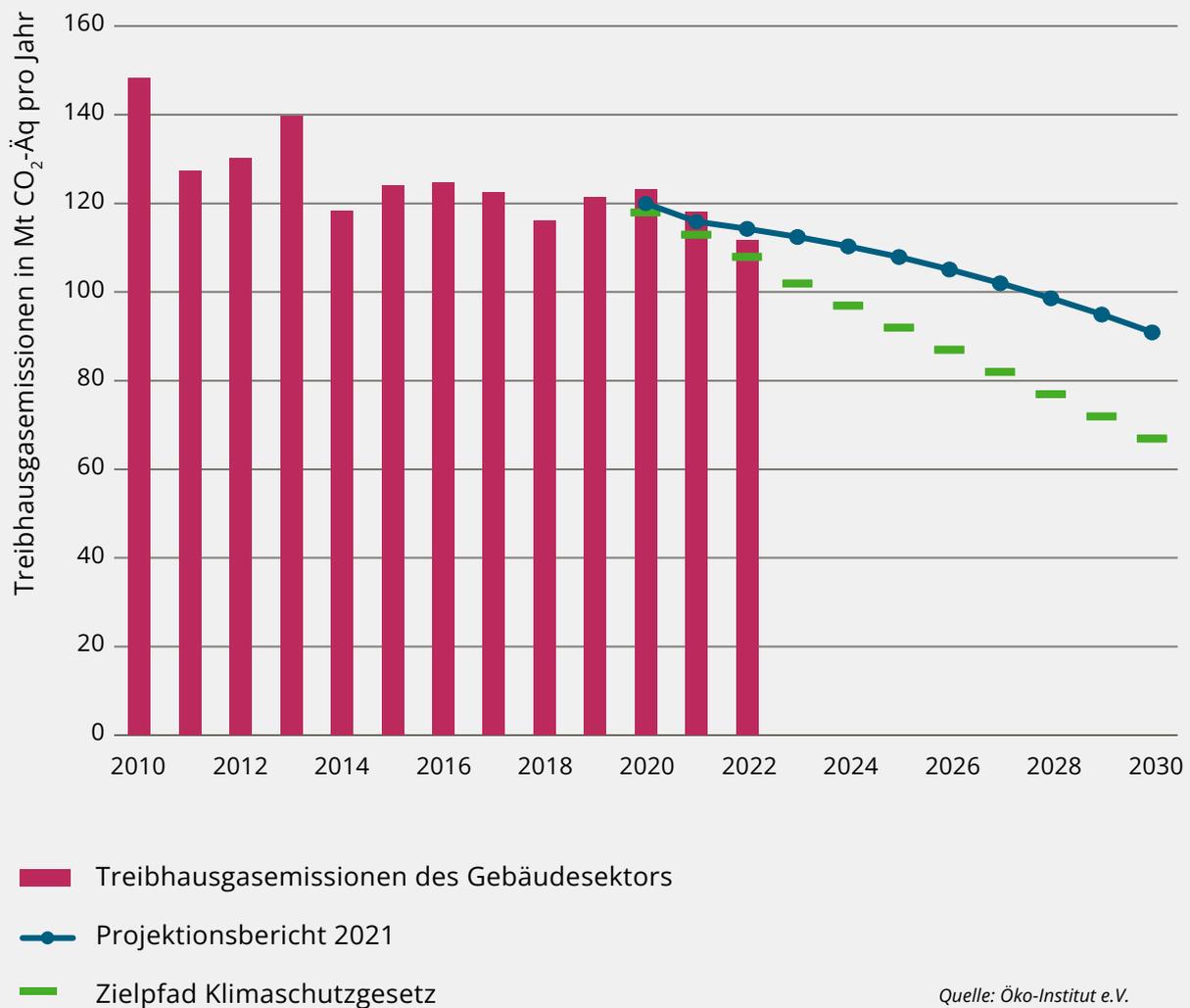


# 1. EINLEITUNG

## 1. EINLEITUNG

Der Gebäudesektor ist ein zentrales Handlungsfeld für die Erreichung der nationalen Klimaziele sowie für die Reduzierung der Importabhängigkeit von Erdgas. Als einziger Sektor verfehlte der Gebäudesektor in den Jahren 2020 bis 2022 bereits drei Mal sein im Bundes-Klimaschutzgesetz verankertes Ziel, und wird es ohne weitere Maßnahmen auch mit großer Wahrscheinlichkeit in den kommenden Jahren nicht erreichen (siehe Abbildung 1). Für die Erreichung des Ziels für das Jahr 2030 sowie die vollständige Dekarbonisierung bis 2045 sind erhebliche zusätzliche Anstrengungen notwendig. Dies zeigt sich auch in der deutlichen Lücke zwischen der projizierten Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Sektors im Projektionsbericht (Bundesregierung 2021) und dem Zielpfad im Bundes-Klimaschutzgesetz.

**Abbildung 1:** Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor und Zielpfad



### Ein breiter Mix verschiedener politischer Instrumente ist für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors notwendig.

Um diese sogenannte Ziellücke bzw. Klimaschutzlücke zu schließen, sind verschiedene Instrumente in der Diskussion bzw. in der Umsetzung. Dies beinhaltet die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes („Heizungsgesetz“) mit der Umsetzung der Anforderung, dass alle neu eingebauten Heizungen mit 65 Prozent erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. Für Neubaugebiete gilt dies ab 01.01.2024, für Bestandsgebäude ist die Erfüllung an das Vorliegen einer Wärmeplanung geknüpft und gilt je nach Kommunengröße spätestens ab Mitte 2026 bzw. 2028. Als weitere wichtige ordnungsrechtliche Anforderung sind Mindesteffizienzstandards für Bestandsgebäude auf EU-Ebene in der Diskussion. Neben den ordnungsrechtlichen Anforderungen sind die Weiterentwicklung der Förderlandschaft sowie eine Wärmepumpen-Offensive zur Unterstützung des Markthochlaufs in Planung. Zudem will die Bundesregierung laut Koalitionsvertrag prüfen, den Rahmens zur Verteilung der Kosten zwischen Mieter\*innen und Vermieter\*innen umzugestalten, indem ein Teilwarmmietenmodell die Modernisierungsumlage ersetzt. Für die CO<sub>2</sub>-Kosten gilt bereits seit dem 01.01.2023 ein Stufenmodell für die Verteilung der Kosten zwischen Mieter\*innen und Vermieter\*innen.

Mit den im Koalitionsvertrag 2021 (SPD et al. 2021) sowie im Sofortprogramm für den Gebäudesektor (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) 2022) angekündigten Instrumenten kann – sofern diese schnell und ambitioniert umgesetzt werden – die Ziellücke im Gebäudesektor nahezu geschlossen werden (Matthes et al. 2022). Um die Zielerreichung des Sektors für das Jahr 2030 sowie die vollständige Dekarbonisierung bis 2045 sicherzustellen, müssen einerseits die angekündigten Instrumente zügig umgesetzt und durch weitere Instrumente begleitet werden. Andererseits müssen die Rahmenbedingungen so angepasst werden, dass eine sozialverträgliche Transformation ermöglicht wird.

Während viele zentrale Weichen für die Transformation des Sektors auf nationaler Ebene gestellt werden, ist die Wärmewende stark durch lokale Gegebenheiten geprägt: Dazu zählen unter anderem die Struktur des Gebäudebestandes (Alter, Zustand, Besiedlungsdichte), die Nachfrage nach Wohnraum (Mietmarkt) und Erneuerbaren-Potenziale für Fernwärme.

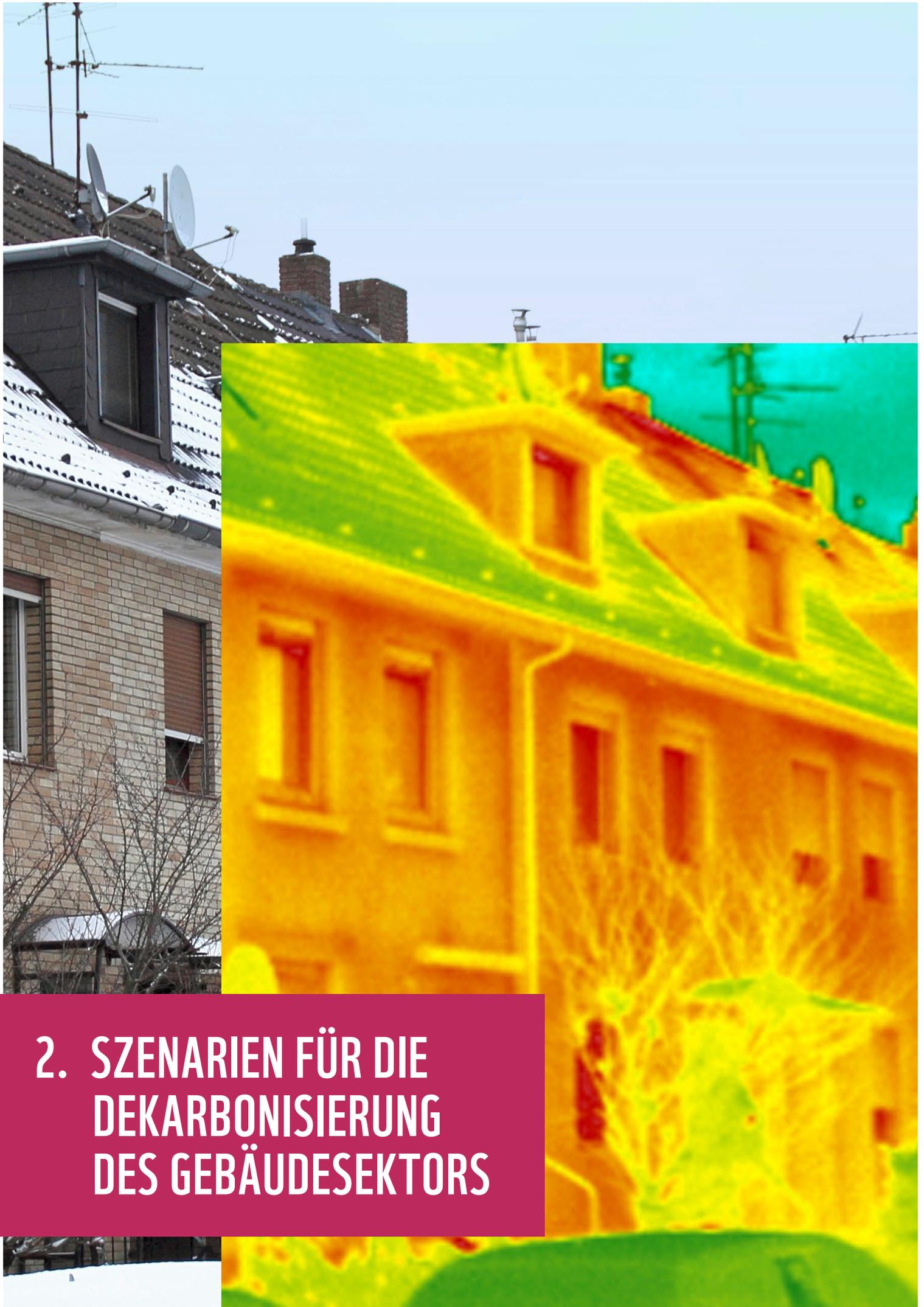
Um eine sozialverträgliche Transformation des Gebäudesektors zu erreichen, müssen die Wirkungen der Politikinstrumente für die Wärmewende auf regionaler und lokaler Ebene berücksichtigt und aktiv gestaltet werden. Auch die Nutzung von Fernwärme sowie die weiteren Infrastrukturen, die Struktur des Gebäudebestands und die sozioökonomischen Rahmenbedingungen unterscheiden sich regional deutlich.

## 1. EINLEITUNG

Vor diesem Hintergrund hat die Studie zum Ziel, einen Transformationspfad für den Gebäudesektor zu erarbeiten und in Hinblick auf verschiedene Auswirkungen auf lokaler und regionaler Ebene zu untersuchen. Aus den Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen für eine sozialgerechte Transformation des Gebäudesektors abgeleitet.

Dazu werden zunächst zwei Szenarien für die Transformation des Gebäudesektors auf nationaler Ebene betrachtet (► Kapitel 2). Im Anschluss wird die Dekarbonisierung der Fernwärme anhand regionaler Statistiken diskutiert (► Kapitel 3). ► Kapitel 4 legt den Fokus auf regionale Unterschiede in der Gebäudestruktur sowie der Bewohner\*innen und diskutiert die Auswirkungen auf eine sozialverträgliche Transformation. ► Kapitel 5 fasst die Schlussfolgerungen der Studie zusammen.





## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

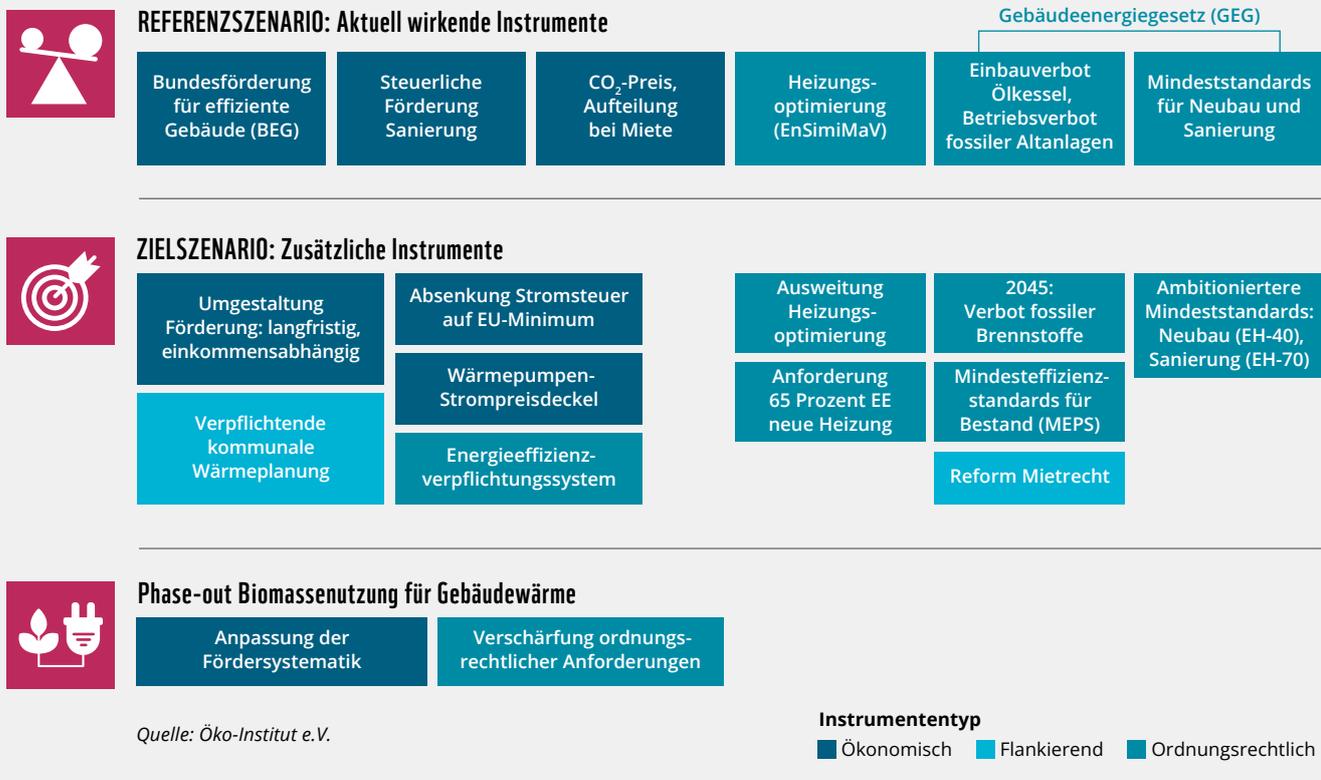
## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

In zwei Szenarien schätzen wir die Entwicklung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors ab. In diesem Kapitel stellen wir dazu zunächst die Definition der Szenarien vor (Abschnitt 2.1). Anschließend werden die Ergebnisse der Modellierung bezüglich Effizienz und Dekarbonisierung erläutert (Abschnitt 2.2). Der methodische Ansatz ist im Anhang beschrieben.

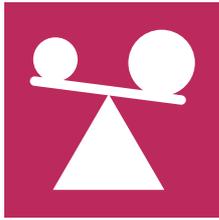
### 2.1 DEFINITION VON REFERENZ- UND ZIELSZENARIO

Die politischen Rahmenbedingungen im Gebäudesektor verändern sich im Zeitverlauf, mitunter von Woche zu Woche. Unser Referenzszenario repräsentiert den aktuellen Politik-Mix zum Stand Mai 2023.<sup>1</sup> Wir schätzen mit dem Referenzszenario ab, wie sich der Gebäudebestand im „business as usual“ entwickelt. Im Zielszenario werden Instrumente ergänzt, um die Ziele im Bundes-Klimaschutzgesetz für 2030 und 2045 zu erreichen. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die politischen Instrumente im Gebäudebereich.

**Abbildung 2:** Politische Instrumente im Gebäudebereich im Referenz- und Zielszenario



<sup>1</sup> Die im Juli 2023 anberaumte Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie der Förderrichtlinie können durch den Projektablauf im Referenzszenario nicht berücksichtigt werden. Die im Mai 2023 bekannten Kernelemente werden jedoch in ambitionierter Form im Zielszenario berücksichtigt.



### Referenzszenario:

- **Gebäudeenergiegesetz (GEG):** Im Referenzszenario wird das GEG vor der Novelle im Jahr 2023 betrachtet. Für den Einbau von Ölkesseln wird das ab 2026 festgelegte Einbauverbot berücksichtigt, das allerdings umfangreiche Ausnahmen vorsieht. Außerdem legt das GEG gewisse Mindesteffizienzstandards fest: Neubauten müssen dem Standard „Effizienzhaus-55“ entsprechen. Für die energetische Sanierung von einzelnen Bauteilen gelten Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (Referenzgebäude entspricht „Effizienzhaus-100“). Bei einer Vollsaniierung darf das Gebäude maximal die Anforderungen an das Referenzgebäude um 40 Prozent überschreiten.
- **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG):** Zum Zeitpunkt der Modellierung (05/2023) liegt der Fördersatz für den Einbau erneuerbarer Wärmeerzeuger bei bis zu 30 Prozent. Zusätzlich gibt es einen Austauschbonus von zehn Prozent für fossile Kessel, die älter als 20 Jahre sind. Für die energetische Sanierung einzelner Bauteile beträgt die Förderung 15 Prozent der Investitionskosten (BMWK 2023c). Bei einer Vollsaniierung auf einen Effizienzhaus-Standard werden bis zu 25 Prozent gefördert (BMWK 2023c), zuzüglich eines Worst-Performing-Bonus von zehn Prozent, wenn das Haus energetisch sehr ineffizient ist (KfW Bankengruppe 2022).
- **Steuerliche Förderung:** Gebäudeeigentümer\*innen können anstelle der BEG bis zu 20 Prozent der Kosten für eine energetische Sanierung in ihrer Einkommenssteuer geltend machen.
- **CO<sub>2</sub>-Bepreisung und Kostenaufteilung in vermieteten Gebäuden:** Das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) regelt die Bepreisung von fossilen Brennstoffen in den Sektoren Verkehr und Gebäude. Bis 2026 ist ein fester Preispfad bis 65 €/t CO<sub>2</sub> festgelegt. Wir nehmen an, dass der CO<sub>2</sub>-Preis danach weiter ansteigt – so wie im Projektionsbericht 2021 der Bundesregierung angenommen – auf 350 €/t CO<sub>2</sub> im Jahr 2045 (Umweltbundesamt (UBA) 2022). Der CO<sub>2</sub>-Preis soll dazu anreizen, in CO<sub>2</sub>-arme Technologien zu investieren. In vermieteten Gebäuden zahlen Mieter\*innen die Energiekosten, während Vermieter\*innen die Investitionsentscheidungen fällen. Das CO<sub>2</sub>-Kostenaufteilungsgesetz adressiert dieses Investor-Nutzer-Dilemma, indem Vermieter\*innen einen größeren Anteil der CO<sub>2</sub>-Kosten tragen, je schlechter es um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß und damit die Energieeffizienz des Gebäudes bestellt ist.
- **Heizungsoptimierung:** Die Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen (EnSimiMaV) legt fest, dass im Zeitraum 2022 bis 2024 in allen Mehrfamilienhäusern (> 6 Wohnungen) und bestimmten Nichtwohngebäuden gering-investive Effizienzmaßnahmen durchgeführt werden müssen (hydraulischer Abgleich, Absenkung Vorlauftemperatur, Optimierung Heizkurve etc.).



### Definition zusätzlicher Instrumente im Zielszenario:

- **Nutzungsanforderung 65 Prozent erneuerbare Energien:** Der zur Erstellung der Szenarien in diesem Projekt zugrunde gelegte Kabinettsentwurf der GEG-Novelle (Stand Mai 2023) legt fest, dass ab 2024 jede neu eingebaute Heizung zu 65 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben werden muss (BMWK 2023a).<sup>2</sup> Dies kann grundsätzlich technologieoffen geschehen, der Einsatz von Gaskesseln, die „Wasserstoff-ready“ sind, wird jedoch restriktiv gehandhabt. Der Anschluss an ein Wärmenetz gilt als Erfüllungsoption. Faktisch bedeutet die Regelung ein Einbauverbot monovalenter Gaskessel bei Ausnahmen für Gas-Etagenheizungen und in Fällen wirtschaftlicher Härte. Die Regelung leitet den Ausstieg aus der Nutzung von Erdgas zur Beheizung von Gebäuden ein.
- **Verbot fossiler Brennstoffe:** Dem Kabinettsentwurf der GEG-Novelle (Stand Mai 2023) entsprechend nehmen wir an, dass 2045, im Zieljahr der Klimaneutralität, ein Nutzungsverbot für Gas, Heizöl und Kohle gilt.
- **Ambitioniertere Mindeststandards für Neubauten und bei Sanierungen:** In ihrem Koalitionsvertrag nimmt sich die Ampelregierung vor, zum einen den Mindeststandard für Neubauten auf das Niveau „Effizienzhaus-40“ zu verschärfen. Zum anderen soll der Standard „Effizienzhaus-70“ Leitstandard für energetische Sanierungen werden (SPD et al. 2021). Wir nehmen an, dass beides innerhalb der Zwanzigerjahre umgesetzt wird.
- **Mindesteffizienzstandards für Bestandsgebäude (Minimum Energy Performance Standards, MEPS):** Gebäude mit schlechtem Wärmeschutz verbrauchen am meisten Energie. Energetische Sanierungen sind hier also am wirtschaftlichsten und sparen am meisten Energie und Emissionen ein. MEPS sollen sicherstellen, dass diese „worst performing buildings“ möglichst zeitnah saniert werden. In den im Sommer 2023 gestarteten Verhandlungen zur Revision der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) sind MEPS ein wichtiger Bestandteil. Kommission und Parlament sprechen sich für zeitpunktbezogene MEPS für Wohn- und Nichtwohngebäude (WG und NWG) aus, der Rat nur für Nichtwohngebäude (Sunderland 2023). Zeitpunktbezogene MEPS legen fest, dass alle Bestandsgebäude, die unter einem Schwellenwert (in kWh/m<sup>2</sup>a) liegen, auf diesen Mindestverbrauch saniert werden müssen. Die Schwellenwerte entsprechen einem prozentualen Anteil der energetisch ineffizientesten Gebäude (z. B. schlechteste 15 Prozent aller Gebäude).

<sup>2</sup> Die Kopplung mit der Wärmeplanung und somit die Ausweitung der Übergangsfristen war zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht Teil des Entwurfs.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

Wir nehmen eine Ausgestaltung an, die dem Kommissionsvorschlag entspricht und führen das Anforderungsregime weiter gemäß Tabelle 1.<sup>3</sup>

**Tabelle 1:** Angenommene Anforderungen für MEPS

Anforderungsregime	2027	2030	2033	2036	2039	2042	
Wohngebäude		F	E	D	C	B	
Nichtwohngebäude	F	E	D	C	B		
Effizienzklassen nach EPBD (KOM)	G	F	E	D	C	B	A
Anteil der ... % ineffizientesten Gebäude	0–15 %	15–30 %	31–45 %	46–60 %	61–75 %	76–90 %	91–100 %
Zu sanierender Anteil, um Klasse zu erreichen		15 %	30 %	45 %	60 %	75 %	90 %

Quelle: Europäische Kommission (2022) (WG bis 2033 und NWG bis 2030), Öko-Institut e.V. (Weiterführung)

- Energieeffizienzverpflichtungssystem (Energy Efficiency Obligation Scheme; EEOS):** Circa die Hälfte der EU-Mitgliedstaaten hat dieses Instrument von sich aus oder im Zuge von Artikel 7 der Energieeffizienz-Richtlinie (EED) zumindest zeitweise eingeführt (Rosenow und Bayer 2017). Es werden Einsparziele für (Sub-)Sektoren definiert und Akteure zu ihrer Einhaltung verpflichtet. Im Gebäudesektor können das Energieversorgungsunternehmen wie Stadtwerke oder Brennstofflieferanten sein. Diese sind dafür verantwortlich, dass bei ihren Kunden Energiesparmaßnahmen durchgeführt werden. Wir nehmen an, dass in Deutschland ein EEOS eingeführt wird, das dafür sorgt, dass in hohem Maße gering-investive Effizienzmaßnahmen durchgeführt werden, und die Umsetzung von MEPS unterstützt (Schloman et al. 2021).
- Ausweitung Heizungsoptimierung:** Der Kabinettsentwurf zur GEG-Novelle (Stand 05/2023) sieht vor, dass die Anforderungen in der EnSimiMaV zeitlich entfristet und ergänzt werden. Wir nehmen dazu an, dass zusätzlich Ein- und Zweifamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser in die Anforderung eingeschlossen werden. Wir nehmen ferner an, dass bezüglich der Umsetzung Synergien mit dem Energieeffizienzverpflichtungssystem entstehen.

3 **Lesebeispiel:** Im Jahr 2042 sollen alle Wohngebäude der EPBD-Effizienzklasse B entsprechen. Das bedeutet, dass alle Gebäude so weit saniert werden sollen, dass keines mehr der EPBD-Effizienzklasse C entspricht. In die EPBD-Effizienzklasse C fallen die schlechtesten 61 bis 75 Prozent der Gebäude im Ausgangszustand. Um die EPBD-Effizienzklasse C zu erreichen, müssen also die „worst 75 Prozent“ der Bestandsgebäude saniert werden.

**Achtung Verwechslungsgefahr:** Die Effizienzklassen im deutschen Energieausweis nach GEG unterscheiden sich von denen, die in den Vorschlägen zur Revision der EPBD bezüglich MEPS verwendet werden.

Die bisher umgesetzten und geplanten Instrumente müssen durch weitere ergänzt werden, um die Klimaschutzlücke zu schließen.

- **Umgestaltung Förderung:** Im Zielszenario treibt das Ordnungsrecht die Transformation voran. Die ökonomischen Rahmenbedingungen sind deswegen nicht weniger wichtig, da sie die Umsetzung der Anforderungen für die Akteure erst ermöglichen. Wir nehmen an, dass langfristig Fördermittel ausreichend vorhanden sind. Außerdem gehen wir davon aus, dass zusätzlich verbesserte Fördersätze für Haushalte mit geringem Einkommen geschaffen werden. Dabei kann die Ausweisung von sozial benachteiligten Quartieren durch Kommunen ein weiterer praxistauglicher Ansatz sein.
- **Reform Mietrecht:** Einkommensschwache Haushalte leben deutlich häufiger zur Miete (Cludius et al. 2022). Energetische Sanierungen bedürfen hoher Investitionen, die im aktuellen Mietrecht zum Großteil auf die Mieter\*innen umgelegt werden können (vgl. Modernisierungsumlage). Gleichzeitig dürfen auch Vermieter\*innen nicht zu stark überfordert werden. Wir nehmen an, dass durch den zielgerichteten Einsatz von Förderung und eine Reform der Modernisierungsumlage einkommensschwache Haushalte geschützt werden.
- **Verhältnis Gas- und Strompreis:** Die Förderung erleichtert die Investition in klimafreundliche Technologien. Für einen Betrieb zu geringen Kosten sind die Energiepreise entscheidend. Besonders relevant ist das Preisverhältnis zwischen Erdgas und Strom. Dieses reflektiert die Leittechnologien Erdgaskessel (fossile Gegenwart) und elektrische Wärmepumpe (erneuerbare Zukunft). Deshalb nehmen wir an, dass die Stromsteuer von aktuell 2,05 ct/kWh auf das EU-Minimum von 0,05 ct/kWh für Haushalte abgesenkt wird. Zusätzlich nehmen wir an, dass auch nach Auslaufen des bis Ende 2023 beschlossenen Strompreisdeckels für Wärmepumpen-Tarife (BMWK 2023) in Höhe von 28 ct/kWh auch langfristig günstigere Wärmepumpentarife bestehen.
- **Kommunale Wärmeplanung und Dekarbonisierung der Wärmenetze:** Der bei Fertigstellung der Studie vorliegende Referententwurf des entsprechenden Gesetzes (Stand 06/2023) (BMWSB 2023) schreibt vor, dass Kommunen eine Wärmeplanung erstellen müssen. Diese bietet Orientierung und fördert den Ausbau von Wärmenetzen. Gleichzeitig müssen Betreiber von Wärmenetzen Transformationspläne hin zur Treibhausgasneutralität vorlegen mit dem verbindlichen Zwischenziel des Einsatzes von 50 Prozent erneuerbaren Energien im Jahr 2030.

Weitere Instrumente, die die Transformation im Gebäudebereich flankieren, sind bereits in Kraft oder in Planung, wie z. B.: Offensiven gegen Fachkräftemangel (z. B. Aufbauprogramm Wärmepumpe), flächendeckende Energieberatung, Bundesförderung Serielles Sanieren, Bundesförderung für effiziente Wärmenetze, Reform der Wärmelieferverordnung. Andere bedürfen noch der Entwicklung, z. B. zum Gasausstieg.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

Das Zielszenario wird ergänzt um ein Set aus politischen Instrumenten zur **Begrenzung der Biomassenutzung** für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Gebäuden. Um die im Szenario dargestellte deutliche Begrenzung zu erreichen, sind ein perspektivischer Ausstieg aus der Förderung von Biomasseheizungen sowie mittelfristig auch Beschränkungen für den Einbau monovalenter Biomassekessel notwendig.

### Infobox 1: Biomassenutzung für Gebäudewärme

Biomasse wird häufig als „klimaneutraler“ Energieträger angesehen. Bei Biomasse als Brennstoff wird dies damit begründet, dass idealerweise beim Nachwachsen des Baumes oder der Pflanze durch Photosynthese wieder genauso viel CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entzogen wird, wie bei der Verbrennung freigesetzt wird. Das Prinzip der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Biomasse wird jedoch zunehmend in Frage gestellt (Umweltbundesamt 2022, S. 32–34). Dies liegt zum einen daran, dass entlang der Vorkette für den Anbau der Biomasse, deren Ernte und Verarbeitung sowie den Biomassetransport auch CO<sub>2</sub>-Emissionen anfallen. Zum anderen belasten die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung die Atmosphäre unmittelbar und der entlastende Effekt durch Pflanzenwachstum und Photosynthese wirkt sich erst über die nächsten Jahre und Jahrzehnte aus. Nutzwälder speichern zudem im Vergleich zu Naturwäldern weniger CO<sub>2</sub>, sodass in diesem Fall die Verbrennung von Biomasse aufgrund des negativen Speichersaldos nicht klimaneutral ist. Besonders deutlich wird dies bei der industriellen Holzpelletproduktion in Nordamerika und im Baltikum, wo große naturnahe Waldflächen im Kahlschlag abgeholzt werden. Darüber hinaus sind Wälder und Böden auch wichtige Kohlenstoffsinken, die bereits heute einen möglichst großen Beitrag zur Entlastung des Kohlenstoffgehalts in der Atmosphäre leisten sollten.

Durch die Holznutzung geht die CO<sub>2</sub>-Speicherleistung von Wäldern zurück, sodass aus Klimaschutzsicht die Holzentnahme möglichst gering ausfallen sollte (Hennenberg und Böttcher 2023).

Eine ähnliche Diskussion wird auch im Rahmen der Weiterentwicklung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG) geführt, wo die Ausnahme von biogenen Energieträgern aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zunehmend an Nachhaltigkeitskriterien geknüpft ist bzw. schrittweise zurückgefahren werden soll (Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt 2023).

Bei Biomasseanlagen spielt vor allem die Abwägung zwischen einer stofflichen Biomassenutzung (z. B. als Bauholz oder für die chemische Industrie), einer energetischen Nutzung für Hochtemperaturwärme in der Industrie, einer energetischen Nutzung für Biokraftstoffe (z. B. für den nicht elektrifizierbaren Teil des Flug- und Schiffsverkehrs) und einer energetischen Nutzung für Niedertemperaturwärme für Gebäude mittels Fernwärme oder in der Objektversorgung eine zentrale Rolle. Darüber hinaus kommt auch Böden und Wäldern eine wichtige Rolle als natürliche Kohlenstoffsinken in der Bekämpfung der Erderwärmung zu.

Aus diesen Gründen wird in der neuen EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RED III) das Kaskadenprinzip<sup>4</sup> für die Nutzung von Biomasse vorgegeben:

- Zuerst die stoffliche Nutzung mit Produkten auf Holzbasis:
  - 1) Verlängerung ihrer Lebensdauer,
  - 2) Wiederverwendung,
  - 3) Recycling.
- Danach die energetische Nutzung als Bioenergie und
- abschließend die Entsorgung.

### 2.2 ERGEBNISSE

Zu den beiden Szenarien stellen wir im Folgenden Modellierungsergebnisse dar. Dazu verwenden wir das Building Stock Transformation Model (Building-STAR), das den Einfluss von politischen Instrumenten auf die Entwicklung des Gebäudebestands simuliert (siehe auch Verweis auf Kapitel im Anhang).

#### 2.2.1 Energieeffizienz durch energetische Sanierung (Wärmeschutz durch Dämmung)

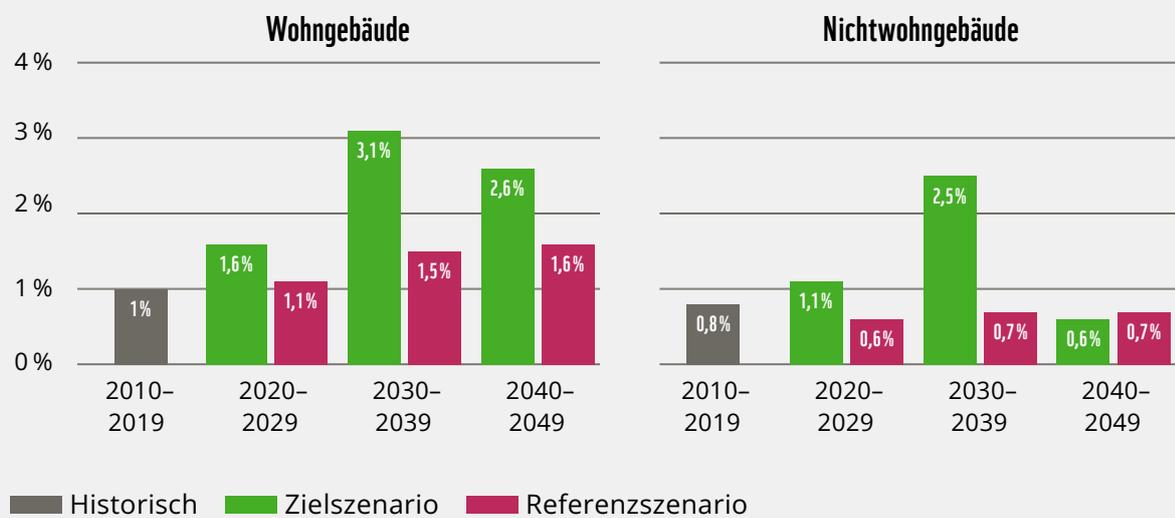
Die jährliche Sanierungsrate ist ein anschaulicher Parameter dafür, wie hoch die Sanierungsaktivität ist. Es gibt unterschiedliche Definitionen der Sanierungsrate. Wir verwenden die vom Institut Wohnen und Umwelt (IWU) entwickelte Methodik (BMVBS 2013). Dabei werden Modernisierungsraten je Bauteil ermittelt (z. B. 1 % der Fensterfläche wird pro Jahr getauscht) und zu flächengewichteten Vollsanierungsäquivalenten verrechnet.

Die Sanierungsrate für Wohngebäude liegt aktuell bei circa einem Prozent pro Jahr (DIW Berlin 2019). Das heißt mit der aktuellen Sanierungsaktivität würde es 100 Jahre dauern, um den gesamten Gebäudebestand einmal komplett energetisch zu sanieren. Die Frage, welche Sanierungsrate für einen klimaneutralen Gebäudebestand notwendig ist, hängt v. a. von der Sanierungstiefe und der Menge an verfügbarem erneuerbarem Strom und erneuerbarer Fernwärme ab. Die sektorübergreifende Modellierung von Klimaneutralitätsszenarien kommt zu dem Ergebnis, dass sich die Sanierungsrate fast verdoppeln muss (Lübbbers et al. 2022).

► Abbildung 3 zeigt die Sanierungsraten in unseren Szenarien: Im Referenzszenario in Rot steigt die Sanierungsrate in Wohngebäuden bereits an. Grund dafür ist, dass die Reinvestitionszyklen der Bauteile (z. B. alle 40 Jahre besteht Sanierungsbedarf beim Dach) in der Modellierungslogik abgebildet sind und durch den Politik-Mix festgelegte Sanierungswahrscheinlichkeiten dafür sorgen, dass baustarke Gebäudealtersklassen wie die 60er-Jahre, die ihren Reinvestitionszyklus erreichen, die Sanierungsrate ansteigen lassen. Im Zielszenario in Grün steigern MEPS die Sanierungsaktivität stark und sorgen von 2020 bis 2050 bei Wohn- und Nichtwohngebäuden für mehr als eine Verdopplung der Sanierungsrate.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

**Abbildung 3:** Sanierungsrate für Wohn- und Nichtwohngebäude



Quelle: Öko-Institut e.V. (Szenarien), Cischinsky und Diefenbach (2018) (Wohngebäude), Hörner et al. (2021) (Nichtwohngebäude)

Wie stark der Energieverbrauch durch Dämmmaßnahmen gesenkt wird, hängt zum einen an der Anzahl der sanierten Gebäude. Hierfür dient die Sanierungsrate als Indikator. Zum anderen ist die Sanierungstiefe entscheidend, d. h. die Güte des neuen Wärmeschutzes, z. B. in Form der Dicke der Dämmplatten. Darauf wirken ebenfalls die MEPS, Mindestanforderungen im GEG und die ökonomischen Rahmenbedingungen (Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise, Förderung) hin.

Wie gut ein Gebäude gedämmt ist, lässt sich durch einen Energieausweis erschließen. Ein gut gedämmtes Gebäude hat darin eine grün gefärbte Effizienzklasse, z. B. „B“; ein schlecht gedämmtes Gebäude eine rot gefärbte Effizienzklasse, z. B. „G“. Der Bestand in Building-STAR ist kalibriert auf die Verteilung der Effizienzklassen der Verbrauchsausweise im Jahr 2019 nach beheizter Nutzfläche (Bei der Wieden und Braungardt 2023). Abbildung 4 zeigt zum einen den Status Quo: 17 Prozent der beheizten Fläche fallen in Effizienzklasse „F“ oder schlechter (d. h. der Verbrauch liegt über 160 kWh/m<sup>2</sup>a). Diese Gebäude kann man als Worst Performing Buildings mit akutem Sanierungsbedarf bezeichnen.<sup>5</sup>

### 5 Definition Worst Performing Buildings:

**Option 1:** In der Langfristigen Renovierungsstrategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK 2023b) werden so Gebäude mit einem rechnerischen Bedarf von über 200kWh/m<sup>2</sup>a bezeichnet. In ineffizienten Gebäuden liegt der rechnerische Bedarf deutlich über dem messbaren Verbrauch. Nach Loga et al. (2015) ist ein Verbrauch von circa 170 kWh/m<sup>2</sup>a vergleichbar (Effizienzklasse F).

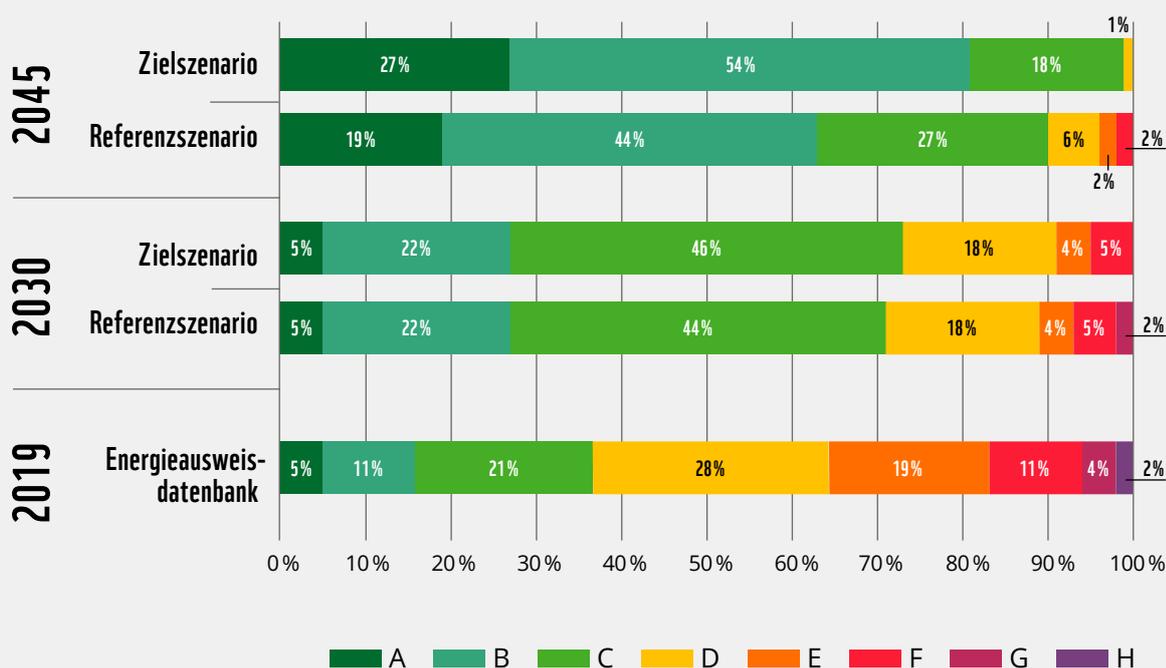
**Option 2:** Im Vorschlag zur Revision der Gebäuderichtlinie der Europäischen Kommission (2021) gelten die schlechtesten 15 Prozent als Worst Performing Buildings. Gemäß der Verteilung in Abbildung 7 entspricht das ebenfalls Effizienzklasse F.

**Achtung Verwechslungsgefahr:** Die Effizienzklassen im deutschen Energieausweis nach GEG unterscheiden sich von denen, die in den Vorschlägen zur Revision der EPBD bezüglich MEPS verwendet werden.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

Im Referenzszenario werden diese Gebäude bereits zum Großteil saniert, sodass im Jahr 2045 nur noch zwei Prozent schlechter als Effizienzklasse „F“ sind. Im Zielszenario sorgen MEPS, ambitionierte Mindeststandards und verbesserte Rahmenbedingungen dafür, dass 81 Prozent der beheizten Fläche in Effizienzklasse „B“ oder besser fällt (d. h. unter 75 kWh/m<sup>2</sup>a).<sup>6</sup>

Abbildung 4: Verteilung der Effizienzklassen von Energieverbrauchsausweisen nach GEG



Quelle: Öko-Institut e.V. (Szenarien), Bei der Wieden und Braungardt (2023) (Auswertung der Energieausweisdatenbank)

Endenergie bezeichnet die Energiemenge z. B. in Form von Erdgas oder Strom, die dem Gebäude zugeführt wird. Der Verbrauch an Endenergie ist daher die entscheidende Größe für die Effizienz des Gebäudebestands. Abbildung 5 zeigt die Reduktion des absoluten Endenergieverbrauchs (EEV) für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden des GHD-Sektors durch die erhöhte Sanierungsrate und Sanierungstiefe im Vergleich zu 2020: Bis 2045 sinkt der EEV im Referenzszenario um 33 Prozent und im Zielszenario um 44 Prozent.

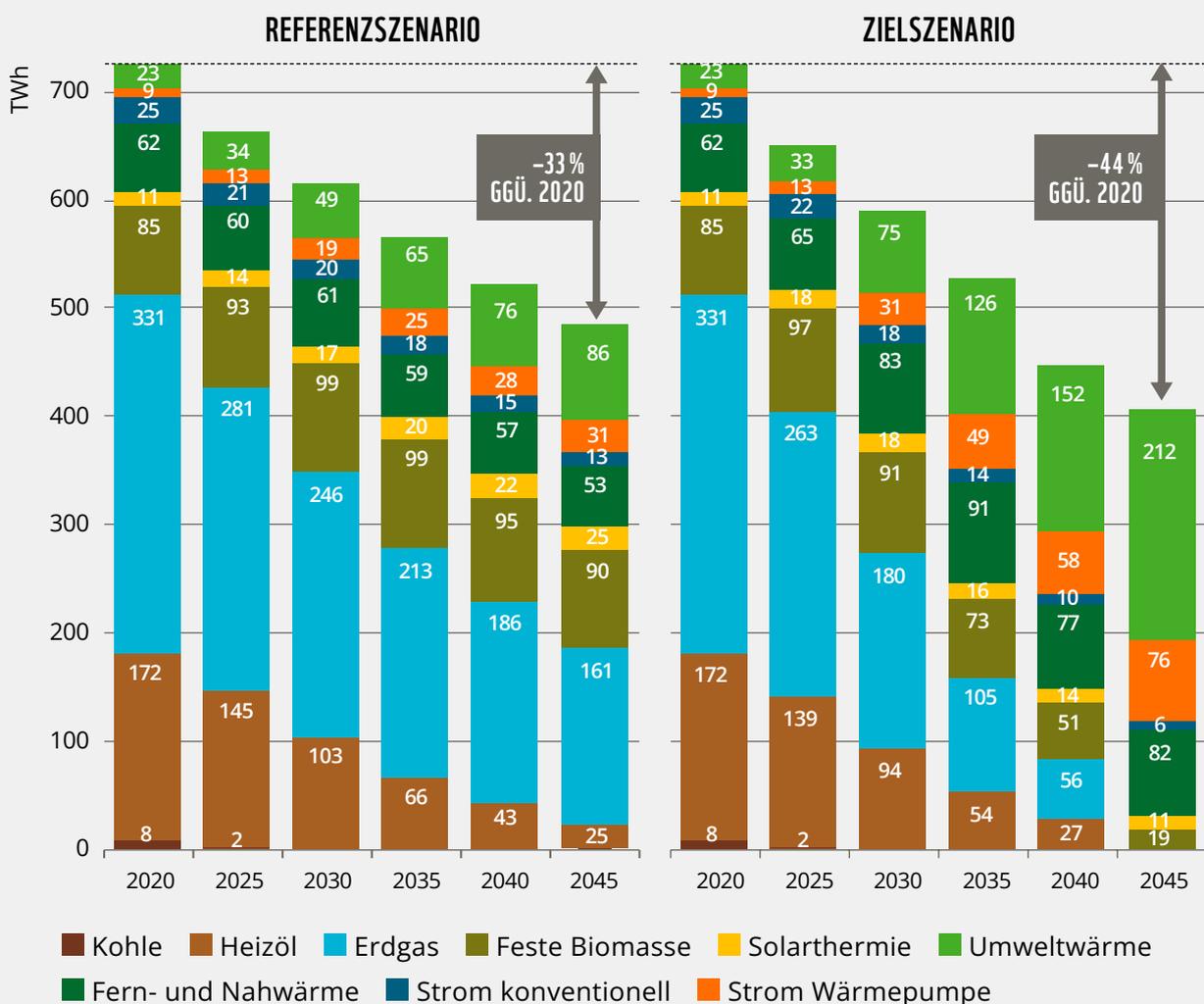
6 Damit wird das Ziel im Kommissionsvorschlag erreicht, nach dem der Gebäudebestand zu Nullemissionsgebäuden ertüchtigt werden soll. Deren Effizienz ist definiert über einen Primärenergieverbrauch von 60 bis 65 kWh/m<sup>2</sup>a. Erneuerbare Energien haben Primärenergiefaktoren unter 1.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

### 2.2.2 Dekarbonisierung durch erneuerbare Wärmeerzeuger

Die Art der verwendeten Energieträger ist für die Menge des emittierten CO<sub>2</sub> entscheidend. Im Jahr 2020 wurden der Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Wohn- und GHD-Nichtwohngebäuden zu 46 Prozent durch Erdgas und zu 23 Prozent durch Heizöl gedeckt (BMWK 2022a). Der Energieträgermix und damit die Emissionen ändern sich, indem fossile Wärmeerzeuger zugunsten erneuerbarer und klimafreundlicher Erzeuger ausgetauscht werden. Im Jahr 2022 machten Gas- und Heizölkessel trotz Energiekrise noch 67 Prozent des Absatzes an verkauften Wärmeerzeugern aus (Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) 2022).

**Abbildung 5:** Endenergieverbrauch je Energieträger für Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen



Quelle: Öko-Institut e.V. (Szenarien), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022a) (Kalibrierungsjahr 2020)

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

Abbildung 5 zeigt den Energieträgermix in unseren Szenarien. Folgende politische Instrumente wirken im Referenzszenario auf eine Trendwende dieser Dynamik hin: Förderung, CO<sub>2</sub>-Preis, Ölkesselverbot. Vor allem letzteres führt zu einem Phase-out von Heizöl (braun). Im Referenzszenario erfolgt bereits ein Zubau von Heizsystemen auf Basis erneuerbarer Energien. Es verbleibt aber mit 30 Prozent im Zieljahr 2045 noch viel fossiles Gas im System. Im Zielszenario wirken weitere Instrumente auf die Dekarbonisierung hin. Vor allem die Anforderung zur Nutzung von 65 Prozent erneuerbarer Energien bei neuen Heizungen, aber auch MEPS beschleunigen die Transformation stark. Das Nutzungsverbot fossiler Brennstoffe im Jahr 2045 sorgt dafür, dass der Wärmebedarf zu 100 Prozent durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Der Verwendung von grünem Wasserstoff in der Gebäudewärme wird in unseren Berechnungen keine Rolle zugewiesen.

### Infobox 2: Grüner Wasserstoff in der Gebäudewärme

Im Elektrolyseverfahren wird Wasser (H<sub>2</sub>O) in Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) gespalten. Wird für den Prozess erneuerbarer Strom verwendet, spricht man von grünem Wasserstoff, dessen Verbrennung CO<sub>2</sub>-neutral ist. Für die Nutzung von grünem Wasserstoff in Gebäuden könnten Erdgaskessel verbaut werden, die „H<sub>2</sub>-ready“ sind. Zusätzlich sind die Umrüstung der Gasnetze und der Aufbau einer H<sub>2</sub>-Infrastruktur notwendig. Sofern ein Netz vollständig auf Wasserstoff umgestellt wird, muss die Umstellung zu einem festen Zeitpunkt erfolgen, da eine Beimischung in bestehenden Geräten nur zu einem geringen Anteil (derzeit ca. 20%) möglich ist.

Folgende Gründe sprechen gegen eine flächendeckende Nutzung von grünem Wasserstoff zur Beheizung von Gebäuden, siehe auch WWF Deutschland et al. (2023) und Deutsche Umwelthilfe (DUH) et al. (2023):

- Mangelnde Effizienz: Eine Kilowattstunde (kWh) Energieeinheit grüner Wasserstoff wird bei Verbrennung zu einer kWh Nutzenergie in Form von Raumwärme. Um diese eine kWh zu erzeugen, sind circa zwei kWh grüner Strom notwendig.<sup>7</sup> Mit der gleichen Menge Grünstrom lassen sich mit einer Wärmepumpe durch die Mobilisierung von Umgebungswärme sechs bis acht kWh Nutzenergie

erzeugen. Wenn also Grünstrom direkt in einer Wärmepumpe verwendet wird, ist das Heizen sechs- bis achtmal so effizient wie die Synthese und Verbrennung von grünem Wasserstoff.<sup>8</sup>

- Mangelnde Verfügbarkeit und hohe Preise: Um große Mengen an grünem Wasserstoff zu erzeugen, sind viele Windenergie- und Photovoltaikanlagen notwendig. Deren nationales Ausbaupotenzial ist begrenzt. Alternativ kann grüner Wasserstoff aus sonnen- und windreichen Regionen importiert werden. Es bleibt eine starke Konkurrenz mit anderen Sektoren, für die keine Elektrifizierungsalternativen bestehen (z. B. Reduktionsprozesse in der Stahlindustrie). Entsprechend hohe Preise sind erwartbar (Deutscher Bundestag 2020, Martin Wietschel et al. 2023).
- Fossiler Lock-In-Effekt Gaskessel und Gasnetze: Wärmereizeger haben eine Lebensdauer von circa 25 Jahren, Infrastrukturen wie Gasnetze von bis zu 50 Jahren. Ist nicht genügend Wasserstoff verfügbar, sind die Investitionen in die Technologie verschwendet. Der Aufbau einer flächendeckenden H<sub>2</sub>-Infrastruktur analog zum bestehenden Gasnetz erfordert hohe Investitionen und ist nicht wahrscheinlich.

7 Annahme eines Wirkungsgrads für Elektrolyse und Methanisierung von 52 Prozent (Heinemann et al. 2019).

8 Was das für den Ausbaubedarf an erneuerbarer Stromerzeugung bedeutet, veranschaulichen Frank Merten und Alexander Scholz 2023 in ihrer Abbildung 5-1.

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

### Die Leittechnologie ist in beiden Szenarien die Wärmepumpe.

Die Leittechnologie ist in beiden Szenarien die Wärmepumpe, gefolgt von Fernwärme und Biomasse. Durch unseren Instrumentenmix ergibt sich im Zielszenario ein starker Phase-out der Nutzung von Biomasse: Im Jahr 2045 werden nur noch 19 TWh bzw. vier Prozent des Energiebedarfs durch Biomasse gedeckt, was eine verstärkte stoffliche Nutzung in anderen Sektoren ermöglicht. Biomasse wird prioritär in Gebäuden eingesetzt, in denen kein Anschluss an ein Wärmenetz möglich ist und die nicht effizient von einer Wärmepumpe versorgt werden können (z. B. Dämmrestriktionen durch Denkmalschutz). Der Biomasseeinsatz wird durch Unterstützung in Form von Solarthermieanlagen weiter gesenkt. Besonders die Verwendung von Primär-/Stammholz in sekundären Wärmeerzeugern (Kaminöfen) wird stark reduziert. Es verbleibt ein geringer Anteil an Biomasse in Form von Pellets und Hackschnitzeln aus Restholz und von Selbstnutzer\*innen kleiner Privatwälder.

Aus dem Energieträgermix ergeben sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten und GHD-Nichtwohngebäuden gemäß der Sektoreneinteilung im Klimaschutzgesetz (KSG), siehe linker Teil von ► Abbildung 6. Der KSG-Gebäudesektor beinhaltet zusätzlich Emissionen aus GHD-Prozesswärme und „Sonstige“ (u. a. Militär), die allerdings nur einen geringen Anteil der Sektoremissionen ausmachen. Wir nehmen deren Entwicklung gemäß des Projektes „Klimaneutrales Deutschland“ von Agora Energiewende an (Prognos et al. 2021).

Mit dem aktuellen Politik-Mix (Mai 2023 ohne GEG-Novelle; Referenzszenario) verfehlt der Gebäudesektor die Klimaschutzziele im Jahr 2030. Die jährlichen Emissionen liegen um 15 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/a bzw. 28 Prozent über dem Klimaziel. Im Jahr 2045 liegen die jährlichen Emissionen 40 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/a über dem Ziel der Klimaneutralität. Die jährlichen Emissionen können jedes Jahr mit dem Zielwert im Klimaschutz verglichen werden, um eine Differenz zu bilden. Addiert man die Ziellücke jedes Jahr, ergeben sich die kumulierten Jahresemissionsmengen im rechten Teil von ► Abbildung 6. Sie steigen mit jedem weiteren Jahr an, in dem die Emissionen über dem Jahresziel nach Klimaschutzgesetz liegen. Somit ergibt sich mit dem aktuellen Politik-Mix von 2020 bis 2030 eine kumulierte Gesamtlücke zu den Klimazielen von 99 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub>. Im Jahr 2045 steigt sie auf 498 Mt<sub>CO<sub>2</sub></sub> an.<sup>9</sup>

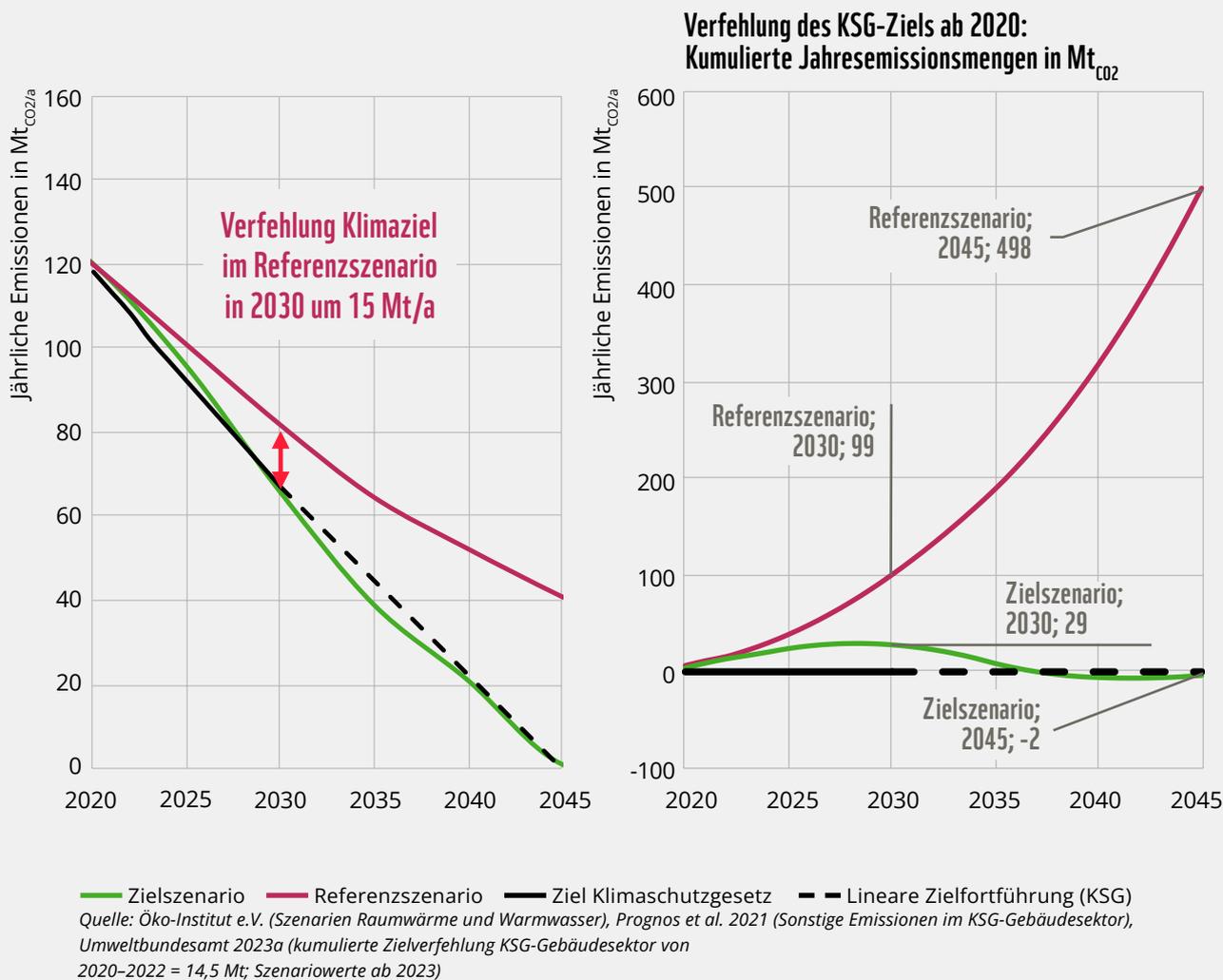
Im Zielszenario können in Bezug auf die jährlichen Emissionen beide Zielverfehlungslücken durch zusätzliche Instrumente geschlossen werden. Die 65-Prozent-Vorgabe spielt dabei die Hauptrolle, indem sie den Ausstieg aus fossilen Energien einleitet. Für die Erreichung des Klimaziels im Jahr 2030 sind zusätzlich die MEPS wichtig. Bezogen auf die kumulierte Ziellücke

9 Zum Vergleich: Im Jahr 2022 betragen die insgesamt in Deutschland ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Emissionen 666 Mt (siehe <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/kohlendioxid-emissionen#herkunft-und-minderung-von-kohlendioxid-emissionen>).

## 2. SZENARIEN FÜR DIE DEKARBONISIERUNG DES GEBÄUDESEKTORS

verfehlt jedoch auch das Zielszenario die Vorgabe in 2030, da der geänderte Politik-Mix erst verspätet wirken kann. Ab 2030 kann dieser Rückstand aufgeholt werden und bis 2045 stößt der Gebäudesektor kumuliert so viele Emissionen aus, als hätte er sich seit jeher auf dem Zielpfad befunden.

**Abbildung 6:** Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudesektor nach Klimaschutzgesetz



In Abbildung 6 werden nur die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger zur Wärmeerzeugung in Gebäuden gezeigt – gemäß der Logik im Klimaschutzgesetz. Das heißt, CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Erzeugung von Strom und Fernwärme entstehen, sind hier nicht abgebildet.<sup>10</sup> Den Ergebnissen liegt die Annahme zugrunde, dass die verbleibende Biomassennutzung entsprechende Nachhaltigkeitskriterien erfüllt und somit als treibhausgasneutral bilanziert wird. Diese Restemissionen müssen durch biologische oder technische Kohlenstoffsenken ausgeglichen werden.

<sup>10</sup> Die Emissionen aus der Strom- und Fernwärmeerzeugung werden im Sektor Energiewirtschaft bilanziert.



### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

**Fernwärme ist ein zentraler Baustein für die Wärmewende. Ihre Dekarbonisierung ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Klimaneutralität.**

Fernwärmenetze bilden einen wichtigen Baustein für die Dekarbonisierung der Gebäudewärmeversorgung. Bislang wird Fernwärme in Deutschland jedoch noch überwiegend mit fossilen Brennstoffen erzeugt. In Abschnitt 3.1 zeigen wir als Ausgangspunkt den bundeslandspezifischen Energieträgermix und die damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärmeversorgung in Deutschland für das Jahr 2020 dar. Darauf aufbauend stellen wir in Abschnitt 3.2 verschiedene Optionen auf, mit denen fossile Brennstoffe in der Fernwärmeerzeugung durch erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme ersetzt werden können, damit die Fernwärmeversorgung bis 2045 klimaneutral wird.

## 3.1 AUSGANGSPUNKT: ENERGIETRÄGERMIX UND CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN JE BUNDESLAND FÜR DIE FERNWÄRMEVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2020

### 3.1.1 Datengrundlage und Methodik

#### 3.1.1.1 Energiebilanzen der Bundesländer (Energieträgermix)

In der nachfolgenden Auswertung verwenden wir die Energiebilanzen der einzelnen Bundesländer, die regelmäßig vom Länderarbeitskreis Energiebilanzen bereit gestellt werden (Länderarbeitskreis Energiebilanzen LAK 2023). Für die meisten Bundesländer ist dabei das Jahr 2020 das aktuelle Berichtsjahr. Für Mecklenburg-Vorpommern<sup>11</sup> beziehen sich die Daten der Energiebilanz auf das Jahr 2018 und für Sachsen-Anhalt<sup>12</sup> auf das Jahr 2019.

Aus den Energiebilanzen haben wir einerseits den energieträgerspezifischen Umwandlungseinsatz für Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur Kraft-Wärme-Kopplung; KWK)<sup>13</sup> sowie für Heizwerke<sup>14</sup> und andererseits den Umwandlungsausstoß an Strom und Fernwärme für diese beiden Erzeugungsgruppen ausgelesen. Teilweise musste der Umwandlungseinsatz für einzelne Energieträger auch geschätzt werden, da aus Vertraulichkeitsgründen diese in einzelnen Energiebilanzen nicht ausgewiesen werden. Dies betrifft beispielsweise den Steinkohleeinsatz in Bayern und Niedersachsen oder den Einsatz von Braunkohle und Abfällen in Sachsen-Anhalt.

Während sich für Heizwerke die Bilanzierung ausschließlich auf das erzeugte Produkt „Fernwärme“ bezieht, ist für den KWK-Betrieb von

---

11 Die Energiebilanz für das Jahr 2020 befindet sich derzeit im Veröffentlichungsprozess.

12 Die Energiebilanz für das Jahr 2020 enthält für Heizkraftwerke und Heizwerke nur aggregierte Daten als Summe über alle Energieträger.

13 Name der Bilanzposition: „Umw.-Einsatz: Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK)“

14 Name der Bilanzposition: „Umw.-Einsatz: Heizwerke“

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Heizkraftwerken der allgemeinen Versorgung eine Aufteilung der Energieträger und der damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Produkte „Strom“ und „Fernwärme“ erforderlich. Für diese Aufteilung stehen verschiedene Allokationsmethoden zur Verfügung, unter anderem die von der AG Energiebilanzen verwendete „Finnische Methode“ (Referenzwirkungsgradmethode) sowie die „Stromgutschriftenmethode“, die beispielsweise im Gebäudeenergiegesetz vorgegeben ist. Diese Allokationsmethoden werden in den nächsten Abschnitten näher erläutert und für die Bestimmung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärmeversorgung verwendet.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Allokationsmethoden, wobei insbesondere die „Carnot-/Exergie-Methode“ eine verursachungsgerechte Aufteilung ermöglicht und nicht auf ein Referenzsystem angewiesen ist. Dafür benötigt die „Carnot-Methode“ das Temperaturniveau der Wärmeauskopplung, das üblicherweise nur auf Einzelanlagenebene vorliegt und nicht in den Energiebilanzen der Bundesländer enthalten ist. Aus diesem Grund kann die „Carnot-Methode“ in dieser Analyse nicht angewendet werden. Eine gute Gegenüberstellung der verschiedenen Allokationsmethoden ist in einem Bericht des Umweltbundesamtes (2016) zu finden. Die „Finnische Methode“ ist eine vereinfachte Variante der „Carnot-Methode“ (ohne komplizierte Berücksichtigung der Temperaturniveaus).

#### 3.1.1.2 Allokationsmethoden für KWK-Anlagen

Bei der „Finnischen Methode“ werden zunächst aus dem gesamten Brennstoffeinsatz und der Strom- und Wärmeerzeugung der elektrische und der thermische Wirkungsgrad einer einzelnen KWK-Anlage bzw. der bilanzierten KWK-Anlagen bestimmt ( $\eta_{el,KWK}$  und  $\eta_{th,KWK}$ ). Danach wird die Primärenergieeinsparung (PEE) ermittelt, die sich durch Kraft-Wärme-Kopplung im Vergleich zur jeweils getrennten Erzeugung von Strom und Wärme ergibt (Referenzprozesse). Dabei wird ein Referenzwirkungsgrad von 40 Prozent für die ungekoppelte Stromerzeugung ( $\eta_{el,REF}$ ) und 90 Prozent für die ungekoppelte Wärmeerzeugung ( $\eta_{th,REF}$ ) unterstellt. Der Brennstoffeinsatz wird abschließend über die Formeln  $(1 - PEE) * (\eta_{el,KWK} / \eta_{el,REF})$  bzw.  $(1 - PEE) * (\eta_{th,KWK} / \eta_{th,REF})$  auf die Strom- und Wärmeerzeugung aufgeteilt. Die „Finnische Methode“ wird unter anderem von der AG Energiebilanzen verwendet (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) 2019, S. 10–11) und ist in der Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) für die Bestimmung der Primärenergiefaktoren vorgegeben (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. 2022, S. 15). Im Ergebnis sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Strom etwa doppelt so hoch wie die von Wärme.

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Bei der „Gutschriftenmethode“ werden die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen zunächst einem der beiden Produkte Strom oder Wärme zugeordnet (typischerweise dem Hauptprodukt). Danach wird für das andere Produkt (Kuppelprodukt) eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift bestimmt und von den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen abgezogen. Die CO<sub>2</sub>-Gutschrift für das Kuppelprodukt basiert auf einem Referenzprozess für die Herstellung des Kuppelprodukts. Bei der CO<sub>2</sub>-Gutschrift für Strom kann dafür der durchschnittliche nationale CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor oder der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des Verdrängungsmixes verwendet werden. Da KWK-Anlagen vor allem im Winterhalbjahr betrieben werden, ist die aktuelle CO<sub>2</sub>-Stromgutschrift für den Verdrängungsmix mit 860 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh größer als für den durchschnittlichen Netzbezug des Stroms mit 560 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (AGFW 2021b, S. 10). Die verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen für Fernwärme können dabei im Extremfall auch negativ werden. Die Ergebnisse des Vergleichs der Methoden sind in Tabelle 3 dargestellt.

#### 3.1.1.3 Brennstoffspezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und Netzverluste

Hinsichtlich der brennstoffspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren gibt es verschiedene Literaturquellen und Vorgehensweisen. Im AGFW-Regelwerk zur energetischen Bewertung von Fernwärme und Fernkälte werden für fossile Brennstoffe neben den direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung auch die Treibhausgasemissionen entlang der Vorkette zur Brennstoffbereitstellung berücksichtigt (AGFW 2021b, S. 9). Für Biogas, Holz und Abfallstoffe werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung jedoch mit Null bewertet. Dieses Vorgehen wird auch im Gebäudeenergiegesetz (Bundesministerium der Justiz (BMJ) und Bundesamt für Justiz 2023) sowie im BAFA Informationsblatt zu CO<sub>2</sub>-Faktoren (BAFA 2022) angewendet. Bei dieser Vorgehensweise wird Biomasse als klimaneutraler Brennstoff und Müllverbrennung als unvermeidbare Abwärme betrachtet.

Die Prämisse von Biomasse als klimaneutralem Brennstoff wird aus verschiedenen Gründen jedoch zunehmend hinterfragt (vgl. Infobox 1: Biomassenutzung für Gebäudewärme). Und auch die thermische Entsorgung von Abfällen ist mit CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden, die im Fall einer Fernwärmeauskopplung auch diesem Produkt zugeordnet werden können, zumal auch die Herstellung der Abfallprodukte mit Emissionen verbunden ist. Im nationalen Treibhausgasinventar werden sowohl für Biomasse als auch für Abfälle CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verwendet, die sich auf den Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs beziehen und die während der Verbrennung freigesetzten und in die Atmosphäre abgegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten (direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung). In der Treibhausgasbilanzierung für den Energiesektor werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung allerdings nur für fossile Brennstoffe und für Abfälle ausgewiesen. Die Bilanzierung der Biomassenutzung erfolgt

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

zusammen mit der Kohlenstoffspeicherung (natürliche Senke) im Sektor LULUCF. Ergänzend dazu werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse nachrichtlich ausgewiesen.

Um diese Aspekte bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu berücksichtigen, verwenden wir im weiteren Verlauf zwei Varianten für die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Biomasse und Abfällen (Tabelle 2):

- **Variante 1:** Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren werden unverändert aus dem AGFW-Regelwerk übernommen. Für Biomasse fallen dann nur geringfügige CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Vorkette an und Abfälle gehen CO<sub>2</sub>-frei in die Bewertung ein. Mit diesen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren wird die Klimawirkung der energetischen Biomassenutzung und von Müllverbrennung unterschätzt. Variante 1 stellt die untere Grenze der CO<sub>2</sub>-Emissionsberechnung dar.
- **Variante 2:** Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren aus dem AGFW-Regelwerk werden für Biomasse und Abfälle mit den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren aus der nationalen Treibhausgasbilanzierung ergänzt. Dadurch werden die aus der Verbrennung entstehenden direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen sichtbar. Variante 2 stellt die obere Grenze der CO<sub>2</sub>-Emissionsberechnung dar.

**Tabelle 2:** Brennstoffspezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren

Brennstoff	AGFW-Regelwerk (Variante 1)	Nationales Treibhausgasinventar (direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen)	AGFW-Regelwerk plus direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen für Biomasse und Abfall (Variante 2)
Heizöl	310 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	266 g CO <sub>2</sub> /kWh	310 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Erdgas	240 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	201 g CO <sub>2</sub> /kWh	240 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Steinkohle	400 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	338 g CO <sub>2</sub> /kWh	400 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Braunkohle	430 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	399 g CO <sub>2</sub> /kWh	430 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Holz	20 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	368 g CO <sub>2</sub> /kWh	388 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Klärgas	0 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	378 g CO <sub>2</sub> /kWh	378 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh
Abfall	0 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh	329 g CO <sub>2</sub> /kWh	329 g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh

Quelle: AGFW 2021b, S. 9; Umweltbundesamt 2023c, S. 854-857

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

In einem abschließenden Schritt berücksichtigen wir noch die bundeslandspezifischen Netzverluste der Fernwärmeversorgung und beziehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht auf die Fernwärmeerzeugung, sondern auf die Fernwärmeabgabe an die Endverbrauchskunden in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung sowie private Haushalte. Die Netzverluste lagen im Jahr 2020 bundesweit bei rund acht Prozent, wobei Hessen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt Netzverluste zwischen fünf Prozent und sieben Prozent aufweisen, während in Thüringen, Sachsen, Rheinland-Pfalz, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Hamburg die Netzverluste zwischen zwölf Prozent und 13 Prozent liegen (AGFW 2021a).

Wir verwenden im weiteren Verlauf die brennstoffspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren inklusive Vorketten in den Varianten 1 und 2 sowie die vorgestellten Allokationsmethoden „Finnische Methode“ und „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“ für KWK-Anlagen.

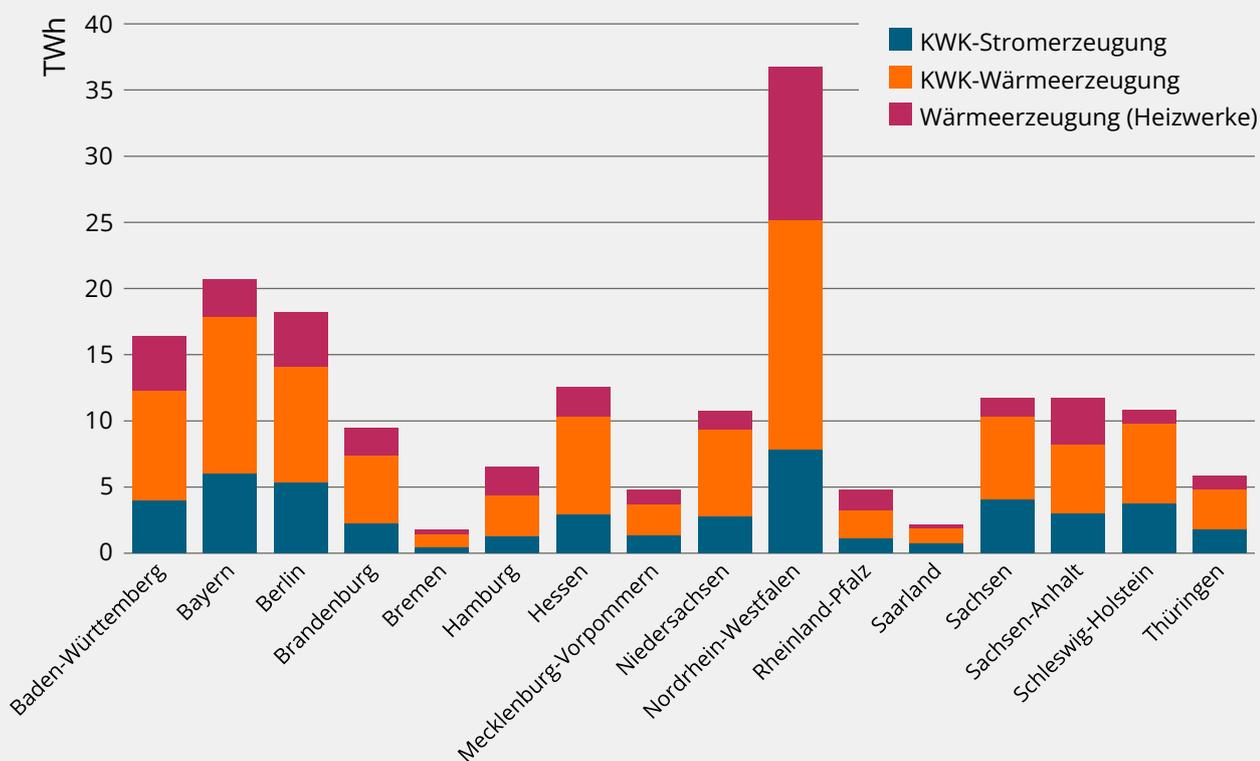


### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

#### 3.1.2 Jährlicher Energieträgereinsatz zur Erzeugung von Fernwärme und KWK-Strom

In Deutschland wurden im Jahr 2020 jährlich rund 136 TWh Fernwärme<sup>15</sup> und rund 49 TWh KWK-Strom<sup>16</sup>, gekoppelt zur Fernwärmeerzeugung, erzeugt (Umwandlungsausstoß). Etwa 30 Prozent der Fernwärmeerzeugung entfällt dabei auf Heizwerke<sup>17</sup> (41 TWh) und knapp 70 Prozent entfallen auf KWK-Anlagen<sup>18</sup> (95 TWh). Ein großer Anteil der Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung findet in Nordrhein-Westfalen (20 %) statt, gefolgt von Bayern (11 %), Berlin (10 %), Baden-Württemberg (9 %) und Hessen (7%) (Abbildung 7).

Abbildung 7: Erzeugung von Fernwärme und KWK-Strom je Bundesland im Jahr 2020



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen, Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt das Jahr 2019.

15 In der Energiebilanz für Deutschland wird für das Jahr 2020 eine Fernwärmeerzeugung von 118 TWh ausgewiesen.

16 Die KWK-Stromerzeugung lag in Deutschland im Jahr 2020 bei 111 TWh und enthält auch KWK-Stromerzeugung aus der Objektversorgung (d. h. gekoppelt mit der nicht leitungsgebundenen Wärmeerzeugung). In der Energiebilanz für Deutschland wird die Stromerzeugung der Heizkraftwerke nicht separat berichtet.

17 In der Energiebilanz für Deutschland wird für das Jahr 2020 eine Fernwärmeerzeugung in Fernheizwerken von 28 TWh ausgewiesen. Das Delta zu den Energiebilanzen der Bundesländer beträgt 13 TWh.

18 In der Energiebilanz für Deutschland wird für das Jahr 2020 eine Fernwärmeerzeugung in Wärmekraftwerken von 90 TWh ausgewiesen. Das Delta zu den Energiebilanzen der Bundesländer beträgt 5 TWh.

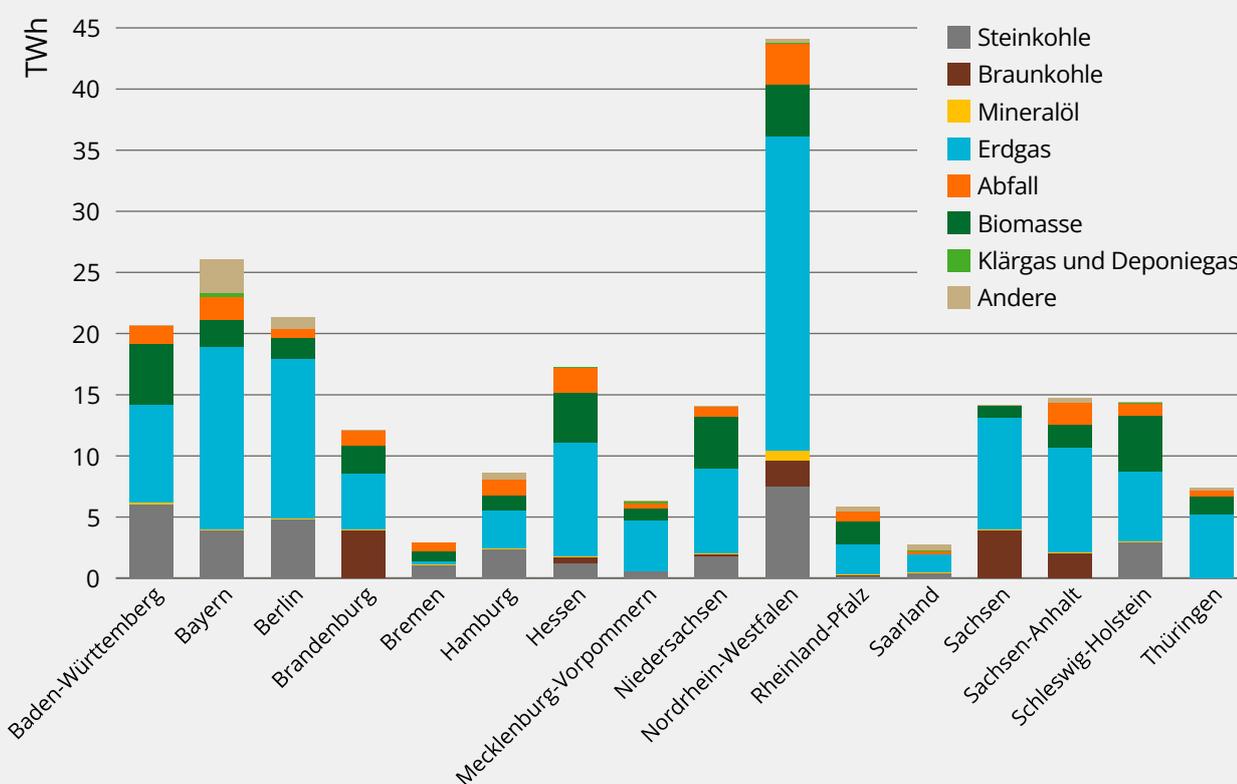
### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Für die Erzeugung von Fernwärme und KWK-Strom wurden im Jahr 2020 in Deutschland etwa 233 TWh an Energieträgern eingesetzt, davon 184 TWh in KWK-Anlagen und 49 TWh in Heizwerken (Umwandlungseinsatz). Der Gesamtwirkungsgrad von KWK-Anlagen beläuft sich im Bundesdurchschnitt auf 79 Prozent.

Über die Hälfte des Energieträgereinsatzes entfällt auf Erdgas (53 %), gefolgt von Biomasse (16 %), Steinkohle (14 %), Abfall (8 %), Braunkohle (6 %), andere Energieträger<sup>19</sup> (3 %), Klärgas und Deponiegas (1 %) und Heizöl (1 %).

Der bundeslandspezifische Energieträgermix basiert in Thüringen (71 %), Sachsen (65 %), Mecklenburg-Vorpommern (65 %), Berlin (61 %), Sachsen-Anhalt (58 %), Bayern (57 %) und dem Saarland (54 %) zu mehr als der Hälfte auf Erdgas. Einen vergleichsweise hohen Steinkohleanteil im bundeslandspezifischen Energieträgermix gibt es in Bremen (37 %), Baden-Württemberg (29 %), Hamburg (28 %), Berlin (22 %) und Schleswig-Holstein (21 %). Der Braunkohleanteil ist vor allem in Brandenburg (33 %), Sachsen (28 %) und Sachsen-Anhalt (13 %) hoch, gefolgt von Nordrhein-Westfalen (5 %) und Hessen (3 %) (vgl. Abbildung 8).

**Abbildung 8:** Energieträgereinsatz zur Erzeugung von Fernwärme und KWK-Strom je Bundesland im Jahr 2020



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen, Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt das Jahr 2019.

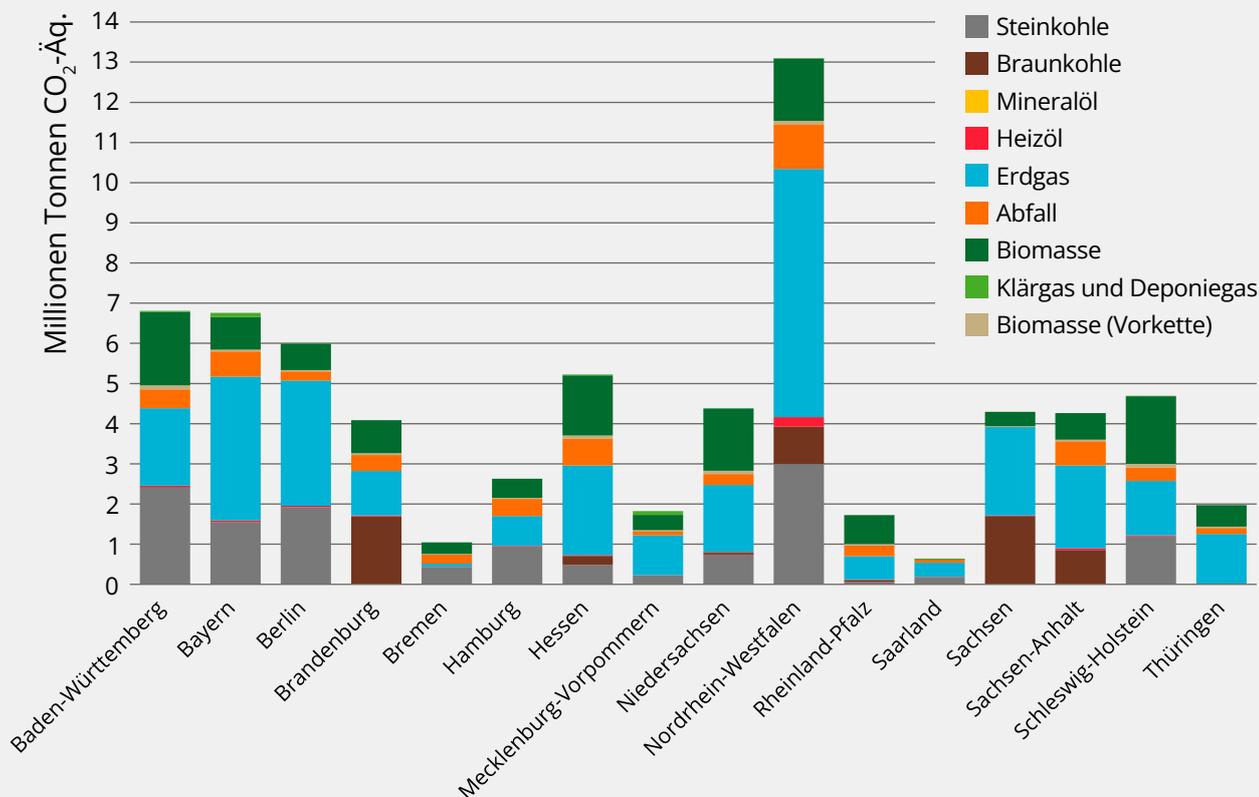
19 z. B. Geothermie, Solarthermie, Strom, Abwärme, Kuppelgase

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

#### 3.1.3 Treibhausgasemissionen der Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung

Die aus dem Energieträgereinsatz für die Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung resultierenden Treibhausgasemissionen belaufen sich in der Variante 1 auf 49 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (d. h. ohne direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen) und in der Variante 2 auf 69 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (d. h. inklusive der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen). Auf den fossilen Brennstoff Erdgas entfallen 29 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, gefolgt von Steinkohle mit 13 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, Braunkohle mit 5,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Mineralöl mit 0,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse belaufen sich auf 14 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> sowie sechs Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> für Abfälle und eine Million Tonnen CO<sub>2</sub> für Klärgas und Deponiegas.<sup>20</sup> Auf die Vorkette der Biomassebereitstellung entfallen eine Million Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Abbildung 9).

**Abbildung 9:** Treibhausgasemissionen der Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung je Bundesland im Jahr 2020



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen. Das Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt 2019.

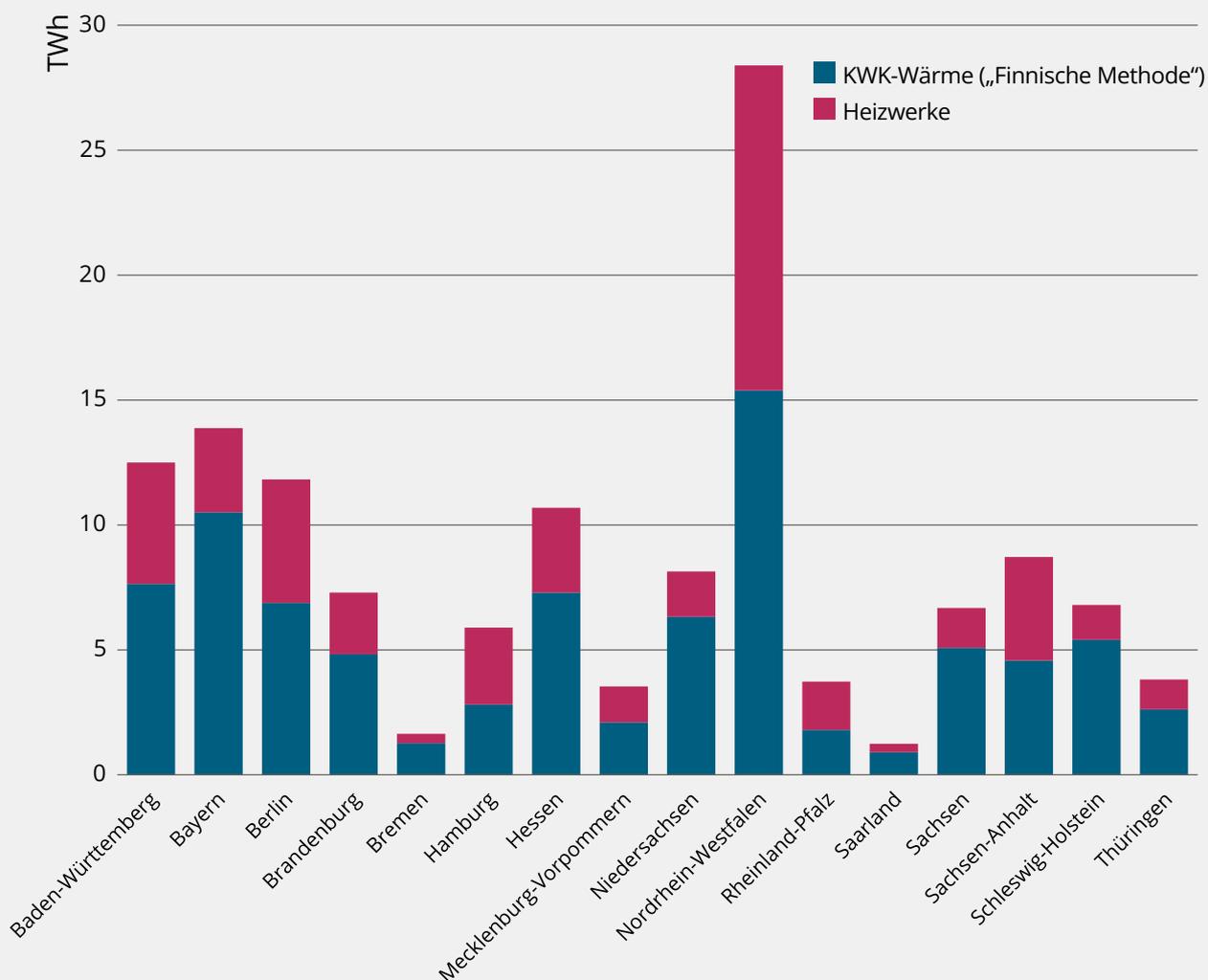
<sup>20</sup> Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der gesamten Biomassenutzung beliefen sich im Jahr 2021 auf 111 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Summary Report for CO<sub>2</sub>-Equivalent emissions, Zeile 61, Summary Report for CO<sub>2</sub>-Equivalent emissions 2023).

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

#### 3.1.4 Spezifische Treibhausgasemissionen der Fernwärmeversorgung nach der „Finnischen Methode“

Für die Bestimmung der spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärmeversorgung nach der „Finnischen Methode“ werden zunächst die Energieträger, die in KWK-Anlagen für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt werden, auf die beiden Produkte aufgeteilt. Im Bundesdurchschnitt werden 54 Prozent des Energieträgereinsatzes der KWK-Stromerzeugung und 46 Prozent der KWK-Wärmeerzeugung zugeordnet. Der verbleibende Energieträgermix zur Fernwärmeezeugung beläuft sich dann auf rund 135 TWh, wobei 85 TWh auf KWK-Anlagen und 50 TWh auf die Fernwärmeezeugung in Heizwerken entfallen (Abbildung 10).

**Abbildung 10:** Energieträgereinsatz zur Fernwärmeezeugung in KWK-Anlagen je Bundesland im Jahr 2020 nach der „Finnischen Methode“ sowie in Heizwerken

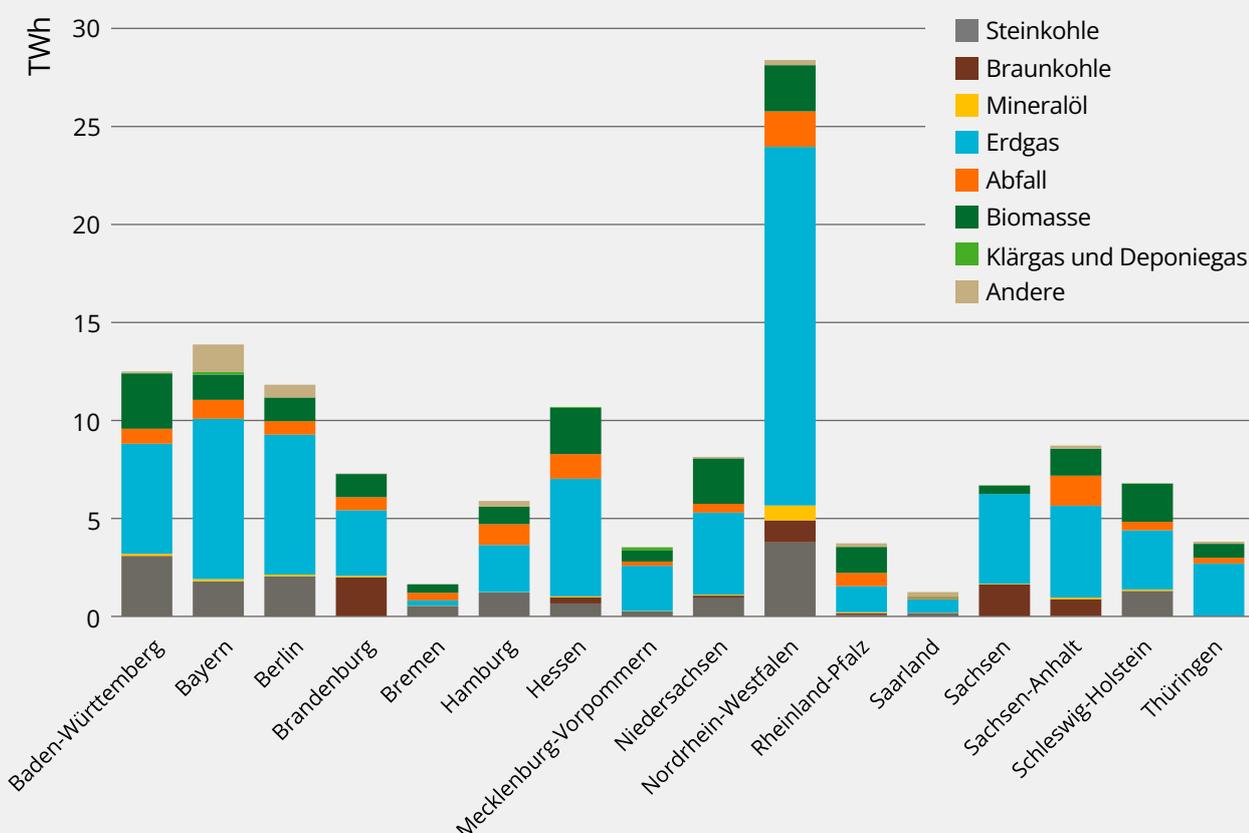


Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen. Das Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt 2019.

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Die Fernwärmeversorgung basiert in Deutschland derzeit zu knapp drei Vierteln auf den fossilen Brennstoffen Erdgas (55 %), Steinkohle (11 %), Braunkohle (5 %) und Heizöl (1 %), zu 16 Prozent auf Biomasse und zu acht Prozent auf Abfällen, die in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet werden (Abbildung 11). Die fossilen Energieträger müssen für eine klimaneutrale Fernwärmeerzeugung vollständig durch erneuerbare und überwiegend nicht-biogene Energieträger substituiert werden (vgl. Kapitel 3.2).

**Abbildung 11:** Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung je Bundesland im Jahr 2020 nach der „Finnischen Methode“



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen. Das Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt 2019.

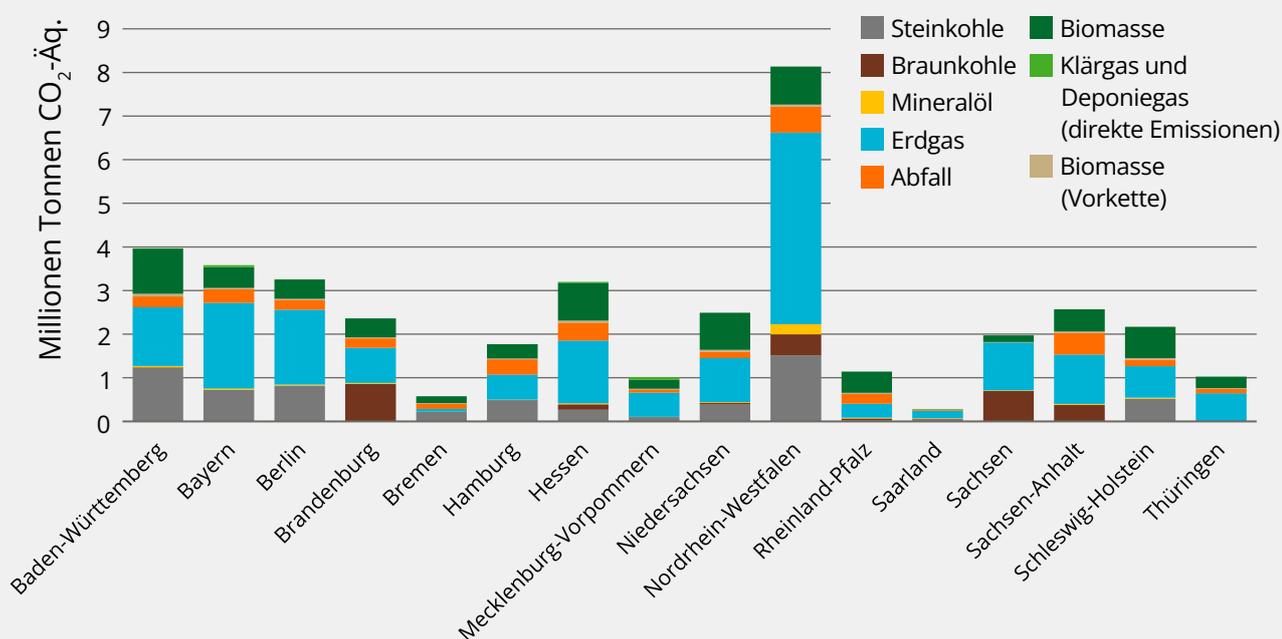
Die aus dem Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung resultierenden brennstoffspezifischen Treibhausgasemissionen je Bundesland zeigt Abbildung 12. Deutschlandweit ist die Abgabe von 125 TWh Fernwärme<sup>21</sup> an die Endverbrauchskunden mit rund 28 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente in der Variante 1 (d. h. ohne direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen) bzw. 40 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente in der Variante 2 (d. h. inklusive der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen) verbunden.

21 136 TWh Fernwärmeerzeugung abzüglich acht Prozent Netzverluste

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Daraus resultiert ein spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der Fernwärmeversorgung von 221 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh in der Variante 1 bzw. 316 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh in der Variante 2 (vgl. Tabelle 3). Im Vergleich zu einer Erdgasheizung mit einem spezifischen THG-Emissionsfaktor von 270 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sup>22</sup> ist die Fernwärmeversorgung in Deutschland im Jahr 2020 nach der „Finnischen Methode“ weniger CO<sub>2</sub>-intensiv, sofern die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen nicht berücksichtigt werden.

**Abbildung 12:** Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung je Bundesland im Jahr 2020 nach der „Finnischen Methode“



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen. Das Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt 2019.

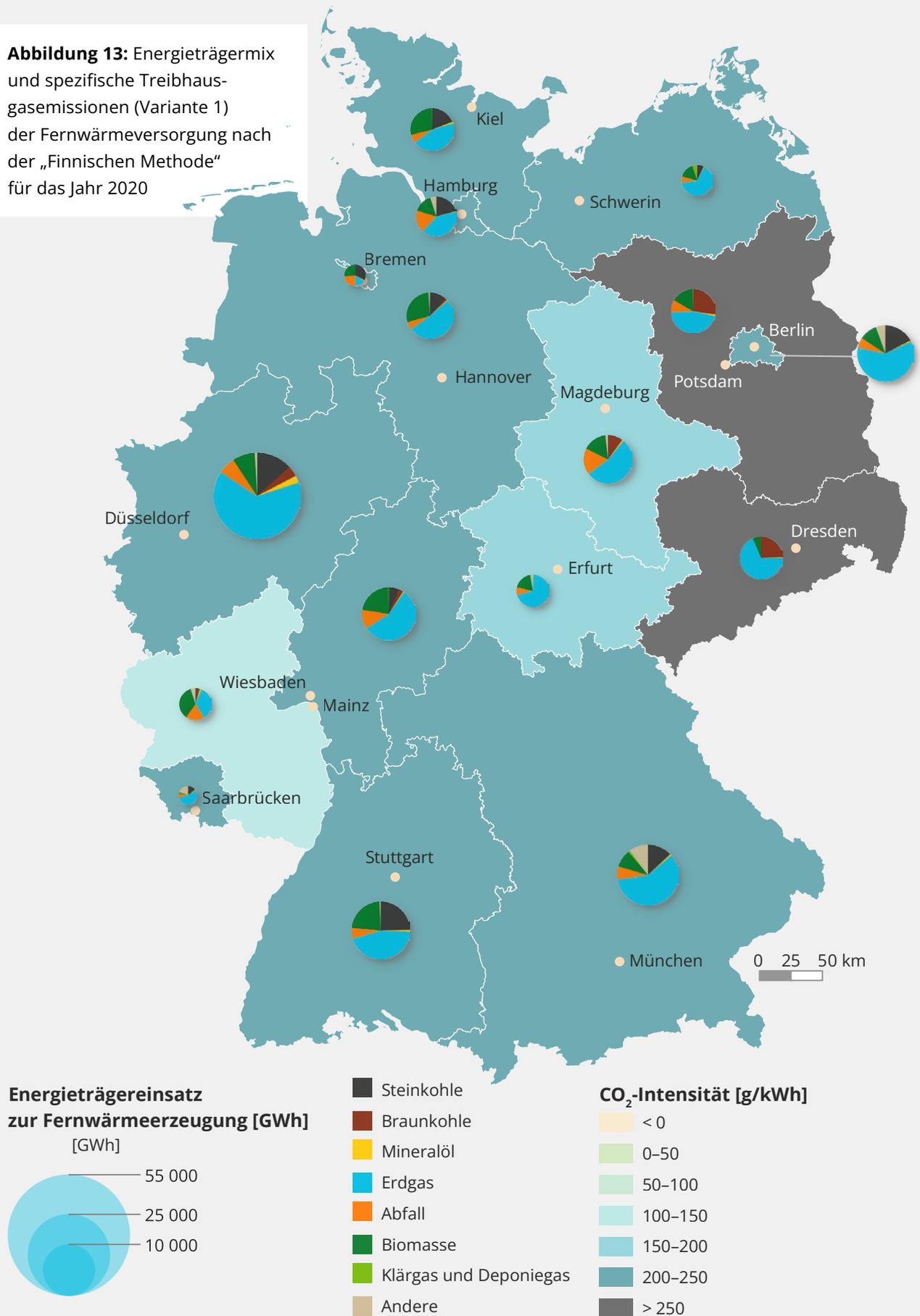
Die Bandbreite der bundeslandspezifischen THG-Emissionsfaktoren der Fernwärmeversorgung liegt nach der „Finnischen Methode“ und ohne die Berücksichtigung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen (Variante 1) in einem Bereich von etwa 130 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (Rheinland-Pfalz) bis 275 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (Brandenburg). Werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen mit betrachtet (Variante 2), so ergeben sich spezifische Emissionen von rund 240 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (Saarland) bis 470 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (Bremen).

In Abbildung 13 werden abschließend der Energieträgermix und die spezifischen THG-Emissionsfaktoren (Variante 1) der Fernwärmeversorgung in den Bundesländern für das Jahr 2020 gezeigt, wie sie sich nach der „Finnischen Methode“ ergeben.

<sup>22</sup> 240 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh Erdgas geteilt durch 90 Prozent Wirkungsgrad (vgl. Tabelle 2)

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

**Abbildung 13:** Energieträgermix und spezifische Treibhausgasemissionen (Variante 1) der Fernwärmeversorgung nach der „Finnischen Methode“ für das Jahr 2020



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen. Das Berichtsjahr für Mecklenburg-Vorpommern ist 2018 und für Sachsen-Anhalt 2019.

#### 3.1.5 Bundeslandspezifischer Energieträgermix und spezifische Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung nach der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“

Bei Verwendung der „Stromgutschriftmethode“ und dem in der AGFW-Richtlinie angegebenen  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix in Höhe von  $860 \text{ g CO}_2\text{-Äq./kWh}$  KWK-Strom wird der erzeugte Strom im Vergleich zur „Finnischen Methode“ deutlich  $\text{CO}_2$ -intensiver bewertet. Dies führt im Gegenzug zu einer Entlastung der  $\text{CO}_2$ -Intensität der Fernwärme. Der  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor für die von der KWK-Stromerzeugung verdrängte ungekoppelte Stromerzeugung ist zu dem jeweiligen Zeitpunkt von der Merit-Order des Kraftwerksparks (Strommarkt) und der im Rahmen des Engpassmanagements von den Stromübertragungsnetzbetreibern durchgeführten Redispatch abhängig. Um diesen  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor zu bestimmen, ist entweder eine detaillierte Modellierung des europäischen Strommarktes oder eine Ex-post-Auswertung der kraftwerkspezifischen Einsatzzeitreihen in stündlicher Auflösung erforderlich.

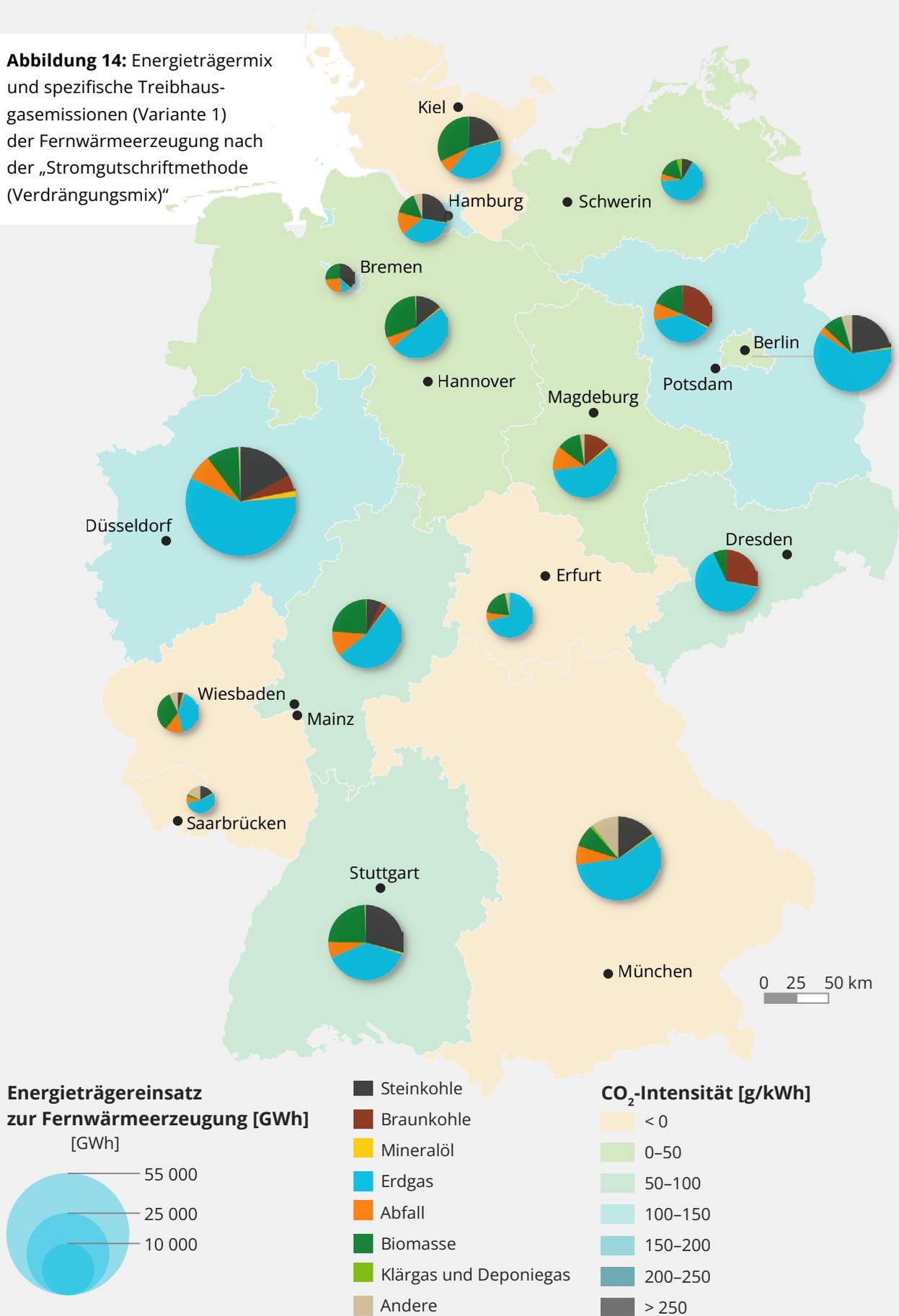
Im KWK-Evaluierungsbericht wird auf dieser Basis ein  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix in Höhe von  $830 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  für das Jahr 2015 und in Höhe von  $810 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  für das Jahr 2020 ausgewiesen (Prognos et al. 2019, S. 37). Der in der AGFW-Richtlinie festgelegte  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix in Höhe von  $860 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  überschätzt somit bereits für das Jahr 2020 die tatsächlichen  $\text{CO}_2$ -Emissionen der verdrängten ungekoppelten Stromerzeugung. Durch den Kohleausstieg und den gleichzeitigen Ausbau erneuerbarer Energien wird der tatsächliche  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix in den nächsten Jahren kontinuierlich zurückgehen. Dabei können langfristig auch erneuerbare Energien, insbesondere Wind- und PV-Anlagen, durch die Stromerzeugung von KWK-Anlagen verdrängt werden (z. B. durch Redispatch). Um diese Entwicklung nachzubilden, müsste der in den Regelwerken ausgewiesene  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor regelmäßig aktualisiert werden.

**Der ausgewiesene  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor muss aufgrund des sich ändernden Energiemixes regelmäßig aktualisiert werden.**

In Bundesländern mit einem geringen Kohleanteil im Energieträgermix und einem hohen Anteil an Biomasse, Abfall und anderen Energieträgern wird in der Variante 1 (d. h. ohne Berücksichtigung der direkten  $\text{CO}_2$ -Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen) der resultierende  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktor der Fernwärmeversorgung negativ. Dies betrifft die Bundesländer Thüringen, Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein und Bayern. Die Bandbreite der spezifischen  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Fernwärmeversorgung beläuft sich auf  $-115 \text{ g CO}_2\text{-Äq./kWh}$  (Saarland) bis  $150 \text{ g CO}_2\text{-Äq./kWh}$  (Brandenburg). In der Variante 2 (d. h. inklusive der direkten  $\text{CO}_2$ -Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen) ergibt sich mit der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“ eine Bandbreite von  $-30 \text{ g CO}_2\text{-Äq./kWh}$  (Saarland) bis  $540 \text{ g CO}_2\text{-Äq./kWh}$  (Bremen) (vgl. Tabelle 3).

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

**Abbildung 14:** Energieträgermix und spezifische Treibhausgasemissionen (Variante 1) der Fernwärmeerzeugung nach der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung und Berechnung, basierend auf Daten der AG Energiebilanzen, Variante 1: ohne Berücksichtigung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfall

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

#### 3.1.6 Vergleich der spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung nach der „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“ und der „Finnischen Methode“

Die zusammenfassende Darstellung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärmeversorgung in Tabelle 3 zeigt einerseits die große Bandbreite in den Bundesländern und andererseits die Sensitivität hinsichtlich der verwendeten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren sowie der gewählten Allokationsmethode für KWK-Anlagen.

**Tabelle 3:** Bandbreite der spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärmeversorgung in den Bundesländern für das Jahr 2020

Bundesland	„Finnische Methode“		„Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“	
	Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2
	g CO <sub>2</sub> -Äq./kWh Fernwärmeabgabe			
<b>Baden-Württemberg</b>	236	351	94	299
<b>Bayern</b>	192	269	-30	114
<b>Berlin</b>	218	275	39	109
<b>Brandenburg</b>	275	380	149	345
<b>Bremen</b>	239	474	115	539
<b>Hamburg</b>	228	370	126	314
<b>Hessen</b>	208	349	54	293
<b>Mecklenburg-Vorpommern</b>	225	338	22	217
<b>Niedersachsen</b>	204	341	25	274
<b>Nordrhein-Westfalen</b>	246	300	136	234
<b>Rheinland-Pfalz</b>	132	350	-75	227
<b>Saarland</b>	205	239	-116	-30
<b>Sachsen</b>	268	291	60	113
<b>Sachsen-Anhalt</b>	193	318	47	204
<b>Schleswig-Holstein</b>	212	353	-93	237
<b>Thüringen</b>	187	288	-79	114
<b>Deutschland</b>	<b>221</b>	<b>316</b>	<b>54</b>	<b>218</b>

Quelle: Öko-Institut e.V. (eigene Berechnung); Variante 1: ohne Berücksichtigung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen, Variante 2: inkl. Berücksichtigung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Im Vergleich der vier betrachteten Varianten- und Methodenkombinationen bewertet die „Stromgutschriftmethode (Verdrängungsmix)“ in der Variante 1 die Fernwärmeversorgung als am klimafreundlichsten. Dieses Vorgehen entspricht den Vorgaben aus dem AGFW-Regelwerk 309-1. Vorteilhaft wirkt sich bei dieser Methode eine möglichst hohe Stromerzeugung aus, da diese aufgrund des vorgegebenen hohen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors auch zu einer hohen CO<sub>2</sub>-Gutschrift führt. Die spezifischen Emissionen betragen in dieser Variante im Bundesdurchschnitt nur 54 g CO<sub>2</sub>/kWh. Im Vergleich zu einer Erdgasheizung mit einem spezifischen THG-Emissionsfaktor von 270 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sup>23</sup> fallen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärme um den Faktor 5 geringer aus.

Wird der Ausbau der erneuerbaren Energien auf der Stromseite realistisch berücksichtigt und auf die „Finnische Methode“ umgestellt, so wird die Fernwärmeversorgung CO<sub>2</sub>-intensiver bewertet als mit der „Stromgutschriftmethode“ und die Bandbreite in den Bundesländern ist geringer. In der Variante 1 beträgt der spezifische THG-Emissionsfaktor der Fernwärme 221 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh und weist damit immer noch leichte Vorteile gegenüber einer Erdgasheizung auf. Werden zusätzlich noch die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen berücksichtigt, führt dies zu einer Steigerung des spezifischen THG-Emissionsfaktors der Fernwärme auf 316 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh (vgl. Tabelle 3). Bei dieser Betrachtung wäre der Ersatz von Erdgasheizungen durch Fernwärme dann nicht sinnvoll gewesen. Dies verdeutlicht die zentrale Bedeutung der Substitution der heute noch überwiegend eingesetzten fossilen Brennstoffe, damit Fernwärme zu einem klimaneutralen Endenergieträger für die Wärmeversorgung wird.

**Fernwärme ist nicht unbedingt klimafreundlicher als Erdgas. Das Entscheidende ist die Transformation der Wärmeversorgung hin zur Klimaneutralität.**



23 240 g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh Erdgas geteilt durch 90 Prozent Wirkungsgrad (vgl. Tabelle 2)

#### 3.2 ZIELBILD: DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEERZEUGUNG DURCH SUBSTITUTION FOSSILER BRENNSTOFFE

**Auch bei der Fernwärmeversorgung müssen fossile Brennstoffe künftig durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden.**

Um die Fernwärmeerzeugung klimaneutral zu gestalten, müssen vorrangig die bislang eingesetzten fossilen Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Dafür kommen insbesondere folgende Optionen in Betracht:

- Tiefe Geothermie (v. a. im Molassebecken des süddeutschen Alpenvorlandes<sup>24</sup>, dem Oberrheingraben und der Norddeutschen Tiefebene)
- Solarthermie, in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher
- Nutzung von unvermeidbarer Abwärme, z. B. aus Industrieprozessen, der Klimatisierung von Rechenzentren oder zukünftig auch von Elektrolyseuren zur Wasserstoffherstellung
- mit erneuerbarem Strom betriebene Großwärmepumpen, z. B. in Fließ- und Binnengewässern oder Kläranlagen
- mit erneuerbarem Strom betriebene Elektrokessel, v. a. als Spitzenlastkessel
- mit grünem Wasserstoff betriebene KWK-Anlagen

Die Fernwärmeerzeugung aus der Müllverbrennung (v. a. Restmüll) wird in einer klimaneutralen Wirtschafts- und Lebensweise eher zurückgehen. Der Schwerpunkt geht dabei in Richtung Müllvermeidung und stoffliches Recycling, sodass in einer sogenannten Circular Economy nur noch möglichst wenig Abfälle thermisch verwertet werden müssen. Die getrennte Erfassung von Bioabfällen ist eine weitere Maßnahme zur Reduzierung des Restmüllaufkommens. Die energetische Verwertung von Bioabfällen in kommunalen Biogasanlagen ist sinnvoll. Dieser Verwertungspfad sollte weiter ausgebaut werden und die Anlagen sollten in Nahwärmenetze integriert werden.

Biomasseanlagen können weiterhin eine wichtige Rolle im Energieträgermix der Fernwärmeerzeugung spielen, vor allem für die Deckung der Spitzenlast. Die energetische Verwertung von Biomasse steht jedoch in einer vielfältigen Nutzungskonkurrenz (siehe auch Infobox 1: Biomassenutzung für Gebäudewärme), vor allem zur stofflichen Nutzung und als natürliche Kohlenstoffsенke. Deshalb ist der Einsatz von Biomasse in Fernwärmenetzen durch das naturverträglich verfügbare Potenzial begrenzt.

---

<sup>24</sup> Die Stadtwerke München betreiben bereits heute mehrere Geothermieanlagen zur Fernwärmeversorgung.

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Die „Big 3“ der Klimaneutralitätsstudien wurden als Vergleich herangezogen.

Im Rahmen eines Szenarienvergleichs für Zielszenarien, die Transformationspfade für die Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung bis 2045 beschreiben, betrachten wir abschließend die Studien „Klimaneutrales Deutschland 2045“ im Auftrag von Agora Energiewende (Prognos et al. 2021), „Klimapfade 2.0“ im Auftrag des BDI (Boston Consulting Group 2021) sowie die „Langfristszenarien 3“ für das BMWK (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI) und Consentec GmbH 2022.) Abbildung 15 zeigt den Energieträgereinsatz zur Fernwärmeerzeugung für die Jahre 2030 und 2045.

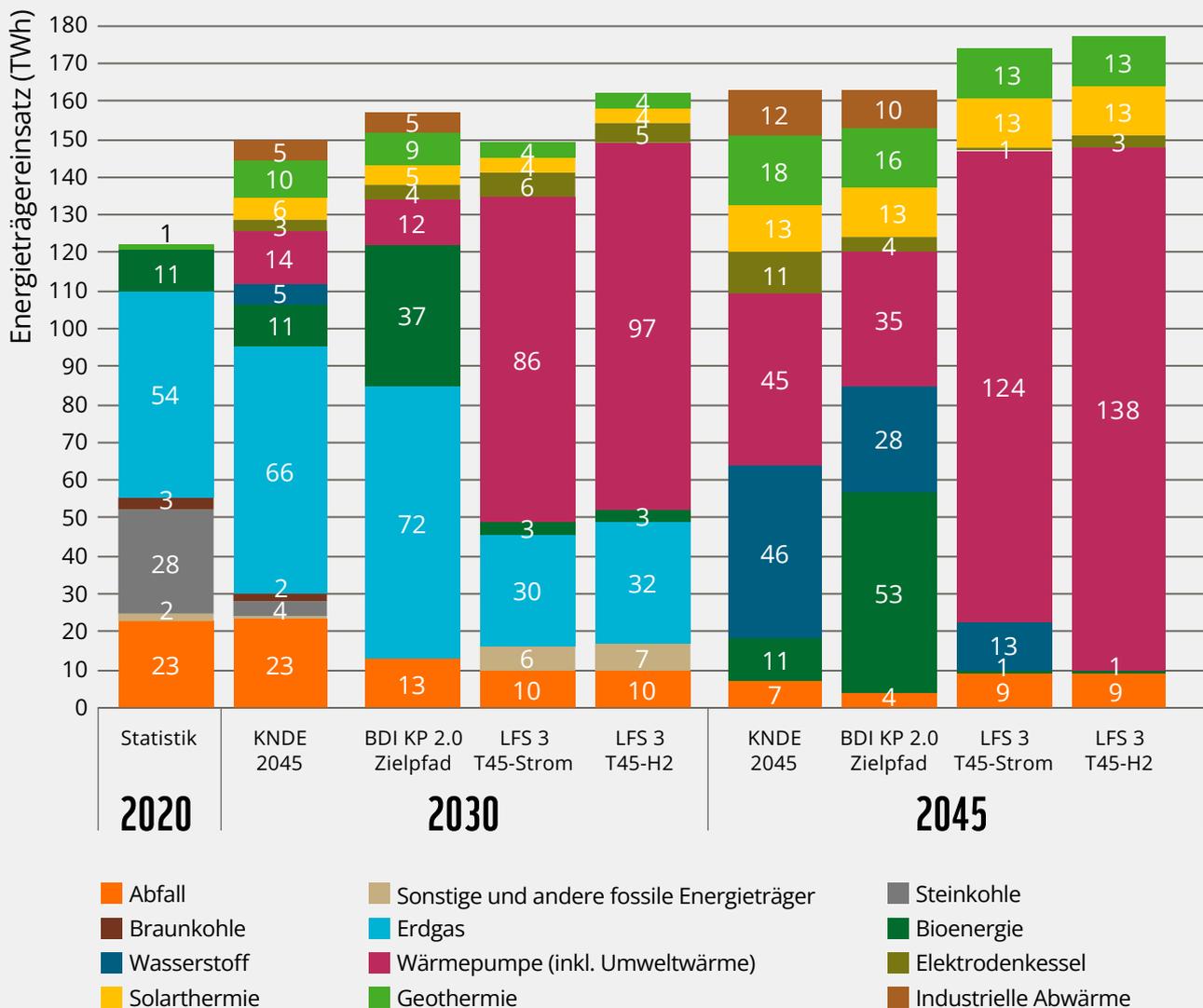
Dabei zeigt sich, dass für Geothermie (13 TWh bis 18 TWh bzw. 7 % bis 11 % in 2045) und Solarthermie (13 TWh bzw. 7 % bis 8 % in 2045) die Studien zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen. Auch geht in allen Studien die Fernwärmeerzeugung aus Müllverbrennung zurück. Unterschiede werden jedoch beim Einsatz von Wasserstoff, Biomasse sowie Strom für Großwärmepumpen und Elektrokessel sichtbar. Die Studie „Klimapfade 2.0“ weist mit 53 TWh bzw. einem Anteil von 33 Prozent im Jahr 2045 den mit Abstand größten Biomasseeinsatz auf. In der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ verbleibt der Biomasseeinsatz auf heutigem Niveau und in den „Langfristszenarien 3“ findet weitestgehend ein Biomasse-Phase-out bis 2045 statt.



### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

Die „Langfristszenarien 3“ fokussieren sehr stark auf Großwärmepumpen: Hier werden im Jahr 2045 rund drei Viertel der Fernwärme durch Wärmepumpen erzeugt (etwa 130 TWh). Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ weist den heterogensten Energieträgermix auf, wobei Wasserstoff mit 46 TWh bzw. einem Anteil von 27 Prozent im Jahr 2045 im Szenarienvergleich am stärksten auf Wasserstoff für die Fernwärmeversorgung setzt.

**Abbildung 15:** Transformationspfad für die Fernwärmeversorgung in Deutschland bis 2045



Quelle: Öko-Institut e.V., eigene Darstellung, basierend auf Daten aus: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 2022b, Prognos et al. 2021, S. 37, Boston Consulting Group 2021, S. 167 und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI) und Consentec GmbH 2022, S. 26

### 3. DEKARBONISIERUNG DER FERNWÄRMEVERSORGUNG

**Ein wichtiges politisches Instrument zur Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung in Deutschland ist die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW).**

Ein wichtiges politisches Instrument zur Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung in Deutschland ist die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW). Mithilfe der BEW soll der Anteil erneuerbarer Energien in Wärmenetzen um mindestens ein Prozent jährlich bis zum Jahr 2030 gesteigert werden. Darüber hinaus strebt die BEW einen EE-Anteil von mindestens 25 Prozent bis zum Jahr 2025 und von mindestens 30 Prozent bis zum Jahr 2030 an (BMWK 01.08.2022). Im Jahr 2021 lag der EE-Anteil bei 18 Prozent (BMWK 2022b). Der Biomasseanteil für geförderte Wärmenetze darf dabei 25 Prozent (für Wärmenetze mit einer Länge größer 50 km) bzw. 35 Prozent (für Wärmenetze mit einer Länge zwischen 20 und 50 km) nicht übersteigen. Darüber hinaus ist die Förderung an zahlreiche weitere Vorgaben für den Einsatz von Biomasse gekoppelt, wie zum Beispiel das Einhalten der Nachhaltigkeitskriterien gemäß Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung für das Verfeuern von fester Biomasse oder die Begrenzung der jährlichen Volllaststunden auf 2.500 h/a (für Wärmenetze mit einer Länge größer 50 km) bzw. 4.000 h/a (für Wärmenetze mit einer Länge zwischen 20 und 50 km).





## 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

## 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Aufgrund der großen Heterogenität des Gebäudebestands und dessen Bewohner\*innenstruktur wirkt sich die Transformation des Gebäudesektors regional unterschiedlich aus. Beispielsweise sind Regionen, in denen bereits vergleichsweise hohe Anteile an erneuerbaren Energien zum Heizen eingesetzt werden, weniger stark betroffen.

Die nachfolgenden Abschnitte diskutieren regionale Unterschiede in der Verteilung der Energieträger (► Abschnitt 4.1), der Altersstruktur und des Sanierungszustands (► Abschnitt 4.2), der Eigentümer\*innenstruktur (► Abschnitt 4.3) sowie der Wohnfläche (► Abschnitt 4.4). Die Betrachtungsebene sind dabei die NUTS-2 Regionen, die im Regelfall der Ebene der Regierungsbezirke entsprechen. ► Abschnitt 4.5 geht auf die Verknüpfung zur kommunalen Wärmeplanung ein und in ► Abschnitt 4.6 werden einige konkrete Fallbeispiele für typische Bezirke und Quartiere beleuchtet.

### 4.1 VERTEILUNG DER ENERGIETRÄGER

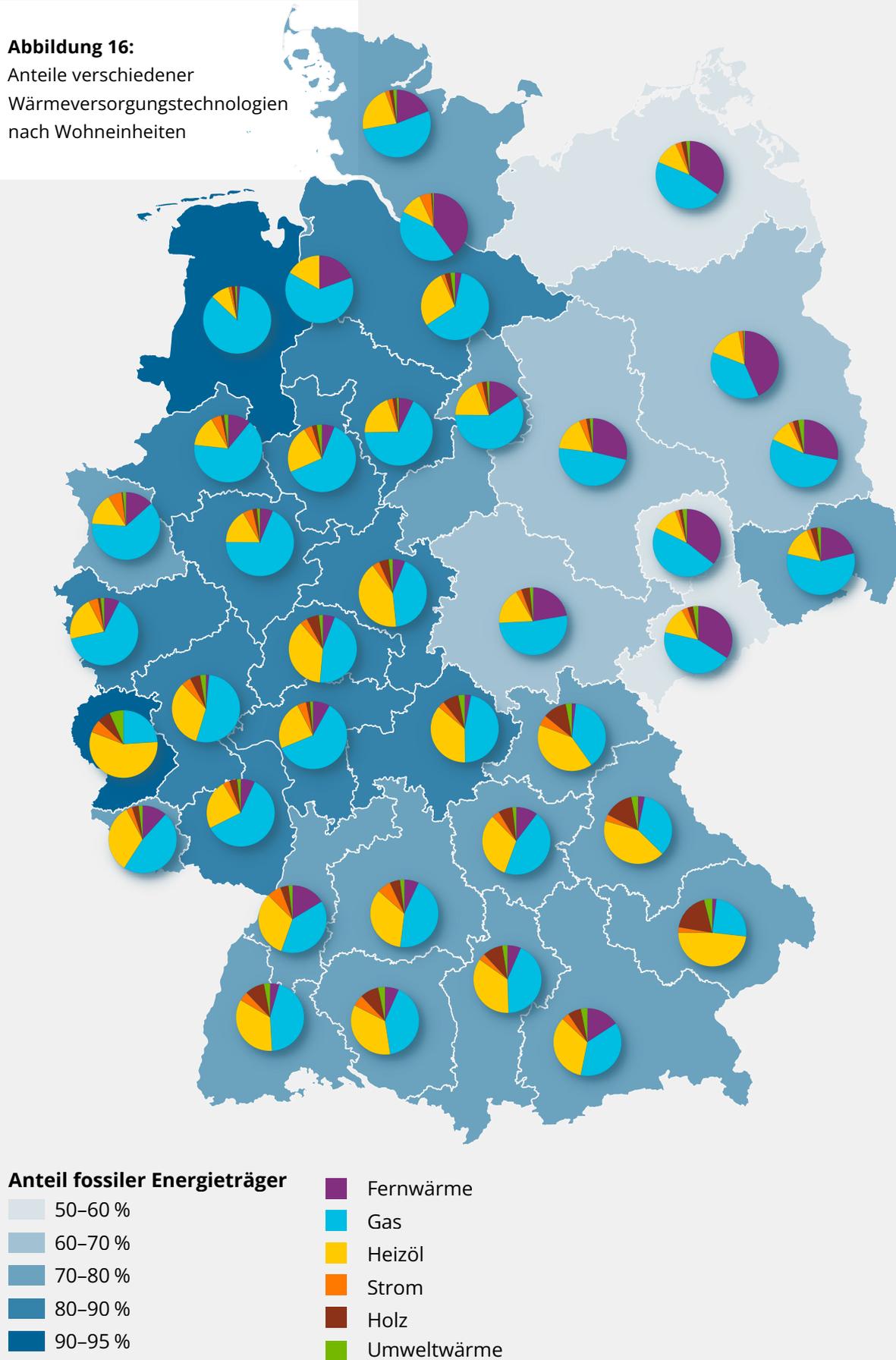
Der Anteil fossiler Einzelheizungen an der Wärmeversorgung in Wohngebäuden unterscheidet sich derzeit regional deutlich, mit einer Spannweite von etwas mehr als der Hälfte bis zu einem Anteil von 95 Prozent (Abbildung 16). Die deutlichen Unterschiede sind v. a. geprägt durch den Anteil an Fernwärme in der Wärmeversorgung, die in einigen Regionen mehr als ein Viertel der Wohneinheiten mit Wärme versorgt. Ein weiterer Faktor ist der Anteil von erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung in Wohngebäuden.



#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

**Abbildung 16:**

Anteile verschiedener  
Wärmeversorgungstechnologien  
nach Wohneinheiten



Quelle: eigene Darstellung. Datenbasis: Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018 (Wohnen in Deutschland)

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslage im Energiemix kommt den verschiedenen Instrumenten und Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung eine regional unterschiedliche Bedeutung zu. Dies betrifft insbesondere Instrumente, die einschränkend auf die Auswahl neu einzubauender Heizungen wirken: In Regionen mit einem hohen Anteil an fossilen Einzelheizungen entfalten diese eine besonders große Wirkung.

Die in Kapitel 2 dargestellten Transformationspfade für den Gebäudesektor werden regional differenziert untersucht. Die Verteilung der Ergebnisse aus der Gebäudemodellierung auf nationaler Ebene auf die Regionen erfolgt, indem die im Gebäudemodell verwendete Gebäudetypologie auf Basis der Daten des Mikrozensus auf die Regionen verteilt wird. Der Fokus der Betrachtung liegt auf dem Bereich der Wohngebäude, d. h. alle in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf dieses Segment.

**In allen Regionen spielen Wärmepumpen als wichtige Versorgungsoption eine zentrale Rolle. Der Anteil an Biomasse geht deutlich zurück.**

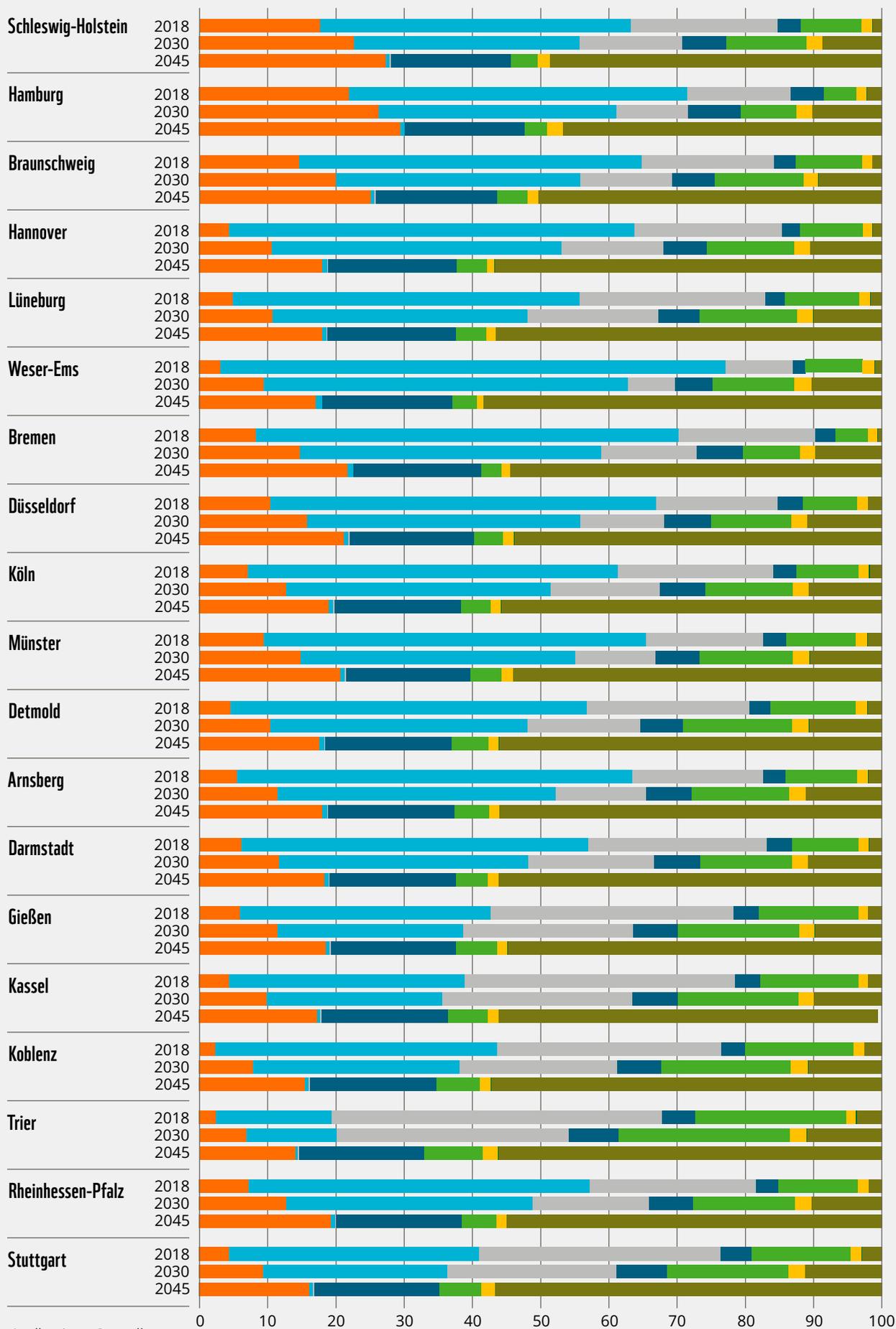
Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Energieträger im Basisjahr 2018 sowie in den Jahren 2030 und 2045. Es wird deutlich, dass die anfangs großen Unterschiede zwischen den Wärmeversorgungsoptionen im Zeitverlauf geringer werden. In allen Regionen spielen Wärmepumpen als wichtige Versorgungsoption eine zentrale Rolle. Der Anteil an Biomasse geht deutlich zurück, davon sind insbesondere solche Regionen betroffen, in denen Biomasse derzeit eine wichtige Rolle spielt (z. B. Niederbayern, Oberpfalz, Unterfranken). Der Anteil an Fernwärme nimmt ebenfalls zu. Unter Strom ist sowohl der Strom für Wärmepumpen als auch für Stromdirektheizungen aufgeführt.



#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN



**Abbildung 17:** Modellierungsergebnis: Energieträgermix in der Wärmeversorgung von Wohngebäuden 2018, 2030 und 2045

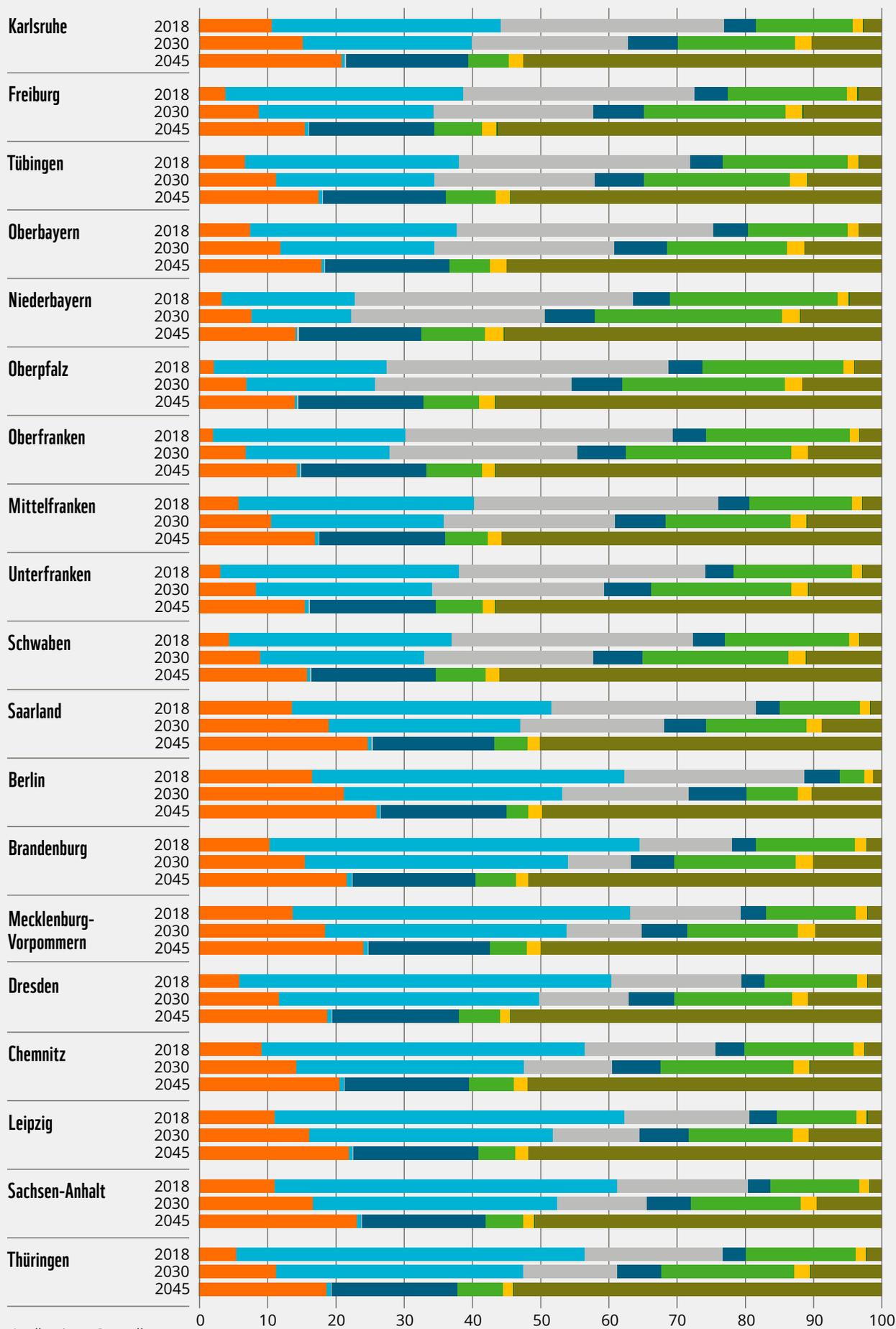


Quelle: eigene Darstellung.

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN



**Abbildung 17:** Modellierungsergebnis: Energieträgermix in der Wärmeversorgung von Wohngebäuden 2018, 2030 und 2045

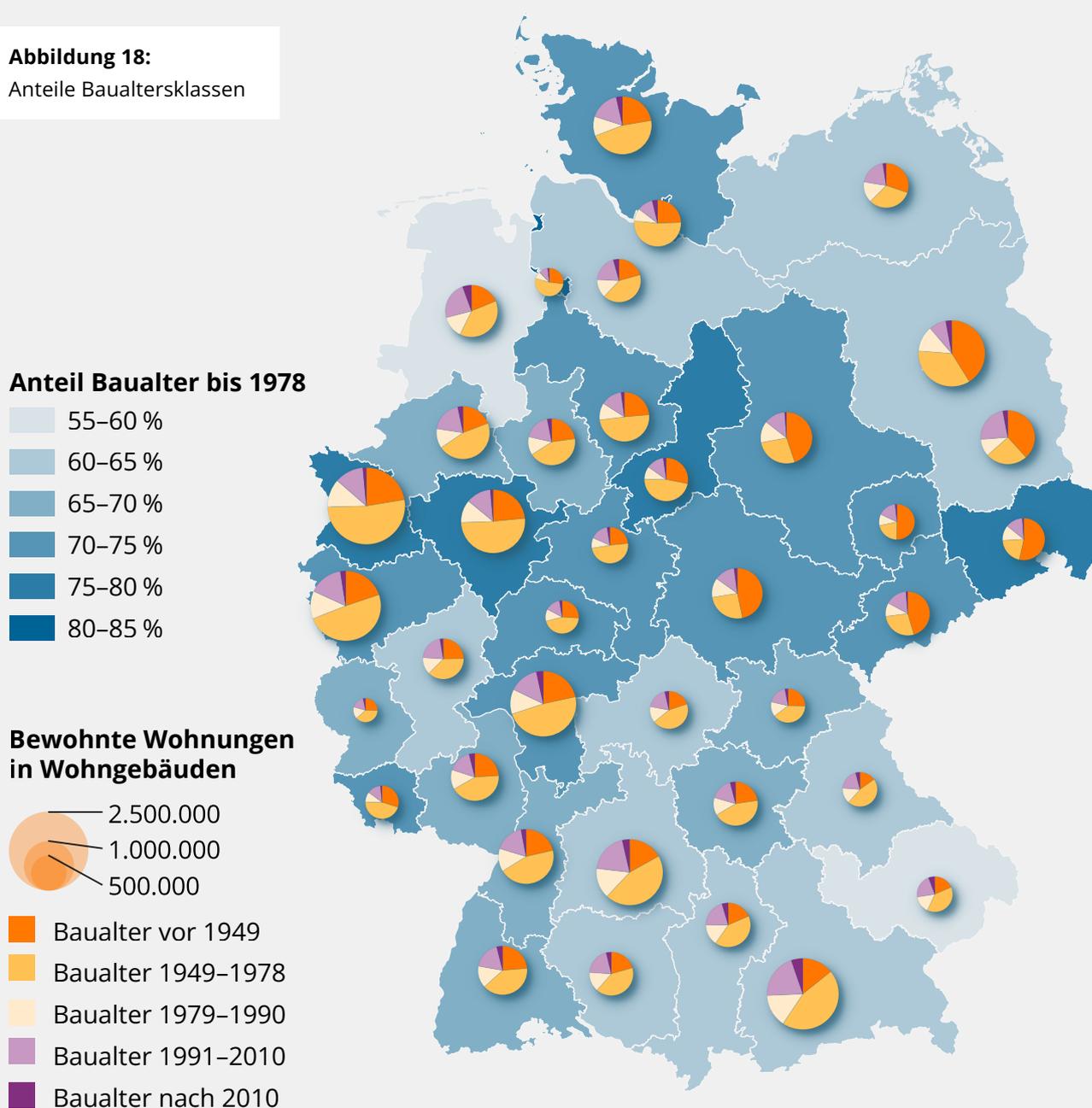


Quelle: eigene Darstellung.

### 4.2 ALTERSSTRUKTUR UND SANIERUNGSZUSTAND

Die Altersstruktur und der Sanierungszustand des Gebäudebestands sind wichtige Faktoren bei der Betrachtung regionaler Unterschiede in der Transformation des Gebäudesektors. Abbildung 18 zeigt, dass die Altersstruktur sich zwischen den Regionen deutlich unterscheidet: Der Anteil an vor 1978 errichteten Gebäuden liegt in einigen Regionen bei über 75 Prozent (z. B. Hamburg, Bremen, Berlin), in anderen Regionen unter 60 Prozent (Weser-Ems, Niederbayern).

**Abbildung 18:**  
Anteile Baualterklassen



Quelle: eigene Darstellung; Datenbasis: Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018 (Wohnen in Deutschland)

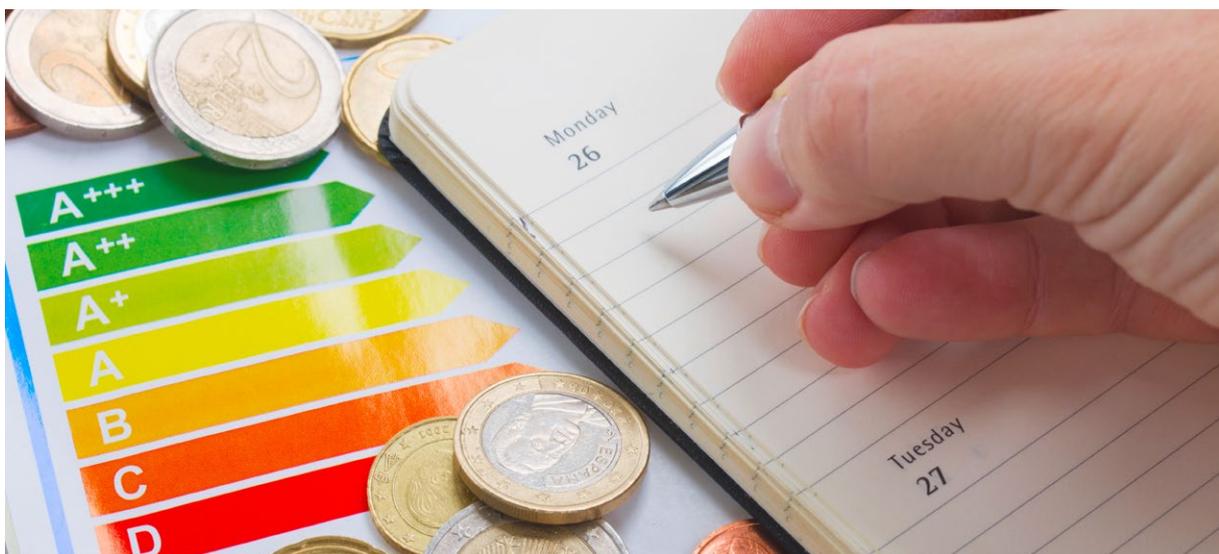
#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

**Besteht sowieso Sanierungsbedarf, sollte direkt energetisch hochwertig saniert werden. Zeitfenster dafür unterscheiden sich regional.**

Neben dem Alter ist insbesondere der Sanierungszustand eine wichtige Kenngröße, um den Handlungsbedarf bei der Transformation des Gebäudesektors abzuschätzen. Zum Sanierungsstand der Gebäude zeigt die „Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016“ (Cischinsky, Diefenbach 2018) auf, dass sich bezüglich der Wärmedämmung bei der Altbaumodernisierung<sup>25</sup> regionale Unterschiede ergeben. Diese sind zwischen den betrachteten Regionen allerdings gering mit der Ausnahme, dass in den neuen Bundesländern der Fortschritt bei der nachträglichen Dämmung, insbesondere der Außenwanddämmung, merklich größer ist als in den alten Bundesländern. Die Studie untersucht weiterhin den Sanierungsstand nach verschiedenen räumlichen Merkmalen (kleine Städte und Gemeinden, große/mittelgroße Städte, nichtwachsende Gemeinden, wachsende Gemeinden) mit dem Ergebnis, dass sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ergeben.

**Je nach Gebäudetyp gibt es zum Teil deutliche Unterschiede im Sanierungsstand: Mehrfamilienhäuser sind oft besser gedämmt als Einfamilienhäuser.**

In Bezug auf den Gebäudetyp sowie die Eigentümerstruktur zeigen sich Unterschiede im Sanierungsstand: Für den Bereich der Mehrfamilienhäuser zeigt die „Datenerhebung Wohngebäudebestand“, dass der Anteil der nachträglich gedämmten Bauteilflächen deutlich höher ist als bei Ein- und Zweifamilienhäusern (z. B. Außenwand: 37 % in Mehrfamilienhäusern vs. 25 % insgesamt). Besonders hoch ist der Anteil bei Mehrfamilienhäusern im Besitz von Wohnungsunternehmen<sup>26</sup> (Außenwand: 48 %; Dach/Obergeschossdecke: 60 %; Fußboden/Kellerdecke: 19 %), gefolgt von privaten Eigentümer\*innen (Außenwand: 33 %; Dach/Obergeschossdecke: 66 %; Fußboden/Kellerdecke: 16 %) und zuletzt Wohnungseigentümergemeinschaften (Außenwand: 17 %; Dach/Obergeschossdecke: 54 %; Fußboden/Kellerdecke: 10 %).



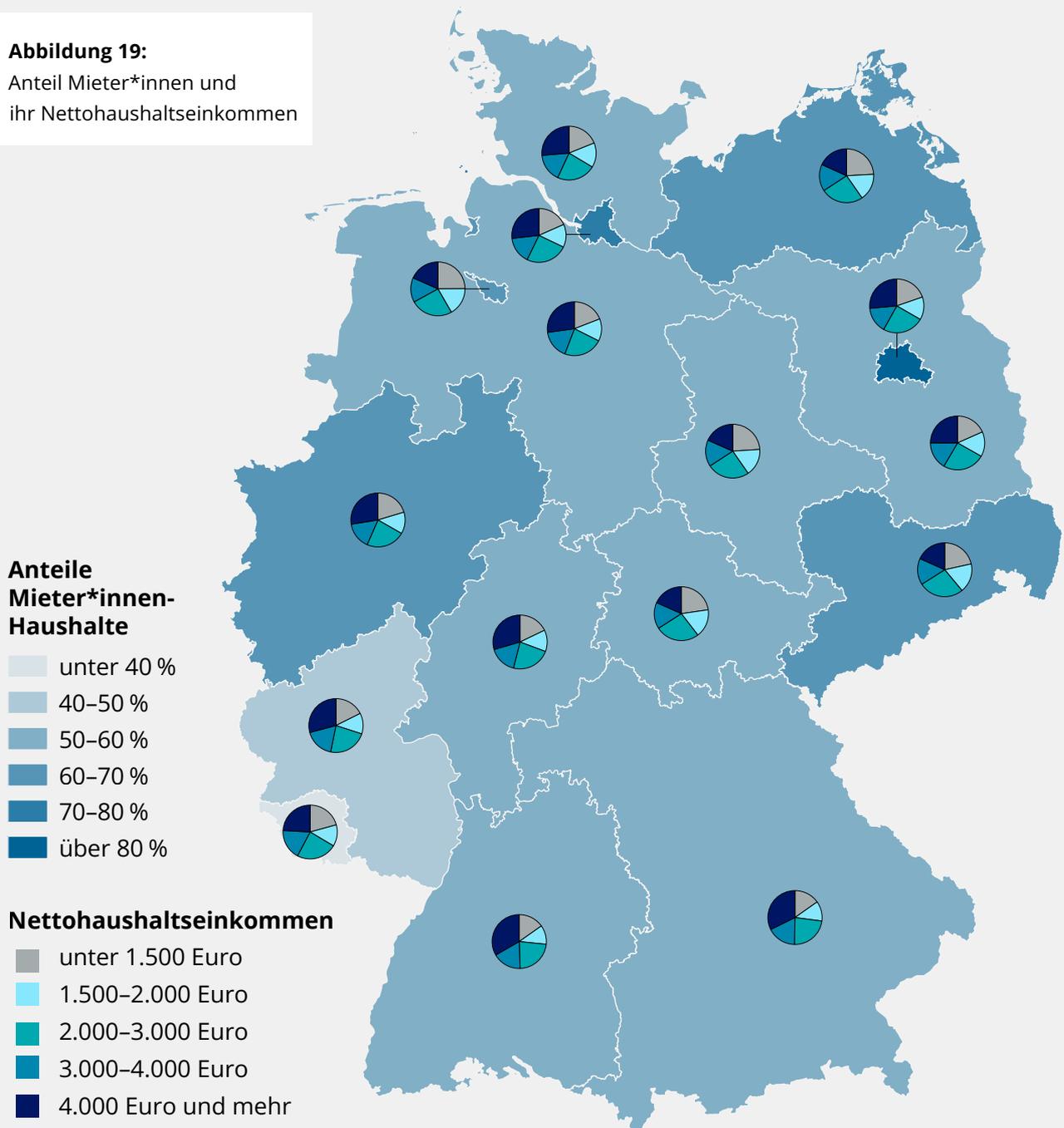
<sup>25</sup> Betrachtet wurden Gebäude bis Baujahr 1978.

<sup>26</sup> Beinhaltet sind Wohnungsgenossenschaft, privatwirtschaftliches oder kommunales Wohnungsunternehmen, Kommune.

### 4.3 EIGENTÜMER\*INNENSTRUKTUR UND SOZIOÖKONOMISCHE MERKMALE

In Deutschland lebt etwa die Hälfte der Menschen zur Miete, wobei der Mieter\*innenanteil regional unterschiedlich ausfällt (Abbildung 19). Die Abbildung zeigt zudem, dass sich die Verteilung der Haushalte nach Nettohaushaltseinkommen unterscheidet.

**Abbildung 19:**  
Anteil Mieter\*innen und  
ihr Nettohaushaltseinkommen



Quelle: eigene Darstellung; Datenbasis: Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018 (Wohnen in Deutschland)

**Umlagen der notwendigen Sanierungsmaßnahmen sind zum Teil eine starke Belastung für Mieter\*innen.**

Die Auswirkungen der Transformation des Gebäudesektors sind unterschiedlich für selbstnutzende Eigentümer\*innen und für Mieter\*innen. Im Bereich der selbstnutzenden Eigentümer\*innen spielt insbesondere die Förderung eine zentrale Rolle, um Haushalte bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen zu unterstützen. Für Mieter\*innenhaushalte spielen die Rahmenbedingungen für die Umlage von Sanierungskosten im Rahmen der Modernisierungsumlage eine zentrale Rolle. Die beiden Zielgruppen werden in den nächsten Abschnitten im Hinblick auf soziale Auswirkungen der Transformation betrachtet.



**Ohne gestaffelte Förderung keine sozialgerechte Wärmewende.**

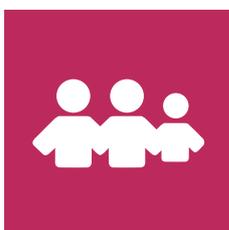
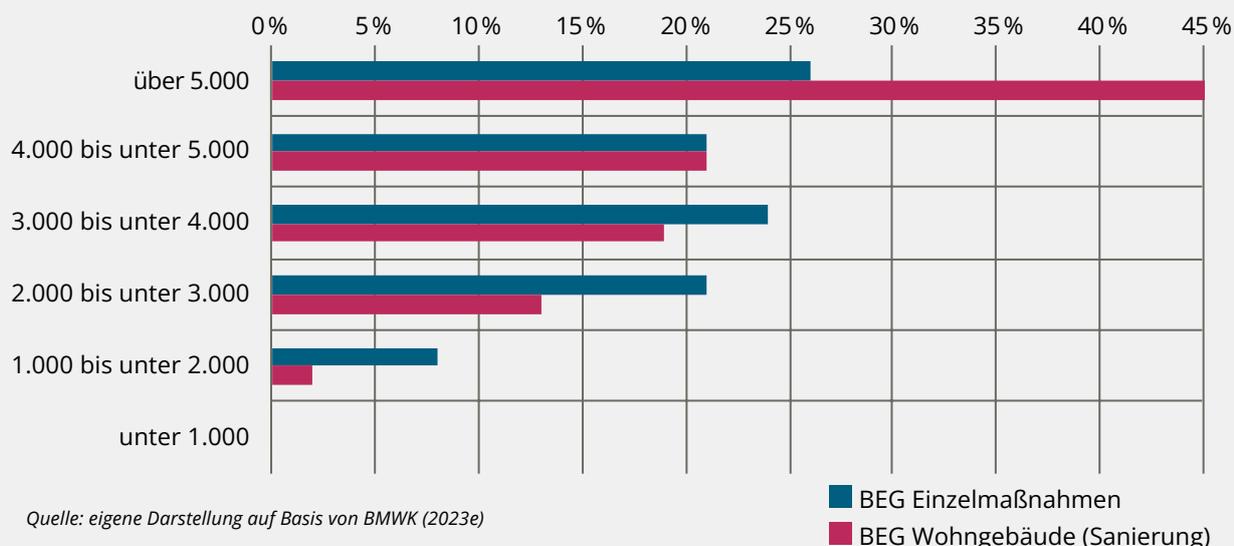
### 4.3.1 Selbstnutzende Eigentümer\*innen

Im Bereich der selbstnutzenden Eigentümer\*innen kann eine sozial gestaffelte Förderung mit differenzierten Fördersätzen nach Haushaltseinkommen zu einer sozialverträglichen Wärmewende beitragen. Dies kann einen Beitrag dazu leisten, Haushalte gemäß ihrer finanziellen Möglichkeiten angemessen bei der Umsetzung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen zu unterstützen. Ein solcher Ansatz wurde beispielsweise im Zusammenhang mit MEPS im Rahmen der Studie „Energetische Sanierung schützt Verbraucher\*innen vor hohen Energiepreisen“ (Schumacher et al. 2022) betrachtet und ist im Zuge der Novellierung der BEG in Form des vorgeschlagenen Einkommensbonus von zusätzlich 30 Prozent der Investitionskosten vorgesehen. Dieser soll für alle selbstnutzenden Wohnungseigentümer\*innen mit einem zu versteuernden Einkommen von bis zu 40.000 Euro pro Jahr verfügbar sein.

In der bisher gültigen BEG sind die Fördersätze nicht nach dem Einkommen der antragstellenden Haushalte gestaffelt. Abbildung 20 zeigt für die Förderung von Einzelmaßnahmen (Gebäudehülle und Heizungstechnik) sowie die Förderung für Vollsanierungen in Wohngebäuden (BEG-WG), dass ein großer Anteil der Förderfälle von Haushalten in Anspruch genommen wird, deren Nettohaushaltseinkommen deutlich über dem Durchschnitt liegt (durchschnittliches Nettohaushaltseinkommen im Jahr 2021: 3.813 Euro (Statistisches Bundesamt 2023)).

## 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

**Abbildung 20:** Haushaltsnettoeinkommen der Antragstellenden in der BEG im Förderjahr 2021 (Euro/Monat)



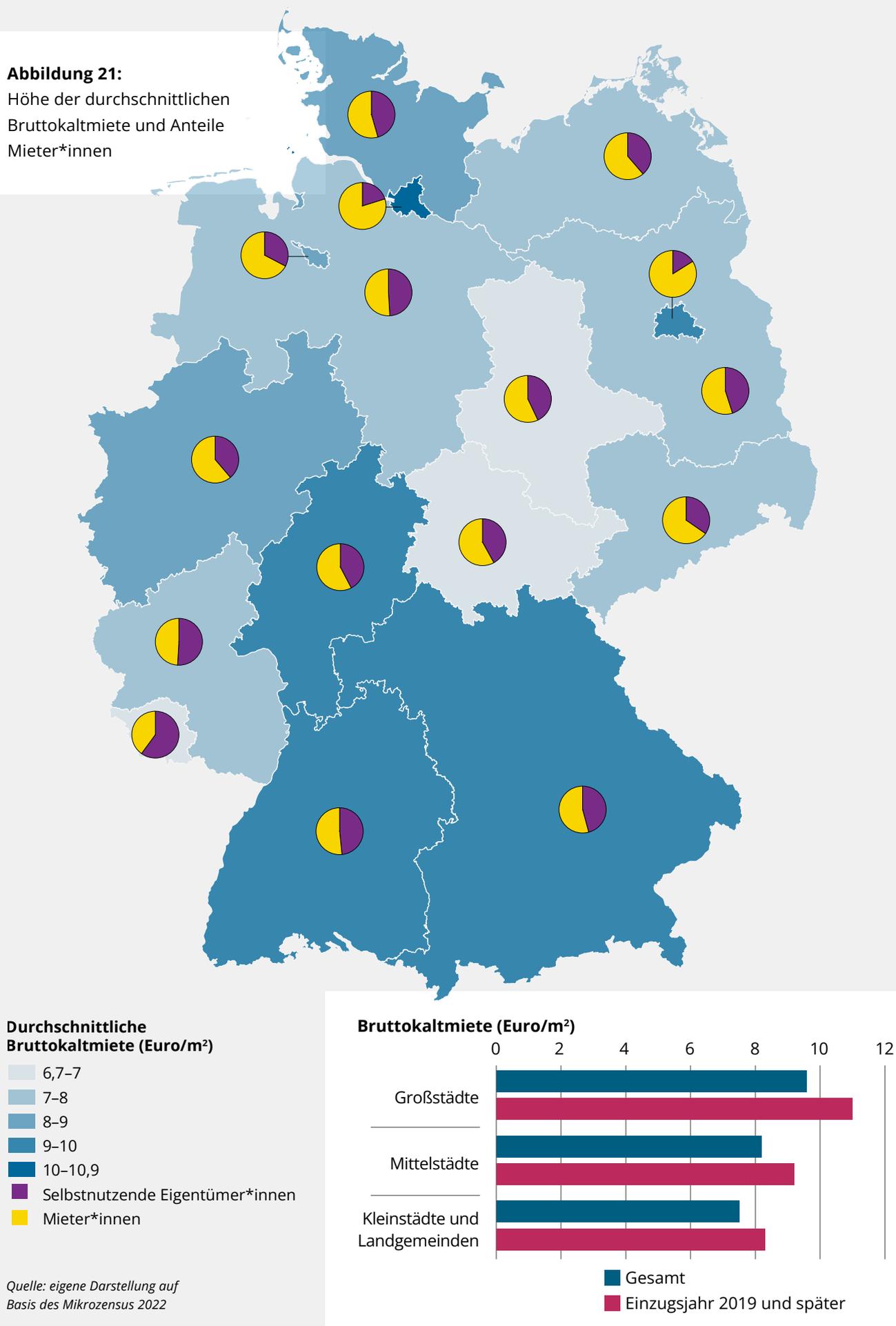
### 4.3.2 Mieter\*innen

Abbildung 22 veranschaulicht schematisch, wie Mieter\*innen und Vermieter\*innen im Kontext von energetischen Sanierungen interagieren. Für Mieter\*innen können energetische Sanierungen zu Mietsteigerungen führen, die in vielen Fällen die Reduktion der Energiekosten übersteigen. Die maximal zulässige Höhe der Mietsteigerung ergibt sich aus der Modernisierungsumlage nach § 559 BGB. Demnach können nach derzeitiger Rechtslage (Stand: Juli 2023) bis zu acht Prozent der für die Wohnung aufgewendeten Kosten auf die Kaltmiete umgelegt werden. Dabei müssen Instandhaltungskosten sowie durch Drittmittel (Fördermittel) gedeckte Anteile von den förderfähigen Kosten abgezogen werden, sofern Fördermittel beantragt/bewilligt werden. Zudem gilt eine Kappungsgrenze von drei Euro pro Quadratmeter innerhalb von sechs Jahren (zwei Euro pro m<sup>2</sup> wenn die Miete vorher unter sieben Euro pro m<sup>2</sup> beträgt). Im Zuge der Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes ist vorgesehen, eine weitere Modernisierungsumlage für den Einbau von Heizungen einzuführen. Diese liegt mit einer maximalen Umlagemöglichkeit von zehn Prozent höher als die bisherige Modernisierungsumlage, die Mieterhöhung ist allerdings durch eine Kappungsgrenze von 50 Cent pro Quadratmeter begrenzt und die Inanspruchnahme von Förderung ist eine Voraussetzung für die Umlage. Dabei ist eine Wahlmöglichkeit für Vermieter\*innen zwischen den beiden Umlagemöglichkeiten vorgesehen.

Die Höhe der durchschnittlichen Bruttokaltmiete unterscheidet sich regional deutlich (Abbildung 21). Deutliche Unterschiede ergeben sich zudem in Bezug auf die Siedlungsstruktur: Während die durchschnittlichen Bruttokaltmieten in Großstädten bei fast zehn Euro pro Quadratmeter liegen, beträgt der Durchschnitt in Kleinstädten und Landgemeinden unter 8 Euro pro Quadratmeter. Die Abbildung zeigt auch, dass die Mieten bei Wohnungen mit Einzugsjahr 2019 und später deutlich angestiegen sind.

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

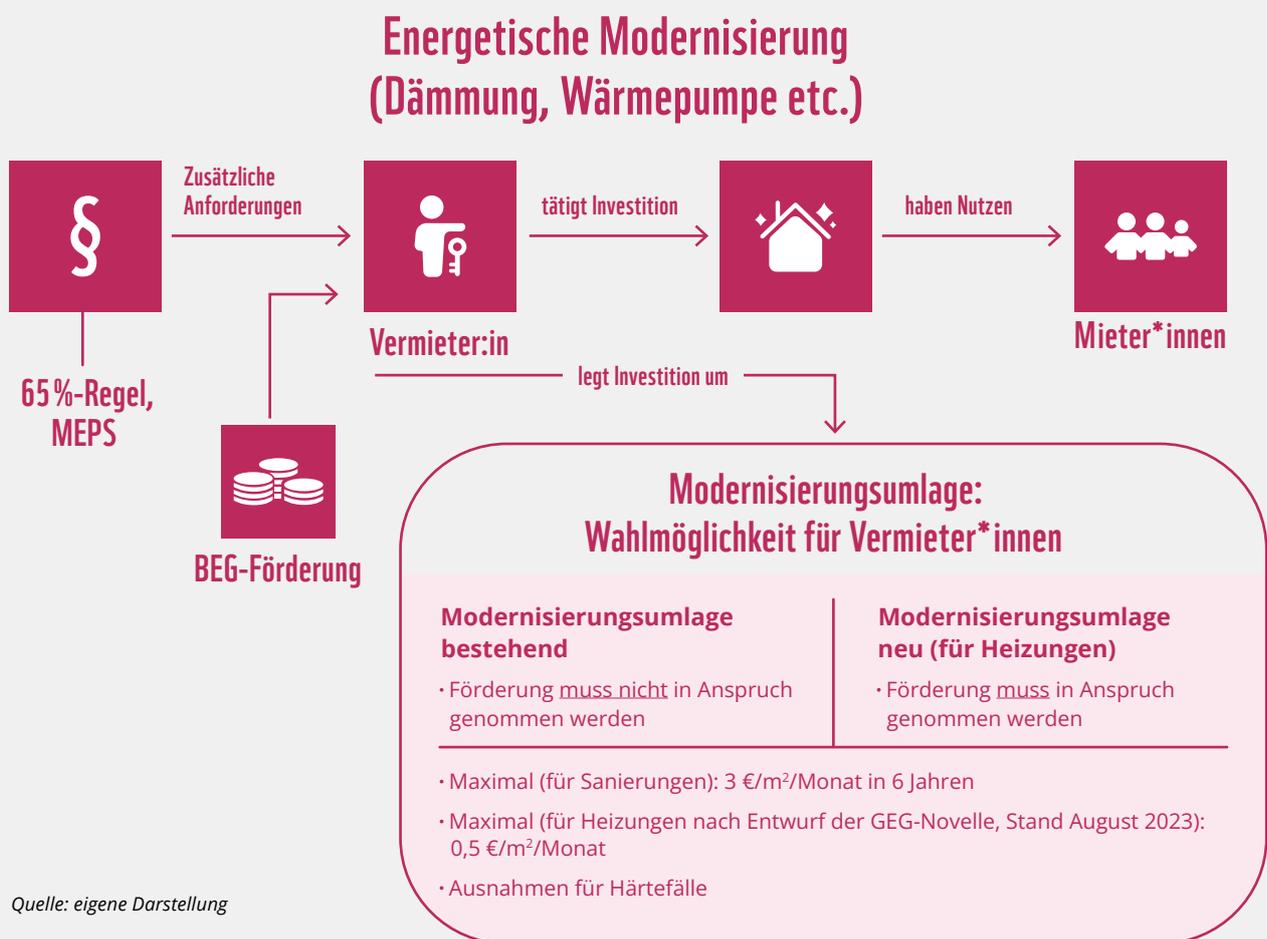
**Abbildung 21:**  
Höhe der durchschnittlichen  
Bruttokaltmiete und Anteile  
Mieter\*innen



#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Die Modernisierungsumlage ist im Kontext der weiteren Instrumente zu betrachten (siehe Abbildung 24): Um die Klimaziele zu erreichen, müssen einerseits zunehmend Investitionen getätigt werden. Dies spiegelt sich in zunehmenden ordnungsrechtlichen Anforderungen wider. Andererseits spielt der Zusammenhang mit der Förderung eine wichtige Rolle: Wird von Vermieter\*innen Förderung beantragt, so kommt die Reduktion der umlagefähigen Kosten v. a. den Mieter\*innen zugute.

**Abbildung 22:** Schematische Darstellung der Wirkungsweise der Modernisierungsumlage im Kontext des Instrumentenmixes



Derzeitig zeigt sich, dass Vermieter\*innen beim Austausch von Heizungsanlagen und bei der Durchführung von Einzelmaßnahmen häufig keine Förderung beantragen. Laut Evaluierung der BEG-EM im Förderjahr 2021 stellen private Eigentümer\*innen mit 95 Prozent (86 % der in der BEG-EM zur Verfügung gestellten Bundesmittel) den weitaus größten Anteil dar, gefolgt von gewerblichen Eigentümer\*innen mit vier Prozent der Förderfälle (11 % der Bundesmittel). Auf kommunale und sonstige Antragssteller\*innen entfallen somit lediglich ein Prozent der Förderfälle und

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

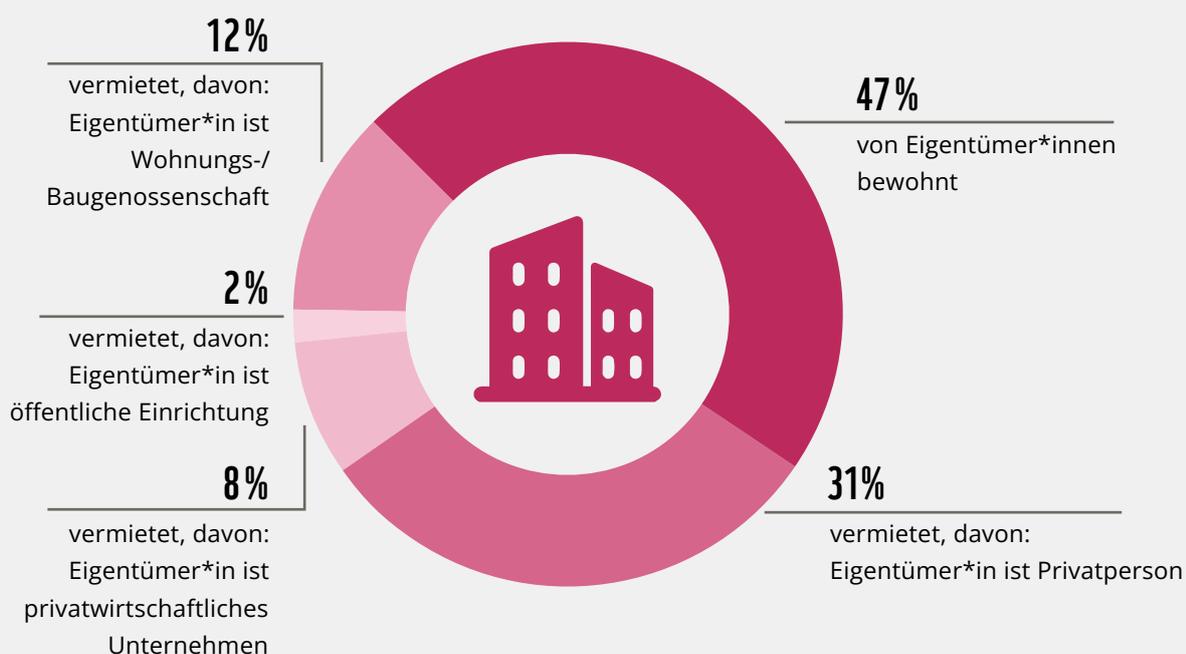
drei Prozent der Bundesmittel. Unter den privaten Antragsteller\*innen geben 77 Prozent an, das Gebäude selbst zu nutzen, während jeweils elf Prozent angeben, das Gebäude zu vermieten bzw. zu vermieten und selbst zu nutzen.

#### Deutlich weniger Förderung bei Mietsgebäuden beantragt

Aus der BEG-EM-Evaluierung für das Förderjahr 2021 lässt sich damit ableiten, dass insgesamt etwa 25 Prozent der Förderfälle vermietete Gebäude betreffen. Insgesamt gab es im Jahr 2021 demnach ca. 30.000 Förderfälle im Bereich Heizungstechnologien, die in vermieteten Gebäuden eingebaut wurden. Unter der Annahme einer Austauschrate von vier Prozent sowie einer Gesamtanzahl von vermieteten Gebäuden von etwa 4,5 Millionen dürften in vermieteten Gebäuden mindestens 180.000 Heizungen im Jahr ausgetauscht worden sein. Somit lässt sich ableiten, dass bei max. 17 Prozent der im Jahr 2021 durchgeführten Heizungstausche Förderung beantragt wurde. Dies betrifft v. a. den Bereich der vermieteten Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Laut Evaluierung geben 36 Prozent der privaten und 51 Prozent der gewerblichen Vermieter an, nach Durchführung der Maßnahme die Kaltmiete erhöht zu haben. Die Verteilung der Wohneinheiten nach Eigentümer\*innen ist in Abbildung 23 dargestellt.

Abbildung 23: Verteilung der Wohnungen nach Eigentümer\*innen



Quelle: eigene Darstellung; Datenbasis: Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018 (Wohnen in Deutschland)

### 4.4 EFFIZIENTE WOHNFLÄCHENNUTZUNG

Seit Jahrzehnten nimmt der Wohnflächenverbrauch in Deutschland zu: Trotz gleichbleibender oder sinkender Bevölkerung wächst die vorhandene Wohnfläche und damit auch die Fläche, die gebaut, beheizt und ausgestattet werden muss. So stiegen die Wohnflächen pro Kopf in Deutschland allein in den letzten knapp 30 Jahren von 36,7 Quadratmetern im Jahr 1995 auf 47,7 Quadratmeter im Jahr 2021 (Destatis – Statistisches Bundesamt 2022).<sup>27</sup> Diese Entwicklung wirkt den Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich entgegen: Trotz sinkender spezifischer Raumwärmeverbräuche sinkt der Verbrauch des Gebäudebestandes insgesamt nur wenig.<sup>28</sup> Zusätzliche politische Aktualität erhält das Thema Effizienz bei der Wohnflächennutzung aufgrund des Wohnraum Mangels insbesondere in den Wachstumsregionen Deutschlands und angesichts des im Koalitionsvertrag formulierten Ziels, 400.000 neue Wohnungen im Jahr zu schaffen. Neubau in diesem Umfang kann angesichts der aktuellen Rahmenbedingungen nicht realisiert werden.

**Neubau steht nicht nur den Klimazielen, sondern auch anderen Umweltzielen entgegen.**

Neubau steht außerdem nicht nur den Klimazielen, sondern auch anderen Umweltzielen entgegen. Neubau führt zur Erschließung neuer Baugebiete mit Flächenversiegelung, zunehmenden Pendelverkehren und Flächennutzungskonflikten. In der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2016 wurde festgelegt, den täglichen Zuwachs an Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2030 auf unter 30 Hektar pro Tag zu reduzieren (Bundesregierung 2016). 2021 lag der Wert bei 55 Hektar pro Tag, nahezu doppelt so hoch wie das gesetzte Ziel. Die Herausforderung besteht darin, den Wohnungsbedarf zu decken und gleichzeitig eine nachhaltige Flächennutzung zu betreiben. Dazu kann eine effizientere Nutzung des Gebäudebestandes einen Beitrag leisten.

**Reduktion der Wohnfläche hilft dem Klimaschutz.**

Für den Klimaschutz ist es also erforderlich, den weiteren Anstieg der beheizten Wohnfläche zu vermeiden oder mindestens zu reduzieren. Dadurch können gegenüber unseren Modellberechnungen zur Transformation des Gebäudesektors (siehe Kapitel 2) weitere Einsparpotenziale erschlossen und Neubaumaßnahmen vermieden werden.

<sup>27</sup> Für 2022 gibt das Statistische Bundesamt die Wohnfläche pro Kopf sogar mit 55,4 m<sup>2</sup> an ([https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Newsroom/2023/\\_Interaktiv/20230614-durchschnittliche-wohnflaeche-haushaltsgroesse-2022.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Newsroom/2023/_Interaktiv/20230614-durchschnittliche-wohnflaeche-haushaltsgroesse-2022.html)). Diese Zahl ist jedoch aufgrund einer veränderten Berechnungsmethode nicht mit den vorherigen vergleichbar: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/\\_inhalt.html#643330](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/_inhalt.html#643330)

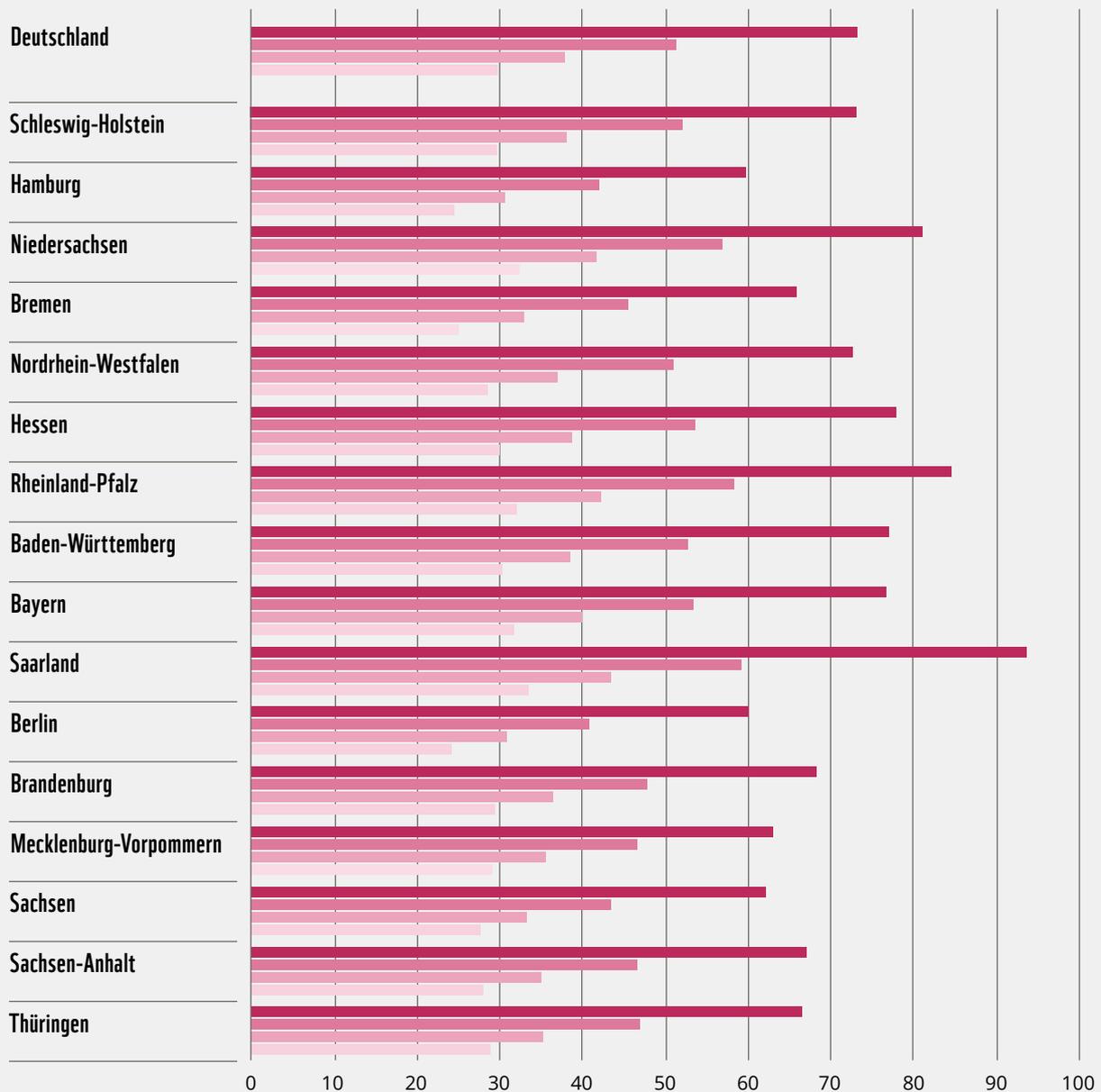
<sup>28</sup> Umweltbundesamt 2023: Energieverbrauch und -intensität für Raumwärme in den privaten Haushalten (witterungsbereinigt), auf Basis AG Energiebilanzen, Projekt Temperaturbereinigung, Stand 12/2022 und BMWK Energiedaten, Stand 9/2022. Witterungsbereinigung der AGE nach DIW mit Gradtagezahlen nach DWD für 1990–2018. Abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#mehr-haushalte-grossere-wohnflaechen-energieverbrauch-pro-wohnflaeche-sinkt>

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Der mittlere Verbrauch an Wohnfläche pro Person ist in Deutschland unterschiedlich hoch, jedoch ist der Wohnflächenverbrauch eher an die Lebensphase der Menschen geknüpft als an den Wohnort (Abbildung 24). Statistische Auswertungen zeigen, dass in der Nachfamilienphase die Pro-Kopf-Wohnfläche besonders hoch ist. Dies liegt daran, dass die Menschen in ihren Familienwohnungen verbleiben, auch wenn die Kinder ausgezogen sind und der Partner oder die Partnerin verstorben ist. Außerdem ist die mittlere Pro-Kopf-Wohnfläche in Einfamilienhäusern deutlich höher als in Mehrfamilienhäusern (Kenkmann et al. 2019).

**Abbildung 24:** Pro-Kopf-Wohnfläche in Quadratmetern nach Bundesland und Anzahl der Haushaltsmitglieder

■ Eine Person    ■ Drei Personen  
■ Zwei Personen    ■ Vier Personen



Quelle: eigene Darstellung auf Basis Mikrozensus 2022

### **Weniger Wohnfläche pro Kopf durch bauliche Teilung mildert die Wohnungsnot ohne Neubau.**

Es gibt einige empirische Erhebungen, die die Bereitschaft von Senior\*innen mit großer Wohnfläche zur Änderung ihrer Wohnsituation untersuchen. Besonders groß ist das ungenutzte Wohnraumpotenzial in älteren Einfamilienhausgebieten (EFH-Gebieten). So ergab zum Beispiel eine Repräsentativbefragung im Kreis Steinfurt, dass 31 Prozent der Hauseigentümer\*innen ab 55 Jahren eine abgetrennte Wohnung oder Einliegerwohnungen im EFH haben, 60 Prozent davon sind nicht vermietet – damit gibt es in insgesamt 18,6 Prozent aller EFH eine freie Wohnung (Sunderer et al. 2018). Außerdem gaben 51 Prozent der älteren EFH-Eigentümer\*innen an, dass sie nicht alle Räume ihres Hauses nutzen, in 80 Prozent dieser Fälle sind es zwei oder mehr Räume, die leer stehen (Sunderer et al. 2018). Obwohl noch immer die meisten älteren Menschen am liebsten in ihrem Haus bleiben wollen, können sich große Teile einen Umzug vorstellen, können sich vorstellen in ihrem Haus zu verdichten oder wären generell mit weniger Wohnraum zufrieden. Das war das Ergebnis einer Metaanalyse von 21 Umfragen zum Thema „Wohnen im Alter“ aus den Jahren 2010 bis 2022 (Kenkmann et al. 2023).

Handlungsspielraum haben hier vor allem die Kommunen, aber auch Bund und Länder können durch geeignete Politikinstrumente unterstützen. So ist es wichtig, bezahlbaren, modernen, barrierefreien Alternativwohnraum möglichst im Quartier und in passender Größe für Bewohner\*innen zu großer EFH zu schaffen, denn oft fehlt dieser oder ist zu teuer. Außerdem können (kommunale) Beratungsstellen für die Vermittlung von Wohnungen und Untermieter\*innen, für die Unterstützung von Wohnungstausch, für Umzugsberatung und -unterstützung, die rechtliche Beratung bei (Unter-)Vermietung sowie zur Beratung bei baulicher Hausteilung geschaffen werden. Förderprogramme für Umzug und Hausteilung und deren Vermarktung können ebenfalls Anreize setzen. Kampagnen zur Innenentwicklung in Quartieren können das Bewusstsein bei den Bewohner\*innen schärfen. Ist die Ausweisung von Neubaugebieten unvermeidlich, so sollte auf kompakte Bauweise und die Errichtung kleiner, barrierefreier, bezahlbarer Wohnungen geachtet werden. In Bebauungsplänen und in städtebaulichen Verträgen können Vorgaben für flexible Grundrisse fixiert werden, gemeinschaftliche Wohnprojekte mit Wohnflächenvorgaben können besonders unterstützt werden. Letztendlich können Kommunen das Instrument des Baugebietsmoratoriums anwenden, um den Druck für eine effiziente Nutzung des Gebäudebestands zu erhöhen (Kenkmann 2019).

### **Kommunen können das Instrument des Baugebietsmoratoriums anwenden, um den Druck auf eine effiziente Nutzung des Gebäudebestands zu erhöhen.**

### 4.5 VERKNÜPFUNG MIT DER KOMMUNALEN WÄRMEPLANUNG

**Kommunale Wärmeplanung kann eine wichtige Rolle bei der Transformation der Wärmeversorgung spielen.**

Die kommunale Wärmeplanung kann eine wichtige Rolle bei der Transformation der Wärmeversorgung spielen. Der Gebäudebestand sowie die Potenziale für erneuerbare Wärme unterscheiden sich lokal deutlich, sodass die Wärmeplanung zielgerichtet lokal angepasste Lösungen für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung entwickeln kann.

In dem Entwurf eines Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (BMWSB 2023) ist eine nach Größe der Kommune gestaffelte Einführung einer verpflichtenden kommunalen Wärmeplanung vorgesehen.

#### **Diese umfasst die folgenden Schritte:**

- 1.** Bestandsanalyse: Analyse der Gebäudestruktur und Wärmedichten, der derzeitigen Verteilung der Energieträger zur Wärmeversorgung sowie der bestehenden Infrastrukturen
- 2.** Potenzialanalyse: räumlich aufgelöste Erhebung der Potenziale für erneuerbare Wärme.
- 3.** Entwicklung und Beschreibung eines Zielszenarios, das den Transformationspfad zur Klimaneutralität 2045 beschreibt
- 4.** Einteilung des beplanten Gebiets in Wärmeversorgungsgebiete sowie die Darstellung der Versorgungsoptionen
- 5.** Entwicklung von konkreten Umsetzungsmaßnahmen, die innerhalb des beplanten Gebiets zur Erreichung des Zielszenarios beitragen sollen

Der Gesetzentwurf sieht vor, dass die Wärmeplanung für Kommunen ab einer Größe von 100.000 Einwohner\*innen spätestens bis zum Ablauf des 30. Juni 2026 erfolgen muss, für Kommunen mit unter 100.000 Einwohner\*innen spätestens bis zum Ablauf des 30. Juni 2028. Für bestehende Gemeindegebiete mit weniger als 10.000 Einwohner\*innen kann die Wärmeplanung nach einem vereinfachten Verfahren erfolgen. Abbildung 25 zeigt die Verteilung der Gemeinden, wobei zwischen den drei im Gesetzentwurf betrachteten Größenkategorien differenziert wird. Es wird deutlich, dass ein nicht unerheblicher Teil der Gemeinden in den Bereich unter 10.000 Einwohner\*innen fällt.

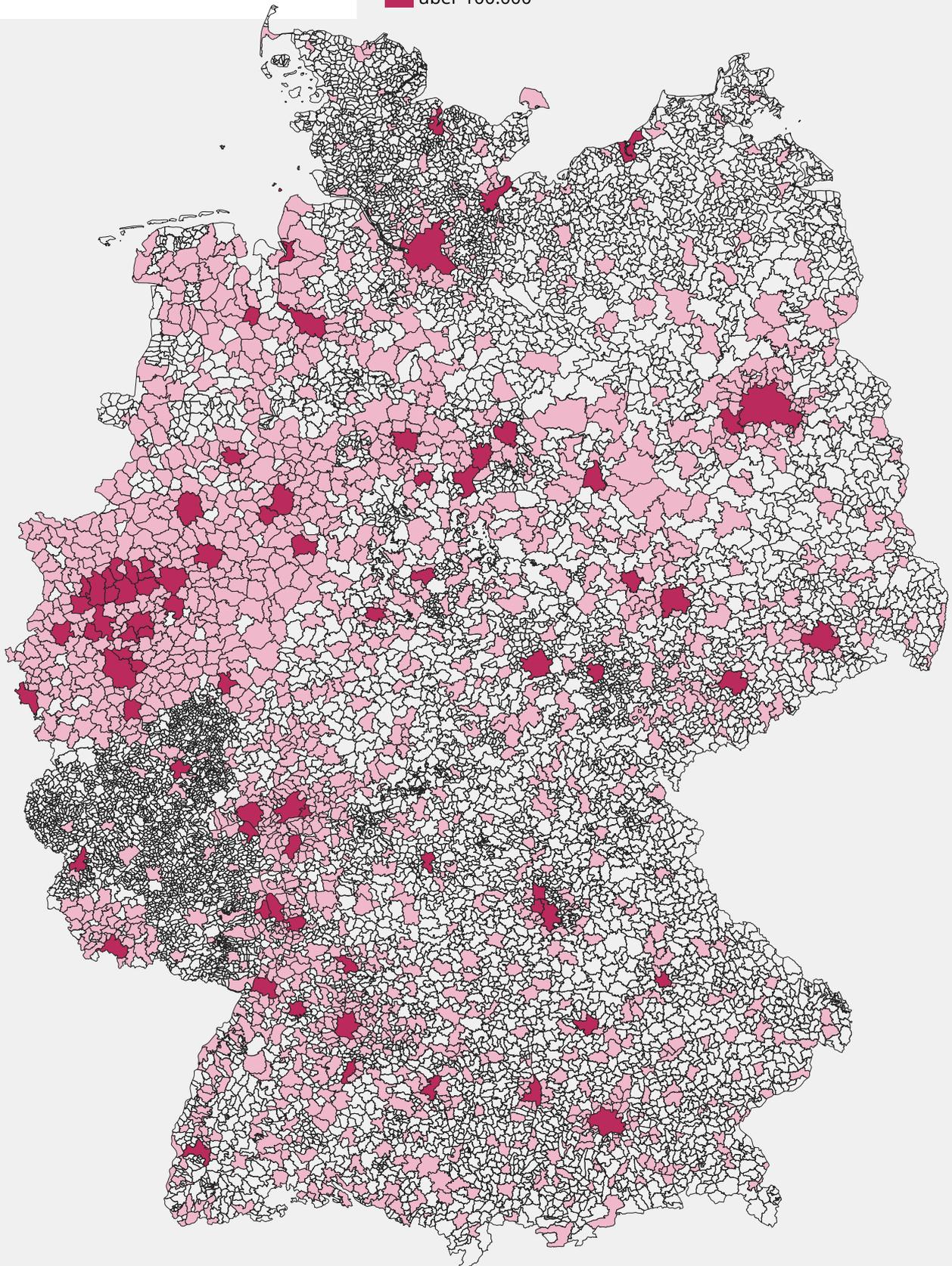
#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

**Abbildung 25:**

Gemeinden nach Einwohner\*innenzahl

**Anzahl Einwohner\*innen**

- unter 10.000
- 10.000–100.000
- über 100.000



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Destatis – Statistisches Bundesamt (2023)

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Insgesamt leben etwa 27 Prozent der Bevölkerung in Kommunen mit weniger als 10.000 Einwohner\*innen, etwa 43 Prozent in Kommunen mit mehr als 10.000, aber weniger als 100.000 Einwohner\*innen und 31 Prozent in Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohner\*innen (siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4:** Anzahl Einwohner\*innen nach Gemeindegröße

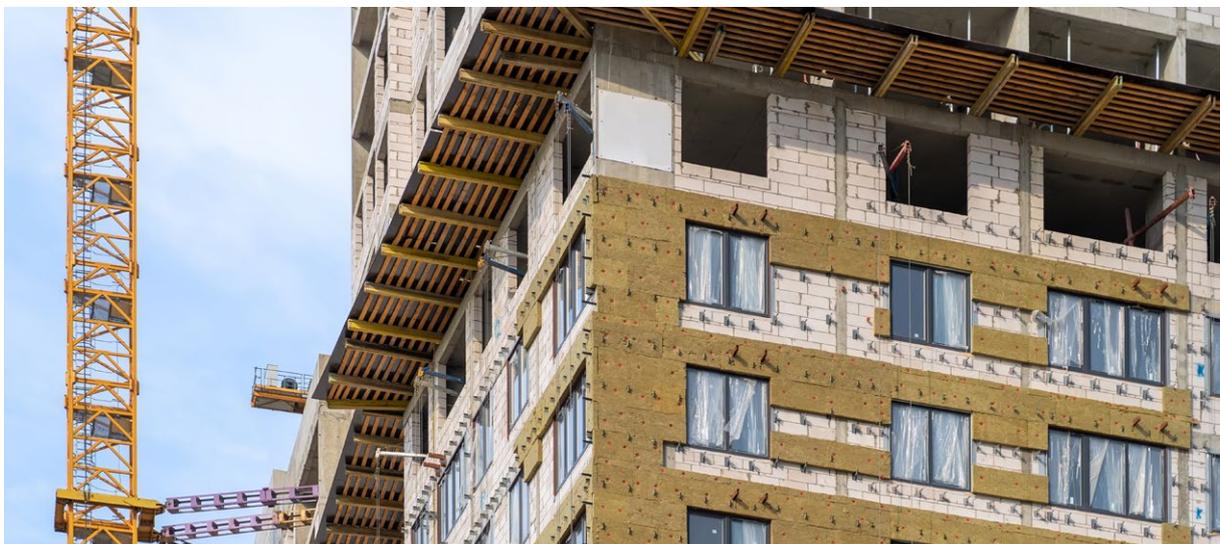
Gemeindegröße	Anzahl Einwohner*innen	Anteil an Gesamtbevölkerung
Kleiner 10.000 Einwohner*innen	21,6 Mio.	27 %
10.000–100.000 Einwohner*innen	34,2 Mio.	43 %
Größer 100.000 Einwohner*innen	24,6 Mio.	31 %

**Eine Verknüpfung der Wärmeplanung mit anderen Politikinstrumenten im Wärmebereich kann zu einer effizienten Transformation des Gebäudebereichs beitragen.**

Eine Verknüpfung der Wärmeplanung mit anderen Politikinstrumenten im Wärmebereich kann zu einer effizienten Transformation des Gebäudebereichs beitragen. Ein Beispiel hierfür ist die Verknüpfung mit der Förderung, sodass z. B. in ausgewiesenen Vorrang- oder Eignungsgebieten für Fernwärme diese Technologie zusätzlich gefördert wird.

Besonders relevant ist die Wärmeplanung in solchen Gemeinden, in denen bereits ein Fernwärmenetz liegt oder ein solches geplant ist. Abbildung 26 zeigt, dass der Anteil an Kommunen, bei denen mindestens zehn Prozent der Gebäude mit Fernwärme beheizt werden, bisher gering ist (Stand: 2011).

Mit der Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes ist vorgesehen, die Anforderungen an den Einbau erneuerbarer Heizungen mit der kommunalen Wärmeplanung zu verknüpfen. Damit verschieben sich die zunächst für den 01.01.2024 vorgesehenen Anforderungen um etwa zwei bis vier Jahre.



#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

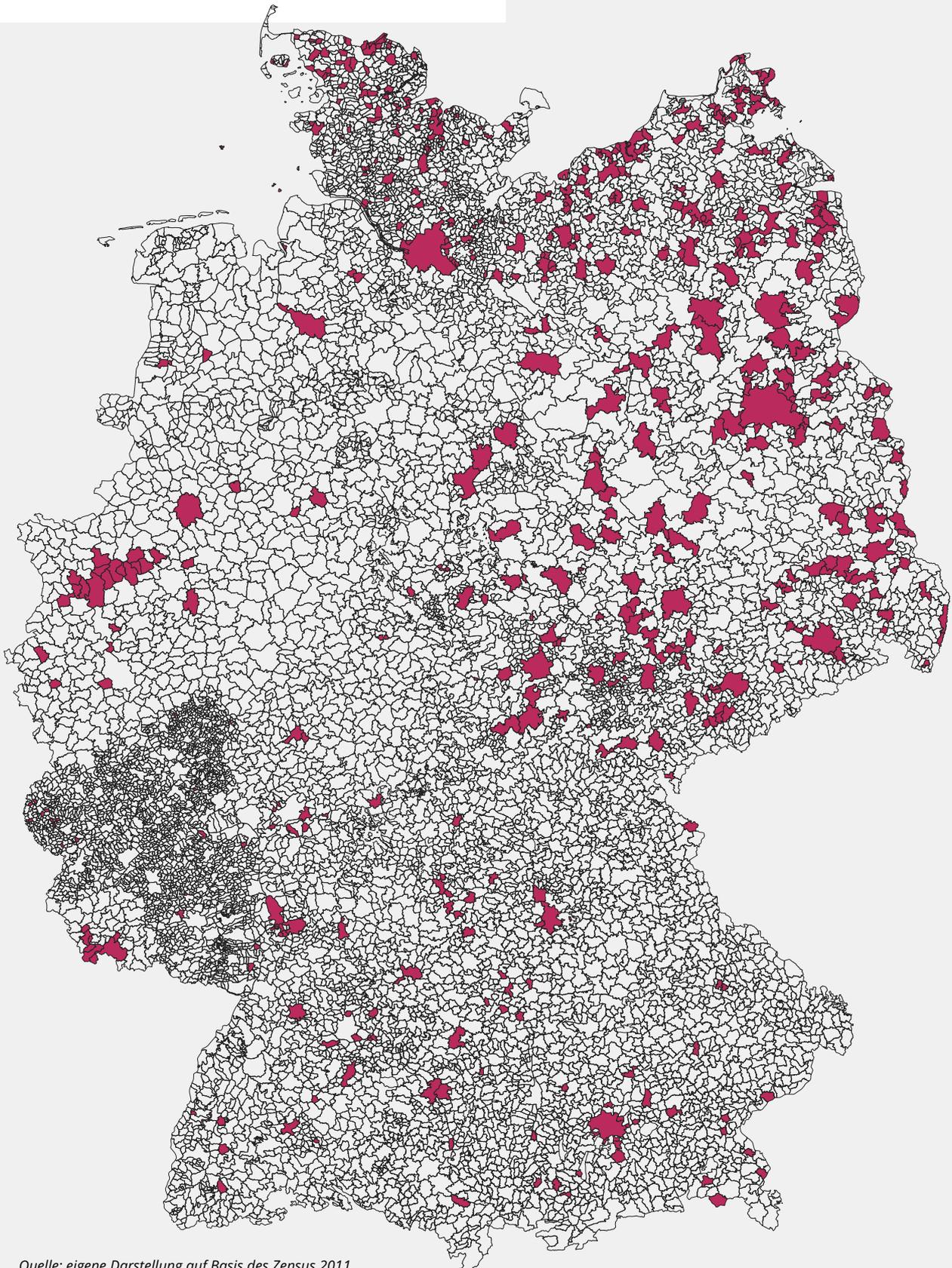
**Abbildung 26:**

Kommunen, in denen mindestens zehn Prozent der Gebäude mit Fernwärme beheizt werden (Stand 2011)

**Anteil Gebäude mit Fernwärme**

0–10 %

über 10 %



Quelle: eigene Darstellung auf Basis des Zensus 2011

### 4.6 FALLBEISPIELE

Der Weg zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung unterscheidet sich räumlich. Im Folgenden beleuchten wir exemplarisch drei typische Arten von Wohngebieten anhand ihres Ausgangszustandes und von Lösungsansätzen für die Transformation.



#### 4.6.1 Großstadtbezirk – Gas

##### **Ausgangszustand**

Typische Großstadtbezirke, die derzeit überwiegend mit Gas beheizt werden, gibt es überall in Deutschland. Der lokale Gebäudebestand zeichnet sich meist durch eine stark heterogene Struktur aus, der Geschosswohnungsbau (Mehrfamilienhäuser) dominiert. Vereinzelt gibt es denkmal- oder ensemblesgeschützte Gebäude, häufig mischen sich Baualtersklassen der Gründerzeit sowie der Nachkriegsjahre (bis 1978, vor der 1. Wärmeschutzverordnung) mit vereinzelt neueren Gebäuden in Baulücken. Nichtwohngebäude liegen meist in Form von Bürogebäuden, Schulen und Kaufhäusern vor, häufig befinden sich Gewerbeeinheiten (z. B. Bäckereien, Friseure, Arztpraxen) im Erdgeschoss von Wohngebäuden. Der Sanierungszustand ist überwiegend schlecht. Dies sowie die hohe Bebauungsdichte führen wiederum zu hohen Wärmedichten in den Städten. Die Beheizungsstruktur wird dominiert von Gas, das sowohl in Gas-Zentralheizungen als auch in Gas-Etagenheizungen zur Wärmeerzeugung genutzt wird. Zusätzlich gibt es Öl-Zentralheizungen, Festholz-Kaminöfen sowie Pelletkessel. Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien machen allerdings typischerweise unter fünf Prozent aller Heizungen aus. Wärmenetze sind nicht vorhanden (siehe dazu den nächsten ► Abschnitt 4.6.2).

**Mietmärkte sind häufig angespannt, Leerstände eher gering.**

Insgesamt ist der Anteil an Mieter\*innen in Großstädten hoch, was das Investor-Nutzer-Dilemma in den Städten im Gegensatz zum ländlichen Raum verstärkt: Die Mieter\*innen nutzen und verbrauchen Wärmeenergie. Die Entscheidung, die Gebäudehülle energetisch zu sanieren oder eine neue Heizung einzubauen, obliegt allerdings den Vermieter\*innen. Die Mietmärkte sind häufig angespannt, Leerstände eher gering.

##### **Lösungsansätze**

Im Falle eines Stadtbezirks, der überwiegend mit Erdgas versorgt wird, geht es im Wesentlichen um drei Schritte:

1. Durchführung der kommunalen Wärmeplanung und Prüfung, welche Zielversorgungsstruktur in welchem Gebiet in Frage kommen kann
2. Reduzierung des Wärme-Energieverbrauch der Gebäude durch Sanierung

**Fernwärme im Stadtkern, Mischformen außerhalb des Stadtkerns, Einzelheizungen wie Wärmepumpen am Stadtrand**

**Seriell Sanieren eignet sich in vielen Großstädten besonders gut.**

3. Umsetzung der Versorgungsstruktur bzw. der Heizstruktur auf Basis der kommunalen Wärmeplanung analog zu den Klimaschutzziele

Die kommunale Wärmeplanung dient dazu, den Istzustand der Gebäude und Quartiere zu erfassen (Bau(alter)sstruktur, Wärmeenergieverbrauch/Wärmedichte, Energieträgerverteilung, Potenziale für erneuerbare Energien etc.) sowie Pläne für eine klimazielkompatible Wärmeversorgung zu entwickeln. In Großstadtbezirken ist aufgrund der hohen Bebauungs- und Wärmedichten, insbesondere im Innenstadtbereich, häufig eine fernwärmebasierte Lösung zielführend, sofern Potenziale für erneuerbare Fernwärmeerzeugung oder Abwärme verfügbar sind. In den an den Stadtkern angrenzenden Bezirken sind Mischformen der Wärmeversorgung zu erwarten (u. U. Nahwärmenetze sowie (Groß-)Wärmepumpen). Die äußeren Bezirke werden aufgrund der geringeren Wärmedichten und größeren Flächenverfügbarkeiten verstärkt mit Wärmepumpen versorgt werden, die im Regelfall Platz im Außenbereich brauchen. Dabei sollte die Reduzierung des Wärme-Energieverbrauchs in allen Gebäuden, in denen dies gut machbar ist, im Sinne des „Efficiency first“-Prinzips erfolgen, bevor eine neue Heizung/Übergabestation installiert wird. In Großstädten liegt aufgrund größerer Bestände von Wohnungsunternehmen häufig ein Potenzial für seriell Sanieren vor: Hier werden aufgrund von Skaleneffekten Kosten bei der Sanierung baugleicher Gebäude eingespart. Inzwischen gibt es erste Ansätze und Erfahrungsberichte dazu.<sup>29</sup> Neben der reinen Effizienzsteigerung bringt die Verbrauchsreduktion einen entscheidenden weiteren Freiheitsgrad mit sich: Die Menge benötigter erneuerbarer Energien zur Wärme-Bereitstellung verringert sich, was bei insgesamt begrenzt zur Verfügung stehenden erneuerbaren Wärmequellen ein wichtiger Faktor zum Gelingen der Wärmewende darstellt. Zudem sinken bei steigender Effizienz dauerhaft die Energiekosten, wovon insbesondere einkommensschwache Haushalte profitieren.

Der Umgang mit dem Gasverteilnetz im Zuge der Wärmewende stellt eine weitere Herausforderung dar, die regulatorisch noch nicht final gelöst ist (siehe dazu Becker Büttner Held (BBH) 2023). So ist zu erwarten, dass im Laufe der Zeit immer weniger Gasverbraucher\*innen die vorhandene Infrastruktur nutzen werden. Diese verbleibenden Verbraucher\*innen werden mit steigenden spezifischen Netzentgelten konfrontiert sein, zusätzlich zu einer aller Voraussicht nach stetig ansteigenden CO<sub>2</sub>-Bepreisung der verbrauchten Kilowattstunde Erdgas. Ob und wieviel Wasserstoff am Ende in die vorhandenen Netze eingespeist wird, ist mit großen Unsicherheiten behaftet.<sup>30</sup> Die kommunale Wärmeplanung schafft Klarheit und Lösungsansätze für Beteiligte; ggf. könnte etwa Wasserstoff in Gasverteilnetze eingespeist werden, wenn nahe gelegene Industriebetriebe einen hohen Bedarf haben.

<sup>29</sup> Siehe Deutsche Energie-Agentur (dena) 2023.

<sup>30</sup> Siehe dazu auch die Ausführungen in Infobox 1: Biomassenutzung für Gebäudewärme in Kapitel 2.2.2, Matthes et al. 2021 oder WWF Deutschland et al. 2023.



### 4.6.2 Großstadtbezirk – Fernwärme

#### **Ausgangszustand**

Bezüglich der Gebäudestruktur sind die hier betrachteten mit Fernwärme beheizten Großstadtbezirke den im vorherigen Kapitel betrachteten mit Gas beheizten Gebieten sehr ähnlich. Die Beheizungsstruktur wird hier allerdings dominiert von Fernwärme, die den Gebäuden über gebäudeeigene, zentrale Übergabestationen im Keller zur Verfügung gestellt wird. Teilweise ist in den Bezirken zudem ein Gasnetz vorhanden, das einen nicht wesentlichen Teil der Gebäude mit Gas versorgt. Weiterhin gibt es einen geringen Anteil an Ölheizungen, Festholz-Kaminöfen sowie vereinzelt Pelletheizungen. Die Fernwärme wird typischerweise über ein Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk (GuD), ein Kohleheizkraftwerk, ein Hackschnitzel-Heizwerk oder eine zentrale Müllverbrennungsanlage bereitgestellt (vgl. auch ► Kapitel 3.1.2). Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung beschränkt sich derzeit auf Biomasse-Anlagen und den biogenen Anteil des Abfalls.

Wie in Fallbeispiel 4.6.1 ist der Anteil an Mieter\*innen in Großstädten hoch, was das Investor-Nutzer-Dilemma in den Städten im Gegensatz zum ländlichen Raum verstärkt: Die Mieter\*innen nutzen und verbrauchen Wärmeenergie, die Entscheidung, die Gebäudehülle energetisch zu sanieren oder eine neue Heizung einzubauen, obliegt allerdings den Vermieter\*innen. Die Mietmärkte sind häufig angespannt, Leerstände eher gering.

#### **Lösungsansätze**

Im Falle eines schon überwiegend mit Fernwärme beheizten Stadtbezirks geht es im Wesentlichen um drei Schritte:

1. den ärme-Energiebedarf der Gebäude reduzieren
2. die bisher nicht an die Fernwärme angeschlossenen Gebäude an die Fernwärme anschließen (Verdichtung)
3. die Erzeugungsstruktur der Fernwärme auf erneuerbare Energien umstellen

Mehrere Großstädte verfolgen bereits dieses Vorgehen.<sup>31</sup> Typischerweise wird all dem eine kommunale Wärmeplanung vorgeschaltet – allerdings wird es in einem Gebiet, in dem schon Fernwärme liegt, selten sinnvoll sein, auf eine andere Form der Wärmeversorgung umzusteigen, weshalb man sich in einem solchen Gebiet auf weitere Gebäudeanschlüsse an die Fernwärme sowie die Umstellung der Erzeugungsstruktur der Fernwärme konzentrieren kann. Die Reduzierung des Wärme-Energieverbrauchs in allen Gebäuden, in denen dies gut machbar ist, sollte im Sinne des „Efficiency first“-Prinzips

---

31 Vgl. z. B. Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2019) oder Berlin Senatsverwaltung für Umwelt (2019)

## 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

als Erstes erfolgen, die in ► Abschnitt 4.6.1 dargestellten Ansätze der seriellen Sanierung sind auch hier anwendbar.

### Der Lückenschluss in der Fernwärmeversorgung stellt eine oft wirtschaftliche Lösung dar, um Emissionen im Bezirk zu senken.

Der Ausbau der Fernwärme zum Anschluss der verbleibenden noch dezentral beheizten Gebäude stellt eine in den meisten Fällen wirtschaftliche Möglichkeit dar, verbleibende Rest-Emissionen im Bezirk zu senken (vgl. z. B. für München: Kleinertz et al. 2021). Hier gilt es, mögliche Vorbehalte gegenüber der Fernwärme auszuräumen und gegebenenfalls mit Satzungen ordnungsrechtlich auf eine Umstellung hinzuwirken (vgl. Beispiele dazu in Hannover<sup>32</sup> oder München (Timpe et al. 2022)). Auch die seitens des BMWK angekündigte Überarbeitung der Wärmelieferverordnung (vgl. BGB §556c) soll es Vermieter\*innen erleichtern, ihr Gebäude an das Fernwärmenetz anzuschließen.

Die Umstellung der Fernwärmeerzeugung auf erneuerbare Energien ist stark standortabhängig. Die verschiedenen Optionen sind (vgl. ► Kapitel 3.2):

- Tiefe Geothermie (v. a. im Molassebecken des süddeutschen Alpenvorlandes<sup>33</sup>, dem Oberrheingraben und der Norddeutschen Tiefebene)
- Solarthermie<sup>34</sup>, in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher
- Nutzung von unvermeidbarer Abwärme, z. B. aus Industrieprozessen<sup>35</sup>, der Klimatisierung von Rechenzentren oder zukünftig auch von Elektrolyseuren zur Wasserstoffherstellung
- mit erneuerbarem Strom betriebene Großwärmepumpen, z. B. im Umfeld von Fließ- und Binnengewässern<sup>36</sup> oder Kläranlagen
- mit erneuerbarem Strom betriebene Elektrokessel, v. a. als Spitzenlastkessel
- mit grünem Wasserstoff betriebene KWK-Anlagen

Für die konkrete Umsetzung des Fernwärme-Ausbaus in den Bezirken sollten die Kommunen prüfen, ob es sich lohnt, eine städtebauliche Sanierungsmaßnahme in einem Sanierungsgebiet nach §142 BauGB durchzuführen.

---

32 Siehe Stadt Hannover 2023.

33 Die Stadtwerke München betreiben bereits heute mehrere Geothermieanlagen zur Fernwärmeversorgung.

34 Siehe z. B. Stadtwerke Greifswald 2023.

35 Siehe z. B. <https://waerme.hamburg/presse-media/pressemitteilungen/aurubis-ag-und-waerme-hamburg-gmbh-bauen-groesste-industriewaermeversorgung-deutschlands-weiter-aus>

36 z. B. MVV Energie AG <https://www.mvv.de/ueber-uns/unternehmensgruppe/mvv-umwelt/aktuelle-projekte/mvv-flusswaermepumpe>



### 4.6.3 Ländliche Kommune

#### **Ausgangszustand**

Ländliche Kommunen zeichnen sich durch überwiegend organisches Wachstum ihres Gebäudebestands aus. Neben zentralen Altbauten finden sich je nach Größe der Kommune neu erschlossene Baugebiete aller Nachkriegs-Bauklassen. Der Anteil an Ein-/Zweifamilienhäusern (EZFH) liegt im ländlichen Bereich deutlich höher als in städtischen Regionen. Ebenso der Anteil an selbstnutzenden Eigentümer\*innen. Hat sich die Kommune für den Aufbau einer Gas-Infrastruktur entschlossen, werden viele Gebäude mit Gas versorgt. Ansonsten kommt die nicht netzgebundene Energieversorgung mit Heizöl und Pellets auf deutlich höhere Anteile im Vergleich zu Großstädten. Mit Scheitholz betriebene Kaminöfen als zusätzliche Wärmequelle sind weit verbreitet. In Neubauten ab 2020 dominiert die Wärmepumpe als Heizungstechnologie, häufig in Kombination mit PV-Dachanlagen, für die im ländlichen Raum aufgrund des hohen Anteils an EZFH ausreichend Dachflächen zur Verfügung stehen. Zum Teil werden Gebäude auch über Nahwärmenetze versorgt, die typischerweise mit Wärme aus Biomasse (oft Hackschnitzel) und/oder Gas-BHKW bzw. Gas-Spitzenlastkessel gespeist werden.

Je nach Region und ihrer Nähe bzw. Distanz zu Wachstumsregionen können Leerstände im Gebäudebestand vorliegen. Mietmärkte sind entsprechend mehr bzw. weniger angespannt.

#### **Lösungsansätze**

**Die kommunale Wärmeplanung gibt auch auf dem Land Orientierung.**

Auch in ländlichen Städten und Gemeinden hilft eine kommunale Wärmeplanung. Diese ist die Grundlage für die Dekarbonisierung der Gebäude und bietet Eigentümer\*innen eine klare Orientierung. Wie auch in den Großstädten sollte zunächst nach dem Prinzip „efficiency first“ vorgegangen werden, um den Wärmeverbrauch insgesamt zu senken. Generell sind die Wärmedichten im ländlichen Raum deutlich niedriger als in Großstädten, weshalb Wärmenetzlösungen hier seltener auftreten. Gleichwohl kann es Bereiche geben, in denen sich eine Wärmenetzlösung als sinnvolle Option darstellt, zumal es im ländlichen Raum leichter sein wird, das Netz mit ausreichend erneuerbaren Energiequellen zu speisen (z. B. Freiflächen für Solarthermie-Anlagen)<sup>37</sup>. Wo kein Wärmenetz realisiert wird, können häufig Wärmepumpen eine Option darstellen: Es gibt meist genug Platz, diese vor dem Gebäude aufzustellen, sie können teilweise mit selbsterzeugtem PV-Strom betrieben werden und der hohe Anteil an selbstnutzenden Eigentümer\*innen dürfte dazu führen, dass zukunftstaugliche und wirtschaftliche Investitionen in die Gebäude schneller realisiert werden als in Mehrfamilienhäusern (Vermietung oder mehrere Eigentümer\*innen).

<sup>37</sup> Zum Thema Biomassenutzung für die Gebäudewärme siehe Infobox 1 in Kapitel 2.1.

#### 4. REGIONALE UND LOKALE CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

**Viele Landkreise sind im Bereich Klimaschutz bereits aktiv und entwickeln Konzepte oder Maßnahmen, um die Klimaziele zu erreichen.**

Viele Landkreise sind im Bereich Klimaschutz bereits aktiv und erstellen bzw. entwickeln Konzepte oder Maßnahmen, um die Klimaziele zu erreichen (vgl. z. B. Landkreis Alzey-Worms 2023<sup>38</sup> oder Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge 2023<sup>39</sup>).



38 <https://entraportal.de/kreisentwicklungskonzept-alzey-worms/>

39 <https://freiraum-fichtelgebirge.de/freiraum-fuer-innovation/klimaschutz/>



## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Gebäudebereich besteht großer Handlungsbedarf. Die in der Studie berechneten Szenarien zeigen, dass mit den derzeitigen (Mai 2023) Politikinstrumenten für den Gebäudebereich die Klimaziele im Jahr 2023 sowie die Klimaneutralität 2045 nicht erreicht werden. Die Berechnungen im Zielszenario zeigen, dass weitere Instrumente notwendig sind und dass diese ambitioniert ausgestaltet werden müssen.

### Vorgelegtes GEG hinterlässt Lücken und verschiebt die Anforderungen in die Zukunft.

Ein zentrales Instrument für die Transformation des Gebäudesektors ist die mit der Novellierung des GEG vorgesehene Anforderung, dass alle neu eingebauten Heizungen mit 65 Prozent erneuerbaren Energien versorgt werden müssen. In der vorliegenden Studie wurde eine Ausgestaltung der Vorgabe zugrunde gelegt, die im Ambitionsniveau über dem im September 2023 vom Bundestag beschlossenen Gesetzentwurf liegt:

- Während in der vorliegenden Studie dem Wortlaut des Koalitionsvertrag folgend angenommen wurde, die Anforderung im novellierten GEG für alle ab dem 01.01.2024 eingebauten Heizungen gilt, sieht der vorliegende Entwurf zur Novellierung des GEG weiterreichende Übergangsfristen vor. Diese sind verknüpft mit der kommunalen Wärmeplanung, sodass die im GEG getroffenen Regelungen erst dann vollumfänglich greifen, wenn eine Wärmeplanung vorliegt (ab Juli 2028 auch unabhängig vom Vorliegen einer Wärmeplanung). Allerdings müssen Heizungen, die vor dem Vorliegen einer Wärmeplanung eingebaut werden und die nicht in einem zukünftigen Wasserstoffnetzgebiet liegen, Beimischungsquoten für Biogas oder Wasserstoff einhalten: ab dem 1. Januar 2029 mindestens 15 Prozent, ab dem 1. Januar 2035 mindestens 30 Prozent und ab dem 1. Januar 2040 mindestens 60 Prozent.
- Der vorliegende Gesetzentwurf sieht zudem Regelungen zur Nutzung von H<sub>2</sub>-Heizungen vor, die mit weitreichenden Übergangsfristen zur Nutzung von Erdgas versehen sind. Diese sind an die Voraussetzung gebunden, dass die kommunale Wärmeplanung in den entsprechenden Gebieten einen Umstieg auf ein H<sub>2</sub>-Netz vorsieht. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist schwer abzuschätzen, in welchem Umfang diese Option in der Praxis genutzt werden wird. Um sicherzustellen, dass auch in diesen Gebieten die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor frühzeitig gemindert werden, sollte eine anteilige Nutzung nicht-fossiler Energieträger auch deutlich vor dem Zieljahr 2045 vorgesehen werden.
- Ein weiteres Element stellt die Nutzung von Biomasse dar: Der vorliegende Gesetzentwurf sieht keine Beschränkungen für Biomasseheizungen vor, zudem soll die Grundförderung von 30 Prozent auf für Biomasseheizungen gelten. Dies entspricht nicht den in der vorliegenden Studie zugrunde gelegten restriktiven Annahmen, sodass im Vergleich zu den dargestellten Ergebnissen und trotz der genannten nachteiligen Effekte (s. Infobox Biomasse) in der Praxis mit einer stärkeren Nutzung von Biomasse zu rechnen ist.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Durch die Verschiebung des Startpunktes der Regelung verschoben sich auch die daraus folgenden Treibhausgasemissionsminderungen, sodass der in der vorliegenden Studie aufgezeigte Zielpfad nicht zu erreichen sein dürfte.
- Informationen und Beratung: Um Gebäudeeigentümer\*innen bei Inkrafttreten der GEG-Novelle zu unterstützen, müssen zügig Kapazitäten für Beratungen ausgebaut werden und aussagekräftige Materialien entwickelt werden. Die GEG-Novelle beinhaltet eine Beratungspflicht für Gebäudeeigentümer\*innen beim Einbau neuer Heizungen, die mit festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden. Dieser Ansatz bietet das Potenzial, Fehlentscheidungen zu vermeiden, die in der Zukunft zu hohen Brennstoffkosten führen können.

**Mindesteffizienzstandards sind entscheidend für das Gelingen der Wärmewende bis 2045. Diese müssen daher umgehend hierzulande eingeführt werden.**

Eine weitere wichtige Stellschraube für die Zielerreichung im Gebäudesektor sind die Mindesteffizienzstandards für Bestandsgebäude. Auch hier geht das in der vorliegenden Studie angenommene Ambitionsniveau über die derzeitig diskutierte Ausgestaltung hinaus. Während wir uns in der vorliegenden Studie am Vorschlag der EU-Kommission orientieren, spricht Deutschland sich derzeit für die deutlich weniger ambitionierte Variante in der Position des Rates aus. Diese zeichnet sich insbesondere im Bereich der Wohngebäude dadurch aus, dass lediglich ein „Flottengrenzwert“ als nationaler Durchschnitt gesetzt wird, und somit keine Mindestanforderungen an Einzelgebäude gestellt werden. Da sich die EU-Gebäuderichtlinie weiterhin im Trilog zwischen EU-Kommission, Rat und Parlament befindet, ist derzeit nicht abzusehen, ob und in welcher Form MEPS-Anforderungen an Wohngebäude gestellt werden. Sollten diese wenig ambitioniert ausfallen, ist damit zu rechnen, dass die Einsparungen an Endenergie und Treibhausgasemissionen deutlich niedriger ausfallen als im Zielszenario. Dies trifft in besonderem Maße auf den Zeitraum zwischen 2030 und 2045 zu.



## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Neben den ordnungsrechtlichen Anforderungen kann die CO<sub>2</sub>-Bepreisung einen Beitrag für die Transformation des Gebäudesektors leisten, da sich mit steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen die Wirtschaftlichkeit von Heizungen auf Basis erneuerbarer Energien im Vergleich zu fossilen Kesseln verbessert. Im Hinblick auf die sozialen Auswirkungen spielt die Rückverteilung der Einnahmen eine zentrale Rolle: Teile der Einnahmen können genutzt werden, um gezielte Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen zu fördern. Zudem kann mit einer sozial gestaffelten Rückverteilung der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung (Klimageld) die Sozialverträglichkeit des Instruments gesteigert werden.

**Um die notwendigen Sanierungsmaßnahmen zur Zielerreichung in der Praxis durchzuführen, muss die Verfügbarkeit und Qualifizierung von Fachkräften sichergestellt werden.**

Um die notwendigen Sanierungsmaßnahmen zur Zielerreichung in der Praxis durchzuführen, muss die Verfügbarkeit und Qualifizierung von Fachkräften sichergestellt werden. Dazu muss einerseits die Gewinnung und Weiterbildung von Fachkräften gestärkt werden. Zudem kann die Effizienz bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen gesteigert werden, indem beispielsweise die serielle Sanierung gestärkt wird. Auch im Bereich der Heizungsanlagen können durch Standardisierung der zeitliche Bedarf sowie die Qualität gesteigert werden.

Die vorliegende Studie betrachtet in der Modellierung der Szenarien keine Instrumente, die auf eine Steigerung der Suffizienz abzielen. In diesem Bereich können perspektivisch weitere Einsparpotenziale erschlossen werden, beispielsweise durch die Steigerung der Wohnflächeneffizienz oder die Optimierung der Beheizung.

Im Bereich der Fernwärme zeigt die vorliegende Studie die regionalen Unterschiede im Energiemix in der Fernwärmeversorgung auf und diskutiert verschiedene Verfahren zur Bilanzierung der Emissionen. Dabei sind vor allem zwei Punkte relevant: erstens die Frage, ob die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse und Abfällen in der Bilanzierung berücksichtigt werden oder nicht, und zweitens, welche Allokationsmethode für die Bilanzierung von KWK-Anlagen verwendet wird.

**Die Betrachtung von Biomasse als „klimaneutralen“ Brennstoff ist aus unserer Sicht nicht gerechtfertigt.**

Die Betrachtung von Biomasse als „klimaneutralen“ Brennstoff ist aus unserer Sicht nicht gerechtfertigt und Biomasse sollte in Fernwärmenetzen deshalb nur in begrenztem Umfang eingesetzt werden. Die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) begrenzt deshalb richtigerweise den Biomasseanteil für geförderte Wärmenetze und verknüpft die Förderung an das Einhalten von Nachhaltigkeitskriterien.

Hinsichtlich der Aufteilung der Treibhausgasemissionen auf die Produkte Strom und Fernwärme führt die derzeit noch verwendete Stromgutschriftenmethode dazu, dass die Treibhausgasemissionen vor allem der Strom-



erzeugung zugewiesen werden, während die Fernwärmeerzeugung nur mit geringen Treibhausgasemissionen bewertet wird. Der dabei verwendete Emissionsfaktor für den Verdrängungsmix im Stromsystem ist veraltet und berücksichtigt den Ausbau der erneuerbaren Energien nicht ausreichend. Daher sollte der Verdrängungsmix jährlich aktualisiert werden und die Berechnungen sollten besser dokumentiert werden. Im Ergebnis werden bisher die spezifischen Emissionen der Fernwärme unterschätzt. Dies kann zu Fehlanreizen führen, weil dies zur Folge hat, dass die Standards für die Gebäudedämmung zu niedrig ausfallen und Hausbesitzer\*innen falsche Informationen bezüglich der CO<sub>2</sub>-Intensität dieser Wärmeversorgungs-option erhalten. Daher sollte mittelfristig die Allokationsmethode in der AGFW-Richtlinie und im GEG auf die „Finnische Methode“ oder die „Carnot-Methode“ umgestellt werden. Die „Finnische Methode“ ist eine vereinfachte Variante der „Carnot-Methode“ (ohne komplizierte Berücksichtigung der Temperaturniveaus).

**Fernwärme nimmt einen zunehmenden Anteil an der Wärmeversorgung ein und wird regional bis zu etwa 30 % der Wärmeversorgung ausmachen.**

Die Modellierung des Gebäudesektors zeigt, dass die Fernwärme einen zunehmenden Anteil an der Wärmeversorgung einnimmt und regional bis zu etwa 30 Prozent der Wärmeversorgung ausmachen wird. Derzeitig basiert die Fernwärmeerzeugung jedoch noch überwiegend auf fossilen Brennstoffen. Um die Fernwärmeversorgung zu dekarbonisieren, ist ein Technologie- und Brennstoffwechsel hin zu Großwärmepumpen, Geothermie, Solarthermie und Abwärme sowie, wenn nötig auch Wasserstoff und Biomasse von zentraler Bedeutung. Die Transformation der Fernwärmeversorgung ist anspruchsvoll und zudem ein zentrales Element der Wärmewende.

In Bezug auf die Sozialverträglichkeit der Wärmewende ist zwischen selbstnutzenden Eigentümer\*innen und Mieter\*innen zu unterscheiden:

- Im Bereich der vermieteten Gebäude ist die Verteilung der Kosten für Modernisierungen von zentraler Bedeutung:
  - Der Koalitionsvertrag sieht die Prüfung des Umstiegs auf ein Teilwarmmietenmodell vor, in dem die Modernisierungsumlage aufgehen soll. Während Teilwarmmietenmodelle grundsätzlich einen Beitrag zur

sozialverträglichen Transformation des Sektors leisten können, hängen die Auswirkungen für Mieter\*innen und Vermieter\*innen stark von den gewählten Ausgestaltungsoptionen ab. Ein Teilwarmmietenansatz trägt somit weder per se zu mehr Mieter\*innenschutz bei, noch werden per se die Anreizstrukturen für Vermieter\*innen gestärkt. Vor dem Hintergrund, dass die Einführung eines Teilwarmmietenmodells mit großer Komplexität und großem administrativen Aufwand verbunden ist, ist zu empfehlen, zunächst einfachere Anpassungen im Mietrecht zu prüfen<sup>40</sup>.

- Ein Beispiel für eine Anpassung im Mietrecht sind die im Zuge der GEG-Novellierung vorgesehene weitere Modernisierungsumlage sowie die neu einzuführende Kappungsgrenze von 50 Cent pro Quadratmeter, die die Belastung für Mieter\*innen begrenzt. Im Vergleich zu den derzeitigen Umlagemöglichkeiten dürfte sich dadurch beim Einbau einer Wärmepumpe eine geringere Belastung für Mieter\*innen ergeben als mit der derzeit gültigen Rechtslage.
- Beim Einbau von fossilen Heizungen, die in der Zukunft anteilig mit Biogas oder Wasserstoff beheizt werden müssen, besteht das Risiko hoher Energiekosten, die durch die Mieter\*innen getragen werden müssen. Begleitend zur Einführung der 65 %-Anforderung sollte ein fairer Ansatz zur Verteilung der zusätzlichen Kosten zwischen Mieter\*innen und Vermieter\*innen entwickelt werden.

**Mieter\*innenschutz ist wichtig. Teilwarmmietenmodelle sind komplex. Kappungsgrenzen wirken im bestehenden Mietrecht direkt.**

- Für eine sozialgerechte Transformation des Gebäudesektors ist es essenziell, dass die Förderung so ausgestaltet wird, dass insbesondere auch Haushalten mit geringem Einkommen die Transformation ermöglicht wird. Dazu können gestaffelte Fördersätze dienen, sodass in Haushalten mit geringem Einkommen ein größerer Anteil der notwendigen Investitionen gefördert wird. Die Förderung dient damit nicht primär als Anreiz für energetische Sanierungen und den Tausch der Heizungsanlage, sondern dazu, die ordnungsrechtlichen Anforderungen zu ermöglichen.

Während für den Bereich der selbstgenutzten Gebäude erstmals vorgesehen ist, einen Förderbonus für Haushalte mit geringem Einkommen einzuführen, der voraussichtlich zu einer sozialgerechteren Verteilung der Fördermittel führen wird, ist für den vermieteten Bestand bisher keine soziale Differenzierung in der BEG geplant. Um auch vulnerable Mieter\*innen angemessen zu unterstützen ist es essenziell, auch für diesen Bereich die soziale Komponente in der Förderung stärker zu berücksichtigen.

---

<sup>40</sup> Siehe dazu auch Klinski et al. 2021.

# LITERATURVERZEICHNIS

AGEB – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Hg.) (2019): Energie in Zahlen. Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen. Online verfügbar unter [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2019/01/ageb-energie\\_in\\_zahlen\\_2019.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2019/01/ageb-energie_in_zahlen_2019.pdf), zuletzt geprüft am 04.05.2022.

AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (Hg.) (2021a): AGFW – Hauptbericht 2020. Frankfurt (Main).

AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (Hg.) (2021b): Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1. Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte. Teil 1: Primärenergie- und Emissionsfaktoren nach Stromgutschriftmethode, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

BAFA – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle(Hg.) (2022): Informationsblatt CO<sub>2</sub>-Faktoren. Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss. Online verfügbar unter [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew\\_infoblatt\\_co2\\_faktoren\\_2022.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 14.06.2023.

BBH – Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater PartGmbH (2023): Regulatorische Anpassungsbedarfe zur Transformation der Gasversorgung im Kontext der Wärmewende, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

BCG – Boston Consulting Group GmbH (Hg.) (2021): Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Gutachten für den BDI, zuletzt geprüft am 13.04.2022.

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.) (2022): Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren. Zusammenhänge von Primärenergie und Endenergie in der energetischen Bewertung. Fakten und Argumente. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bdew.de/media/documents/Awh\\_20221124\\_BDEW-Grundlagenpapier\\_PEF\\_final.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20221124_BDEW-Grundlagenpapier_PEF_final.pdf), zuletzt geprüft am 12.06.2023.

BDH – Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e. V. (2022): Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2012–2021. Online verfügbar unter [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Pressemeldungen/Pressegrafik\\_Marktentwicklung\\_Waermeerzeuger\\_Deutschland\\_2012-2021.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/Pressegrafik_Marktentwicklung_Waermeerzeuger_Deutschland_2012-2021.pdf).

Bei der Wieden, Malte; Braungardt, Sibylle (2023): Wie viel Energie verbrauchen unsere Wohngebäude? Blog-Beitrag Öko-Institut. Online verfügbar unter <https://blog.oeko.de/wie-viel-energie-verbrauchen-unsere-wohngebaeude>, zuletzt geprüft am 19.07.2023.

Bigalke, Uwe; Zhang, Yang; Kunde, Jan; Schmitt, Martina; Zeng, Yang; Discher, Henning et al. (2015): Der dena Gebäudereport 2015. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Hg. v. Deutsche Energie Agentur GmbH. Berlin.

BMJ – Bundesministerium der Justiz; Bfj – Bundesamt für Justiz (Hg.) (2023): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden\* (Gebäudeenergiegesetz – GEG) Anlage 9 (zu § 85 Absatz 6) Umrechnung in Treibhausgasemissionen. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/geg/anlage\\_9.html](https://www.gesetze-im-internet.de/geg/anlage_9.html), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario – BMVBS-Online-Publikation, Nr. 03/2013. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/DL\\_ON032013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/DL_ON032013.pdf?__blob=publicationFile&v=5), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022a): Im Fokus: Grüne Wärme. Neues Förderprogramm für nachhaltige Fernwärme. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2022/02/04-im-fokus-gruene-waerme.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023): Gas- und Strompreisbremse. Energiepreise und Transparenz für Verbraucher. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/strom-gaspreis-bremse.html>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023a): Gesetzesentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung. Online verfügbar unter [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/entwurf-geg.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/entwurf-geg.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

## LITERATURVERZEICHNIS

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023b.): Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung. Gemäß Artikel 2a der Richtlinie 2018/844/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy performance of buildings directive, EPBD 2018). Online verfügbar unter [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/langfristige-renovierungsstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/langfristige-renovierungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 30.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022a): Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi. Online verfügbar unter [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.html](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.html).

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (01.08.2022): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze „BEW“. Online verfügbar unter <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/Lqyn-J78mbcSrTH7IL83/content/LqynJ78mbcSrTH7IL83/BAnz%20AT%2018.08.2022%20B1.pdf?inline>, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.) (2023c): Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) für private Haushalte. Online verfügbar unter <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Foerderprogramme/beg-em-privat.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (Hg.) (2022): BMWK und BMWSB legen Sofortprogramm mit Klimaschutzmaßnahmen für den Gebäudesektor vor. Gemeinsame Pressemitteilung: Energiewende im Gebäudebereich. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilung/2022/07/20220713-bmwk-und-bmwsb-legen-sofortprogramm-mit-klimaschutzmassnahmen-fuer-den-gebauedesektor-vor.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023): Energiedaten: Gesamtausgabe. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2023d): Entwurf eines Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. Hg. v. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). Online verfügbar unter [www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Waermeplanung.html](http://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Waermeplanung.html), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023e): BMWK legt erste externe Evaluation der BEG vor. Online verfügbar unter <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Meldungen/2023/20230613-bmwk-legt-erste-externe-evaluation-der-beg-vor.html>. Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016.

Bundesregierung (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Berlin. Online verfügbar unter [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht\\_2021\\_uba\\_website.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf), zuletzt geprüft am 12.04.2022.

Bürger, Veit; Hesse, Tilman; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Endbericht. Unter Mitarbeit von Dietlinde Quack. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (Climate Change, 06/2016).

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2019): Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft. Erste Fortschreibung des Hamburger Klimaplanes und Gesetz zur Änderung der Verfassung, zum Neuerlass des Hamburger Klimaschutzgesetzes sowie zur Anpassung weiterer Vorschriften. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/13647730/82f1c3fe9959d1d7f70106ae89a80781/data/d-hamburger-klimaplan-2019.pdf>. Zuletzt geprüft am 01.09.2023.

Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungs-raten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Anleitung zur Durchführung von Auswertungen mit der Auswertungsdatenbank. 1. Aufl. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Online verfügbar unter [https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebauedebestand/2018\\_IWU\\_CischinskyEtDiefenbach\\_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebauedebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf), zuletzt geprüft am 30.03.2022.

## LITERATURVERZEICHNIS

Cludius, Johanna; Noka, Viktoria; Galster, Hannah; Schumacher, Katja (2022): Wie wohnt Deutschland? Wohnsituation, Wohnkosten und Wohnkostenbelastungen von Haushalten in Deutschland. Online verfügbar unter [www.oeko.de/publikationen/p-details/wie-wohnt-deutschland](https://www.oeko.de/publikationen/p-details/wie-wohnt-deutschland), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

DEHSt – Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (Hg.) (2023): Leitfaden zum Anwendungsbe- reicht sowie zur Überwachung und Berichterstattung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im nationalen Emissionshandelssystem 2023 bis 2030. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-leitfaden-monitoring-2023-2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/nehs/nehs-leitfaden-monitoring-2023-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 20.06.2023.

dena – Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hg.) (2023): Serielle Gebäudesanierung. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/gebaeude/serielle-sanierung>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

Deutscher Bundestag (Hg.) (2020): Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff. Dokumentation. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/691748/01a954b2b2d7c70259b19662ae37a575/WD-5-029-20-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2022): Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes – Lange Reihen von 1969 bis 2021. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.html>, zuletzt geprüft am 07.09.2023

Destatis – Statistisches Bundesamt (Hg.) (2023): Nettoeinkommen privater Haushalte nach Haushaltstyp. Einkommen, Konsum und Lebensbedingungen. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/\\_Grafik/\\_Interaktiv/einnahmen-ausgaben-haushaltstypen.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/_Grafik/_Interaktiv/einnahmen-ausgaben-haushaltstypen.html), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2019): Wohnen in Deutschland – Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/wohnen-in-deutschland-5122125189005.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2023): Gemeindeverzeichnis-Informationssystem GV-ISys. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/\\_inhalt.html#101366](https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/_inhalt.html#101366). Zuletzt geprüft am 01.09.2023.

DIW Berlin – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (2019): Wärmemonitor 2018: Steigender Heizenergiebedarf, Sanierungsrate sollte höher sein. Hg. v. DIW Berlin. Online verfügbar unter [https://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw\\_01.c.676238.de](https://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.676238.de), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

DUH – Deutsche Umwelthilfe e.V.; WWF Deutschland; BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (Hg.) (2023): „H<sub>2</sub>-ready“: Die Kostenfalle im Gebäude. Faktenpapier. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/h-2-ready-die-kostenfalle-im-gebaeude.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Europäische Kommission (2022): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie der Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz. 2022/0160 (COD). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022PC0222&from=EN>.

European Environment Agency (2023): Summary Report for CO<sub>2</sub>-Equivalent emissions. Online verfügbar unter [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envzbhja/DEU\\_2023\\_2021\\_13032023\\_114130\\_started.xlsx/manage\\_document](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envzbhja/DEU_2023_2021_13032023_114130_started.xlsx/manage_document), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Europäische Kommission (Hg.) (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/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0802&qid=1641802763889>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

FhG ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Consentec GmbH (Hg.) (2022): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Treibhausgasneutrale Szenarien T45, Überblickswebinar 15.11.2022. Online verfügbar unter <https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3-Langbericht-Energieangebot-final.pdf>.

Heinemann, Christoph; Kasten, Peter; Bauknecht, Dierk; Timpe, Christof; Bracker, Joß; Seebach, Dominik et al. (2019): Die Bedeutung strombasierter Stoffe für den Klimaschutz in Deutschland. Zusammenfassung und Einordnung des Wissenstands zur Herstellung und Nutzung strombasierter Energieträger und Grundstoffe. Öko-Institut. Freiburg. Online verfügbar unter [www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PtX-Hintergrundpapier.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PtX-Hintergrundpapier.pdf).

## LITERATURVERZEICHNIS

Hennenberg, Klaus; Böttcher, Hannes (2023): Biomasse und Klimaschutz. Öko-Institut. Berlin/Darmstadt. Online verfügbar unter [https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Biomasse-und-Klimaschutz\\_BMWK.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Biomasse-und-Klimaschutz_BMWK.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2023.

Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2021): ENOB: dataNWG Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle im Bestand der Nichtwohngebäude. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung; Bergische Universität Wuppertal Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens (BUW-ÖPB). Darmstadt. Online verfügbar unter [www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/211216\\_IWU\\_E4.2-1\\_Teilbericht\\_Strukturdaten-Modernisierung-Huelle.pdf](http://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/211216_IWU_E4.2-1_Teilbericht_Strukturdaten-Modernisierung-Huelle.pdf), zuletzt geprüft am 10.02.2022.

Hörner, Michael; Bischof, Julian (2022): Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland – Methodik, Anwendung und Ausblick. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/Julian-Bischof/publication/364715234\\_Typologie\\_der\\_Nichtwohngebäude\\_in\\_Deutschland\\_-\\_Methodik\\_Anwendung\\_und\\_Ausblick/links/6357f61512cbac6a3ef54abf/Typologie-der-Nichtwohngebäude-in-Deutschland-Methodik-Anwendung-und-Ausblick.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Julian-Bischof/publication/364715234_Typologie_der_Nichtwohngebäude_in_Deutschland_-_Methodik_Anwendung_und_Ausblick/links/6357f61512cbac6a3ef54abf/Typologie-der-Nichtwohngebäude-in-Deutschland-Methodik-Anwendung-und-Ausblick.pdf?origin=publication_detail), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

IWU – Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2023): „TABULA“ – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern. Online verfügbar unter [www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula](http://www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/tabula), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Kenkmann, Tanja (2019): Smaller is beautiful – beispielhafte Strategien für die Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche. Kongress Energieautonome Kommunen. Freiburg, 2019.

Kenkmann, Tanja; Fischer, Corinna; Gargya, Daniela (2023): Leeres Nest – Neuer Start. Wohnraum im Einfamilienhausbestand erschließen. Hg. v. Öko-Institut. Verfügbar unter [https://www.zukunftserbe.de/fileadmin/user\\_upload/PDF/Kenkmann\\_Fischer\\_Gargya\\_2023\\_-\\_Wohnraum\\_im\\_Einfamilienhausbestand\\_erschliessen.pdf](https://www.zukunftserbe.de/fileadmin/user_upload/PDF/Kenkmann_Fischer_Gargya_2023_-_Wohnraum_im_Einfamilienhausbestand_erschliessen.pdf).

KfW Bankengruppe (Hg.) (2022): Worst Performing Building (WPB) – die neue Gebäudekategorie. Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Online verfügbar unter [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/Worst-Performing-Building-\(WPB\)](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/Worst-Performing-Building-(WPB)), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Kleinertz, Britta; Roon, Serafin von; Djamali, Alexander; Ferstl, Joachim; Freiberger, Leona; Greif, Simon et al. (2021): Klimaneutrale Wärme München 2035. Mögliche Lösungspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München. Hg. v. Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FFE) und Öko-Institut. München.

Klinski, Stefan; Braungardt, Sibylle; Keimeyer, Friedhelm (2021): Teilwarmmietenmodelle im Wohnungsmietrecht als geeignetes Anreizinstrument zum Klimaschutz. Kurzstudie zur rechtlichen und praktischen Machbarkeit. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/teilwarmmietenmodelle-im-wohnungsmietrecht-als>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.

LAK – Länderarbeitskreis Energiebilanzen (Hg.) (2023): Energiebilanzen – Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Online verfügbar unter <http://www.lak-energiebilanzen.de/energiebilanzen>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Landkreis Alzey-Worms (Hg.) (2023): Kreisentwicklungskonzept Alzey-Worms. Online verfügbar unter <https://entra-portal.de/kreisentwicklungskonzept-alzey-worms>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge (2023): Freiraum für Klimaschutz. Wir engagieren uns für eine lebenswerte Zukunft. Hg. v. Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge. Online verfügbar unter <https://freiraum-fichtelgebirge.de/freiraum-fuer-innovation/klimaschutz>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R. (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. 2. erw. Auflage. Institut Wohnen und Umwelt (IWU).

Lübbers, Sebastian; Marco Wünsch; Miriam Lovis; Johannes Wagner; Frank Sensfuß; Gunnar Luderer; Frederike Bartels (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. Hg. v. Stiftung Klimaneutralität. Online verfügbar unter [https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5\\_Szenarienvergleich\\_final.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5_Szenarienvergleich_final.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Martin Wietschel; Bastian Weißenburger; Matthias Rehfeldt; Benjamin Lux; Lin Zheng; Jonas Meier (2023): Preiselastische Wasserstoffnachfrage in Deutschland – Methodik und Ergebnisse. Hypat Working Paper 01/2023: Hg. v. Hypat. Online verfügbar unter [https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT\\_Working-Paper-01\\_2023\\_Priselastische-Nachfrage.pdf](https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT_Working-Paper-01_2023_Priselastische-Nachfrage.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

## LITERATURVERZEICHNIS

Matthes, Felix Chr.; Braungardt, Sibylle; Bürger, Veit; Emele, Lukas; Görz, Wolf Kristian; Hermann, Hauke et al. (2022): Klimaschutz 2030: Ziele, Instrumente, Emissionsminderungslücken sowie die Verbesserung der Überprüfungs- und Nachsteuerungsregularien. Analyse. Hg. v. Stiftung Klimaneutralität. Öko-Institut. Berlin, zuletzt geprüft am 14.11.2022.

Matthes, Felix Chr.; Braungardt, Sibylle; Bürger, Veit; Göckeler, Katharina; Heinemann, Christoph; Hermann, Hauke et al. (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität (SKN). Öko-Institut. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/Oeko-Institut-2021-Die-Wasserstoffstrategie-2.0-fuer-Deutschland-1.1.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

Merten, Frank; Scholz, Alexander (2023): Metaanalyse zu Wasserstoffkosten und -bedarfen für die CO<sub>2</sub>-neutrale Transformation. Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V. (LEE-NRW). Hg. v. Wuppertal Institut. Online verfügbar unter <https://www.lee-nrw.de/data/documents/2023/06/27/610-649a725bcfa40.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

MVV Energie AG (2023): R(h)ein mit der Wärme. MVV installiert eine der größten Flußwärmepumpen Europas. Hg. v. MVV Energie AG. Online verfügbar unter <https://www.mvv.de/ueber-uns/unternehmensgruppe/mvv-umwelt/aktuelle-projekte/mvv-flusswaermepumpe>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

Prognos AG; Öko Institut e.V.; Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Studie. Berlin. Online verfügbar unter [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_01\\_DE\\_KNDE2045/KNDE2045\\_Langfassung.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_01_DE_KNDE2045/KNDE2045_Langfassung.pdf), zuletzt geprüft am 18.02.2023.

Prognos AG; IFAM – Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung; Ökolinstitut e.V.; BHKW-Consult; SUEP – Stiftung Umweltenergierecht (2019): Evaluierung der Kraft-Wärme-Kopplung. Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Studie. Unter Mitarbeit von Marco Wunsch, Bernd Eikmeier, Sabine Gores, Markus Gailfuß, Oliver Antoni, Hanno Falkenberg et al. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/evaluierung-der-kraft-waerme-kopplung.html>, zuletzt geprüft am 28.01.2020.

Repenning, Julia; Matthes, Felix Chr.; Blank, Ruth; Emele, Lukas; Döring, Ulrike; Förster, Hannah et al. (2014): Klimaschutzszenario 2050. 1. Modellierungsrunde. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin.

Rosenow, Jan; Bayer, Edith (2017): Costs and benefits of Energy Efficiency Obligations: A review of European programmes. Hg. v. Science Direct. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517302379>.

Schlomann, Barbara; Rohde, Clemens; Bentele, Sophie (2021): Mögliche Ausgestaltung eines Energieeinsparverpflichtungssystems für Deutschland. Climate Change 11/2021. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-02-26\\_cc\\_11-2021\\_energieeinsparverpflichtungssystem.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-02-26_cc_11-2021_energieeinsparverpflichtungssystem.pdf).

Schumacher, Katja; Nissen, Christian; Braungardt, Sibylle (2022): Energetische Sanierung schützt Verbraucher\*innen vor hohen Energiepreisen – Vorschläge für eine soziale Ausrichtung der Förderung. Sanierungskosten und Förderbedarf für vulnerable Hauseigentümer\*innen. Kurzstudie im Auftrag der Deutschen Umwelthilfe (DUH). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzstudie-Sanierung-Ein--und-Zweifamilienhaeuser.pdf>, zuletzt geprüft am 25.08.2022.

Senatsverwaltung für Umwelt (2019): BEK 2030. Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030. Online verfügbar unter [https://www.berlin.de/sen/uvk/\\_assets/klimaschutz/publikationen/bek2030\\_broschuere.pdf](https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/publikationen/bek2030_broschuere.pdf). Zuletzt geprüft am 01.09.2023.

SPD; Bündnis 90 / Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Berlin, zuletzt geprüft am 29.11.2021.

Stadt Hannover (Hg.) (2023): Hannover baut Fernwärme aus. Fernwärmesatzung. Online verfügbar unter <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Klimaschutz-Energie/Klimaschutz-konkret/W%C3%A4rmewende-Hannover/Hannover-baut-Fernw%C3%A4rme-aus>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

Stadwerke Greifswald GmbH (Hg.) (2023): Solarthermieanlage | Stadwerke Greifswald. Online verfügbar unter <https://www.sw-greifswald.de/Energie/Erzeugung/Solarthermieanlage>, zuletzt geprüft am 30.06.2023.

## LITERATURVERZEICHNIS

Sunderer, Georg; Birzle-Harder, Barbara; Stieß, Immanuel (2018): Wohnwünsche und Wohnbedürfnisse von Zielgruppen für eine effiziente Wohnflächennutzung – Ergebnisse einer standardisierten Befragung. Chartbericht. Frankfurt (Main). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/lebensraeume/LebensRaeume-standardisiert.pdf>.

Sunderland, Louise (2023): A European framework for minimum energy performance standards. Review of negotiations on Article 9 of the Energy Performance of Buildings Directive. Hg. v. RAP. Brüssel. Online verfügbar unter <https://www.raponline.org/wp-content/uploads/2023/05/RAP-Sunderland-EPBD-policy-brief-May-2023-4.pdf>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

Timpe, Christof; Kenkmann, Tanja; Hesse, Tilman; Reise, Judith; Maaß, Christian; Westholm, Hilmar et al. (2022): Abschlussbericht zum Fachgutachten Klimaneutralität München 2035, im Auftrag des Referats für Klima- und Umweltschutz der Landeshauptstadt München,, zuletzt geprüft am 28.06.2023.

UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2016): Die Nutzung von Exergieströmen in kommunalen Strom-Wärme-Systemen zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Kommunen bis zum Jahr 2050. CLIMATE CHANGE 35/2016. Dessau-Roßlau, zuletzt geprüft am 28.06.2023.

UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2023a): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes. 1990–2022. Stand: 15.03.2023. Unter Mitarbeit von Dirk Günther. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2023\\_03\\_15\\_em\\_entwicklung\\_in\\_d\\_ksg-sektoren\\_pm.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2023_03_15_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_pm.xlsx), zuletzt geprüft am 23.03.2023.

UBA – Umweltbundesamt (2023b): Treibhausgas-Emissionen. Das Umweltbundesamt ist in Sachen Treibhausgasemissionen die offizielle Anlaufstelle und wichtiger Ansprechpartner in Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2023c): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2021. CLIMATE CHANGE 28/2023. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28\\_2023\\_cc\\_berichterstattung\\_unter\\_der\\_klimarahmenkonvention.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28_2023_cc_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf), zuletzt geprüft am 14.06.2023.

UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2022): Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/factsheet\\_rahmendaten\\_fuer\\_den\\_projektionsbericht\\_2023\\_fuer\\_deutschland.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/factsheet_rahmendaten_fuer_den_projektionsbericht_2023_fuer_deutschland.pdf), zuletzt geprüft am 29.06.2023.

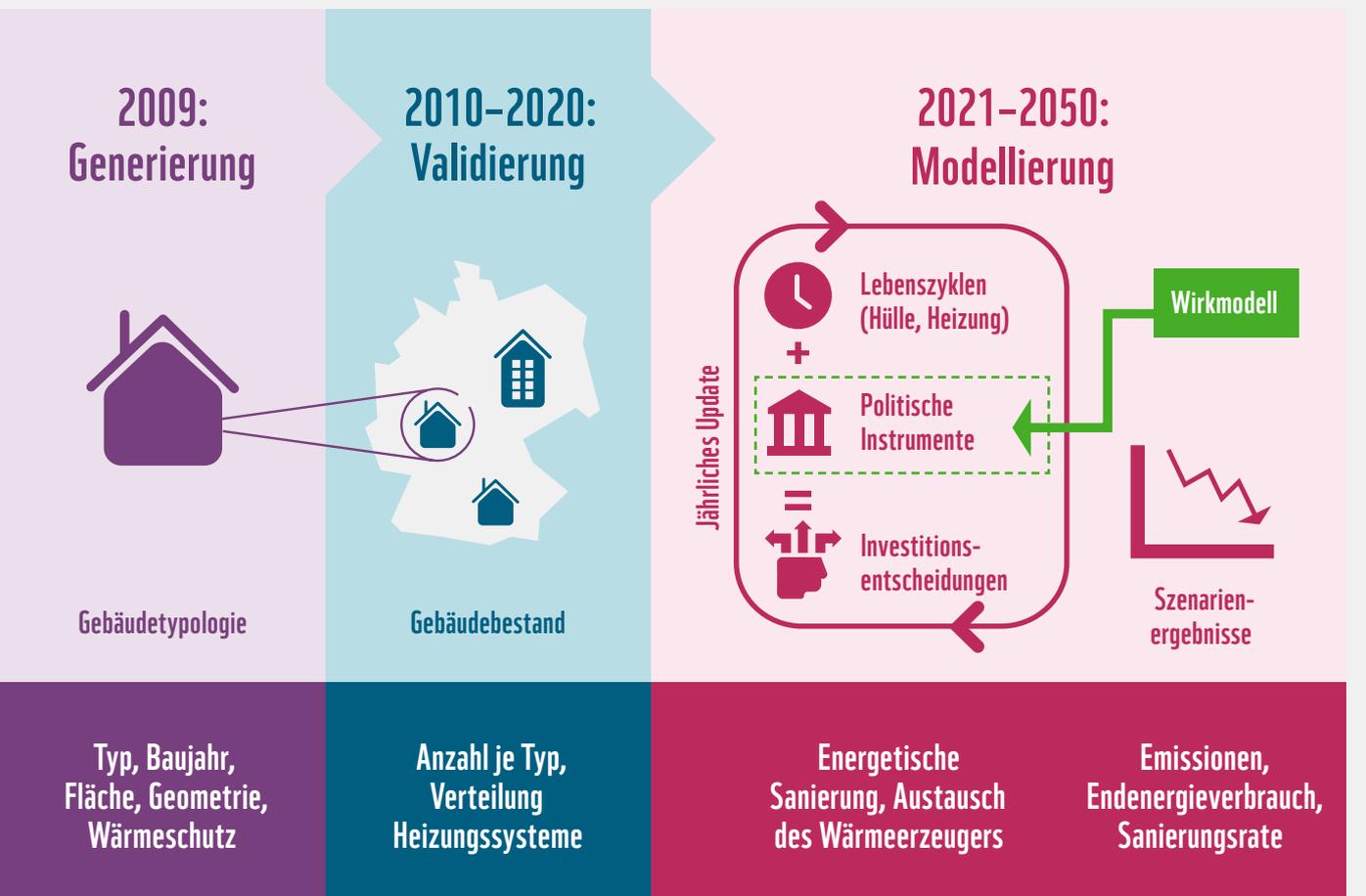
WWF Deutschland; DUH – Deutsche Umwelthilfe e.V.; NABU – Naturschutzbund Deutschland e. V. (2023): Wasserstoff und grüne Gase im Gebäudesektor? Keine gute Lösung. Policy Paper, zuletzt geprüft am 20.07.2023.

# ANHANG: METHODISCHER ANSATZ FÜR DIE MODELLIERUNG

## Entwicklung des Gebäudebestands: Building Stock Transformation Model

Die Berechnungen werden durchgeführt mit dem simulativen Bottom-up-Gebäudemodell „Building Stock Transformation Model“ (Building-STar), das den Gebäudebestand in Deutschland abbildet. Abbildung 27 stellt schematisch die Modellierungslogik des Stock-exchange-Ansatzes dar. Im Jahr 2009 wird ein Gebäudebestand generiert. Für Wohngebäude leiten Bürger et al. (2016) auf Basis der „Deutschen Gebäudetypologie“ (TABULA) (Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) 2023) und der Zusatzerhebung des Mikrozensus (Statistisches Bundesamt 2019) einen repräsentativen Wohngebäudebestand ab mit gebäudespezifischen Charakteristika wie Gebäudetyp, Baujahr, Nutzfläche, Geometrie inkl. Bauteilflächen, Wärmeschutz (U-Werte) und der Art der Wärmeversorgung.

Abbildung 27: Schematische Wirkweise des Building Stock Transformation Model



Quelle: Öko-Institut e.V.

Der Bestand an Nichtwohngebäuden leitet sich aus der Typologie von Hoerner und Bischof (2022) ab. Die Zuteilung der Nichtwohngebäude zu den Subsektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) und Industrie erfolgt anhand von Prognos et al. (2021), Bürger et al. (2016), Bigalke et al. (2015), Repenning et al. (2014) und BMWK (2023).

Die Jahre 2010 bis 2020 werden zur Validierung der Modelldynamiken genutzt. Dazu gehören die Sanierungsrate nach Erhebungen des Instituts für Wohnen und Umwelt (2018 und IWU et al. 2020), der Endenergieverbrauch nach den Inventardaten und Energiebilanzen (BMWK 2022), die Treibhausgasemissionen nach dem Treibhausgasinventar (Umweltbundesamt 2023b) und verbaute Heizungstechnologien nach Marktabsatzzahlen (Heizungsindustrie, BDH – Bundesverband der Deutschen Heizungs-industrie 2022).

Ab 2021 erfolgt die Projektion in die Zukunft, indem der Gebäudebestand bis 2050 fortgeschrieben wird. Es sind Reinvestitionszyklen hinterlegt für die Bestandteile der Gebäudehülle (Bauteile: Fenster, Dach, Obere Geschossdecke, Außenwand, Fußboden) und Wärmeversorgungssysteme. Sobald das Ende der technischen Lebensdauer erreicht ist, steht im Modell eine Entscheidung an: Wird renoviert (keine Verbesserung des Wärmeschutzes bzw. Wiedereinbau des gleichen Wärmeversorgers) oder energetisch saniert (Verbesserung Wärmeschutz bzw. Wechsel des Energieträgers)? Die dazugehörigen Entscheidungswahrscheinlichkeiten werden zentral in Building-STAR eingespeist und reflektieren den Politik-Mix des Szenarios. Sie leiten sich aus dem „Wirkmodell“ ab. Es sind verschiedene Restriktionen (z. B. Denkmalschutz) und Interaktionen einzelner gebäudescharfer Parameter hinterlegt (z. B. Heizwärmebedarf und Effizienz von Wärmepumpen).

Der Endenergieverbrauch wird in Building-STAR für jedes Gebäude mithilfe eines vereinfachten Verfahrens bestimmt. Für den Heizwärmebedarf entspricht es im Wesentlichen dem TABULA-Standard-Verfahren nach Loga et al. (2015), einem Heizperiodenbilanzverfahren ähnlich zur DIN V 4108-6. Der Trinkwarmwasser-Wärmeverbrauch wird abhängig von der Warmwassermenge und Annahmen zur Temperaturdifferenz bestimmt. Über Emissionsfaktoren werden aus dem Endenergieverbrauch die Treibhausgas-Emissionen berechnet.

### **Zusammenwirken des Politik-Mix: Wirkmodell**

Zur Analyse der Wirkung von Politikmaßnahmen ist Building-STAR ein Wirkmodell „vorgeschaltet“. Das Wirkmodell dient dazu, die Wirkung einer politischen Intervention auf die Inputgrößen des Gebäudemodells abzuschätzen: v. a. Sanierungswahrscheinlichkeiten, Verteilung der Sanierungsmaßnahmen auf verschiedene Wärmeschutzniveaus, Verteilung der neu eingebauten Wärmeerzeuger. Grundlage der Wirkungsabschätzung ist eine Parametrisierung des zu untersuchenden Instruments bezüglich der relevanten Ausgestaltungscharakteristika (z. B. zur Verfügung stehendes Förderbudget eines Förderprogramms, Förderkonditionen, berechnete Antragsteller, Auslösetatbestände bei ordnungsrechtlichen Regelungen usw.).

Das Wirkmodell als Vorstufe von Building-STAR arbeitet in Abhängigkeit von der Instrumentenart mit einer Reihe verschiedener Wirkmechanismen, v. a. Wirtschaftlichkeitsvergleichen, Preiselastizitäten, Nutzenfunktionen, investorenspezifischen Entscheidungskalkülen, programmspezifischen Fördereffizienzen usw. Im Sub-Modul „Technisch-Ökonomische Modellierung von Investitionsentscheidungen (TÖMIE)“ erfolgen für ökonomische Instrumente Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Typgebäude- und Akteurebene, aus denen z. B. der infolge einer CO<sub>2</sub>-Bepreisung wirtschaftlich optimale Einbaumix von Wärmeerzeugern abgeschätzt wird. Dieser wird durch eine Validierung um nicht-ökonomische Faktoren korrigiert. Das Wirkmodell schätzt so die Wirkung eines Politikinstrumentes oder eines Instrumentenbündels auf die Inputparameter des Gebäudemodells ab (inkl. ihrer zeitlichen Entwicklung). In Building-STAR sind die darauf reagierenden Charakteristika des Gebäudebestands hinterlegt (z. B. zeitliche Dynamik zum Ende der technischen Lebensdauer von Wärmeerzeugern und Bauteilen).

Da in den verschiedenen Szenarien immer ein Bündel aus mehreren Instrumenten modelliert wird, müssen im Wirkmodell die Wirkungsüberschneidungen der verschiedenen Instrumente innerhalb des Bündels berücksichtigt werden (beispielsweise münden oftmals erst die Kombination aus einer Energieberatung sowie die Möglichkeit der finanziellen Förderung in eine Investitionsentscheidung zugunsten einer energetischen Gebäudesanierung; die CO<sub>2</sub>-Bepreisung ist ein wichtiger „Enabler“ für die finanziellen Fördermaßnahmen, insbesondere die steuerliche Förderung und die Bundesförderung für effiziente Gebäude, BEG). Im Wirkmodell werden diese Wechselwirkungen indikatorenbasiert abgeschätzt.



Mehr WWF-Wissen  
in unserer App.  
Jetzt herunterladen!



iOS



Android



Auch zugänglich  
über einen Browser



**Unser Ziel**

Wir wollen die weltweite Zerstörung der Natur und Umwelt stoppen und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Einklang miteinander leben.

**Unterstützen Sie den WWF**

IBAN: DE06 5502 0500 0222 2222 22

**WWF Deutschland**

Reinhardtstr. 18 | 10117 Berlin

Tel.: +49 30 311777-700

info@wwf.de | wwf.de