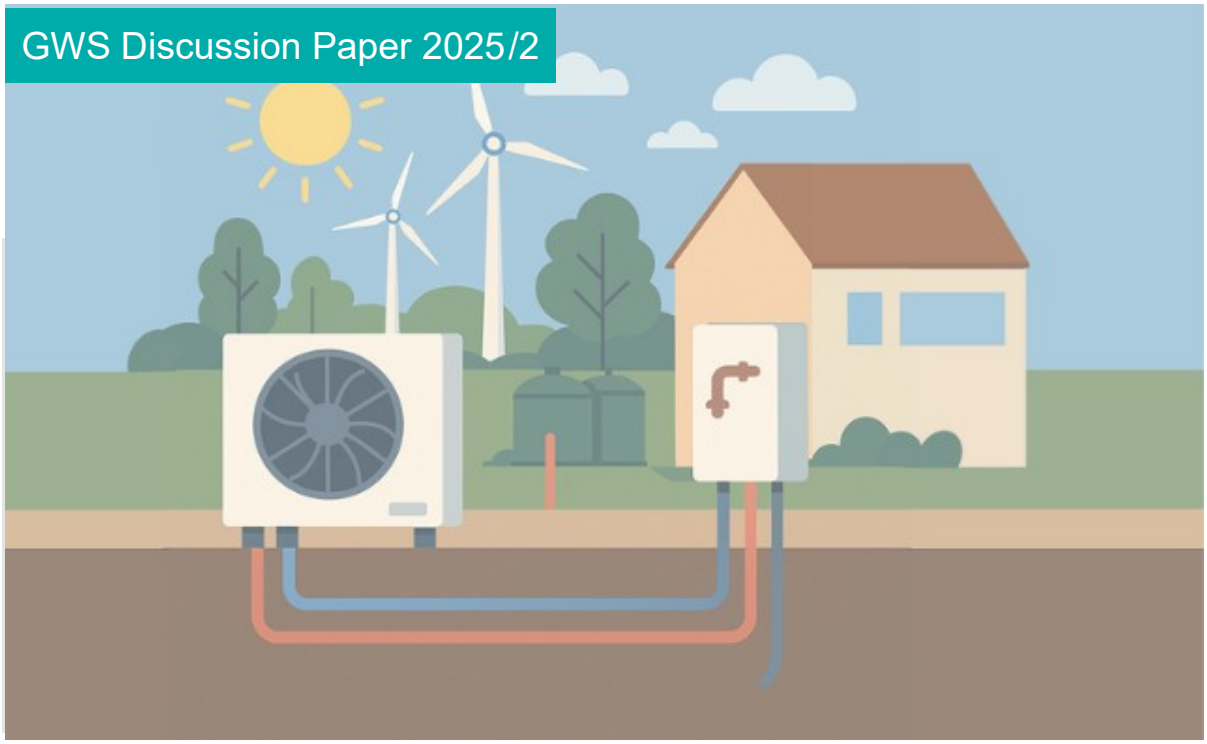
SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

GWS Discussion Paper 2025/2



Transformation der Wärmeversorgung

Modellgestützte Analyse mit PANTA RHEI

Katharina Hembach-Stunden
Britta Stöver
Philip Ulrich

Impressum

Autor:innen

Dr. Katharina Hembach-Stunden

Tel.: +49 (0) 541 40933-220, E-Mail: hembach-stunden@gws-os.com

Dr. Britta Stöver

Tel.: +49 (0) 541 40933-250, E-Mail: stoever@gws-os.com

Philip Ulrich

Tel.: +49 (0) 541 40933-200, E-Mail: ulrich@gws-os.com

mit Unterstützung der studentischen Mitarbeiterin Clara Hirsch

Titel

Transformation der Wärmeversorgung: Modellgestützte Analyse mit PANTA RHEI

Veröffentlichungsdatum

© GWS mbH Osnabrück, Dezember 2025

Förderhinweis

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekts „Info_EW – Datenbasierte Informationssysteme für kommunale Entscheidungsträger zur Abschätzung der sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen von Energiewende und Strukturwandel; TV: Modellgestützte Analyse und Entwicklung eines Dashboards“ (Förderkennzeichen: 03EI5248A) erarbeitet.

Haftungsausschluss

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

Herausgeber

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Zusammenfassung

In dieser Studie werden die gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Wirkungen der Wärmewende auf Basis einer Szenario-Analyse im makroökonomischen Modell PANTA RHEI analysiert. Eine aktualisierte Energiemodulstruktur wird mit einem erweiterten Investitions- und Technologieannahmenset für Wärmepumpen und Fernwärme verknüpft, um die quantitativen Auswirkungen auf Bruttoinlandsprodukt und sektorale Beschäftigung im Zeitraum 2030 bis 2045 abzubilden.

Die Modellerweiterungen bilden den technologischen Übergang im Gebäudesektor explizit ab: Für Wärmepumpen wird ein stock-flow-Ansatz implementiert, der Anlagenbestand, Austauschdynamik und jährliche Zubaugrenzen berücksichtigt. Für Fernwärme werden technologieabhängige Wärmeerzeugungspfade und Netzausbaulogiken integriert, darunter die Substitution fossiler KWK-Anlagen durch Großwärmepumpen, Geothermie und Power-to-Heat. Strom- und Wärmenachfrage werden technisch und bilanziell getrennt modelliert.

Die Analyse vergleicht zwei Transformationspfade der Wärmewende – geringe und hohe Ambition – mit einem Referenzszenario. Im Szenario hoher Ambition entstehen die stärksten Beschäftigungseffekte im Jahr 2030: Hoher Investitionsdruck, beschleunigter Wärmepumpeneinbau und intensiver Fernwärmeausbau führen zu deutlichen positiven Ausschlägen im Baugewerbe, in industriellen Vorleistungsbranchen sowie in Planung und technischen Dienstleistungen (+ 5 Tsd. Personen gegenüber Referenz).

Das Szenario geringer Ambition treten die größten Abweichungen erst 2035 auf. Die verzögerte Investitionsdynamik reduziert die Beschäftigung um 7 Tsd. Personen, insbesondere im Baugewerbe, verarbeitenden Branchen sowie wirtschaftlichen Dienstleistungen. Die systemischen Rückwirkungen geringerer Investitionen auf Konsum und Vorleistungsnachfrage verstärken diese Effekte. Einzelne dienstleistungsorientierte Sektoren weisen zwar positive Abweichungen auf, die aggregierten negativen Beschäftigungswirkungen werden jedoch nicht kompensiert.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass die Wärmewende begrenzte, aber robuste sektorale Anpassungen ermöglicht und ökonomisch tragfähige Transformationspfade eröffnet, wobei sich die Transformationslasten zeitlich unterschiedlich verteilen: Hohe Ambitionen erzeugen kurzfristige Spitzen mit sektoralen Verschiebungen, führen aber zu einer früheren und stabileren sektoralen Anpassung. Geringe Ambitionen verschieben die Lasten zeitlich nach hinten und erzeugen stärkere mittelfristige Belastungen. Die zentrale systemische Differenz ergibt sich aus der Interaktion von Investitionspfad, Wärmepumpen-Kappungsgrenze und der Geschwindigkeit, mit der Fernwärmenetze dekarbonisiert und ausgebaut werden.

Die Wärmewende ist ein zentrales Handlungsfeld auf dem Weg zur Klimaneutralität. Ein ambitionierter Ausbau wirkt gesamtwirtschaftlich positiv, getragen von höheren Investitionen und der Verringerung fossiler Importe. Künftig sollen die nationalen Ergebnisse in das regionalökonomische Modell RIMES übertragen werden, um regionale Beschäftigungs-, Einkommens- und Wertschöpfungseffekte auf Kreisebene abzuleiten. Über das im Projekt „Info-EW“ entstehende Dashboard werden diese Ergebnisse dann regionalen Entscheidungsträger:innen zugänglich gemacht und damit die evidenzbasierte Weiterentwicklung lokaler und regionaler Strategien unterstützt.

Das Discussion Paper im Überblick

Zusammenfassung **3**

1 Wärmewende in Deutschland **1**

1.1 Politische Rahmenbedingungen 1

1.2 Status Quo der technologischen Umsetzung 1

1.3 Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung von Wärmebedarf und Angebotsstruktur 4

2 Abbildung der Wärmewende in PANTA RHEI **9**

2.1 Umsetzung der Wärmewende im Modell 10

2.2 Das Referenz-Szenario 11

3 Szenario-Analyse: Wenig vs. hoch ambitionierte Wärmewende **16**

3.1 Szenario-Design 16

3.2 Szenario-Ergebnisse 19

4 Diskussion **26**

5 Ausblick **28**

Literaturverzeichnis **30**

1 Wärmewende in Deutschland

Die Wärmewende ist ein zentrales Element der deutschen Energiewende: Wärme (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) macht mehr als die Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs Deutschlands aus (UBA 2025). Gleichzeitig liegt der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärme- und Kälteversorgung bei aktuell rund 18,1 Prozent (AEE 2025, Stand 2024). Diese Diskrepanz verdeutlicht, dass der Sektor Wärme nicht nur mengenmäßig bedeutend ist, sondern zugleich von einem wachsenden Transformationsbedarf geprägt ist (Engelmann et al. 2021; Pabst et al. 2025; Braungardt & Kasten 2025).

1.1 Politische Rahmenbedingungen

In der politischen Debatte stehen gegenwärtig zwei Instrumente im Fokus: das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und das Wärmeplanungsgesetz (WPG), das eine verbindliche kommunale Wärmeplanung vorsieht (bpb 2023). Das WPG wurde zum 1. Januar 2024 wirksam und verknüpft die Pflicht zur kommunalen Wärmeplanung mit dem GEG, insbesondere mit der 65 Prozent-Regel, nach der bei Heizungsneubau oder -ersatz ein Anteil erneuerbarer Energien von mindestens 65 Prozent einzuhalten ist. Damit wird deutlich: Die Transformation des Wärmesektors ist nicht nur eine technologische Herausforderung, sondern zugleich eine Frage räumlicher Steuerung, Governance und kommunaler Handlungsspielräume.

Darüber hinaus ist die politische Diskussion geprägt durch Fragen der Wirtschaftlichkeit, der sozialen Verträglichkeit und des Mehraufwands für Gebäudeeigentümer:innen und Kommunen. So fördert der Bund die Erstellung von Wärmeplänen mit 500 Mio. Euro und beabsichtigt Änderungen im Bauplanungsrecht, um kommunale Umsetzungshemmnisse zu reduzieren (hib 2023). Gegner:innen und Kritiker:innen wiederum fordern eine Überprüfung oder Abschaffung des GEG bzw. eine stärkere Ausrichtung auf technologieoffene Ansätze, was im Parlament bereits Gegenstand von Anträgen und Debatten ist (Deutscher Bundestag 2023).

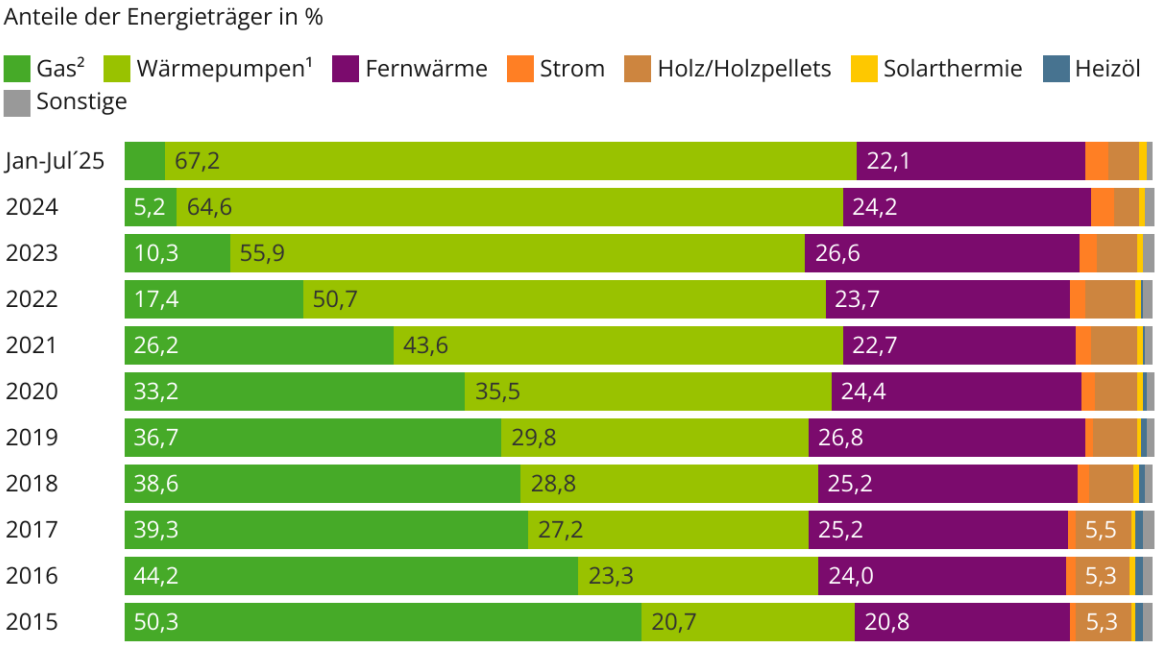
Durch die gesetzlich verankerte kommunale Wärmeplanung wird ein Rahmen geschaffen, in dem lokale Potenziale, Infrastrukturen und Nachfrageentwicklungen aufeinander abgestimmt werden können. Gleichzeitig bleibt die Frage offen, in welchem Tempo und Umfang der Umstieg auf Wärmepumpen, Fernwärme und andere erneuerbare Optionen gelingen kann – und welche ökonomischen, sozialen und regionalen Auswirkungen dies mit sich bringt. In vielen der bereits veröffentlichten Wärmepläne wird Fernwärme als Ausbaustrategie genannt, so dass der durchschnittliche Anteil von Wärmenetzen an der Wärmeversorgung in den Zieljahren 2040/2045 auf rund 37 Prozent anwachsen soll (Ammon & Thiele 2025).

1.2 Status Quo der technologischen Umsetzung

Der Umbau der Wärmenutzung in privaten Haushalten vollzieht sich zunehmend über den Einsatz von Wärmepumpen und Fernwärme. Besonders deutlich zeigt sich dieser Trend im Neubau: Nach Angaben des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft

(BDEW) waren zuletzt (Stand: Oktober 2025) mehr als 65 Prozent der neu installierten Heizungssysteme Wärmepumpen, gefolgt von Fernwärmeanschlüssen mit rund 22 Prozent auf dem zweiten Platz (s. Abbildung 1, BDEW 2025a). Getrieben wird diese Entwicklung unter anderem auch durch gesetzliche Vorgaben aus dem GEG, die den Einsatz erneuerbarer Energien im Neubau verpflichtend machen.

Abbildung 1: Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau (Baugenehmigungen, 2015 – 2025)



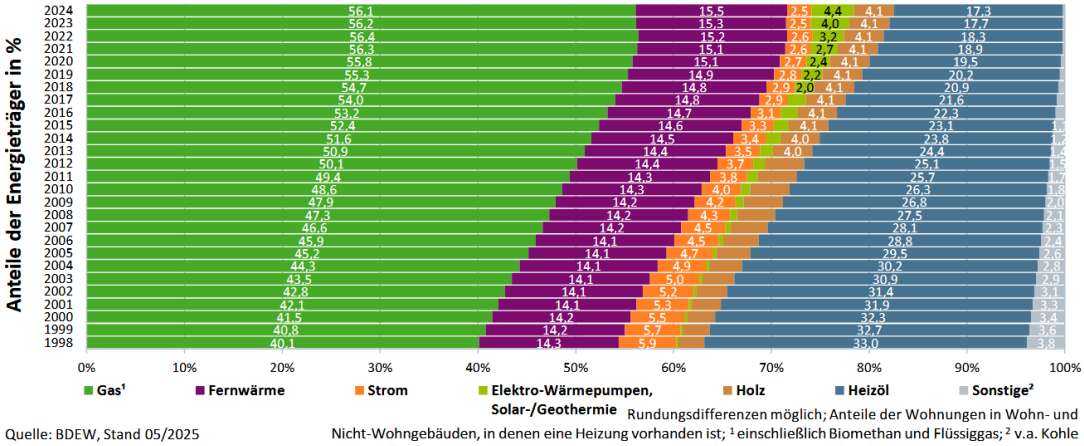
zum Bau genehmigte neue Wohnungen; primäre Heizenergie
[1] Geothermie und sonstige Umweltthermie
[2] einschließlich Biomethan

Stand: 10/2025

Quelle: Berechnungen des BDEW auf Basis der Statistischen Landesämter, BDEW 2025a

Im Wohnungsbestand geht der Wandel langsamer voran (s. Abbildung 2): Über die Hälfte (56,1 Prozent) und damit der größte Anteil der 43,5 Mio. Wohnungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden, in denen eine Heizung vorhanden ist, werden mit Gas (inkl. Biomethan und Flüssiggas) beheizt (BDEW 2025b). Der zweitgrößte Anteil im Bestand wurde 2024 mit Heizöl betrieben (17,3 Prozent), ausgehend von 33,0 Prozent im Jahr 1998 ging dieser Anteil kontinuierlich zurück. Fernwärme, die zu überwiegend aus fossilen Quellen gewonnen wird (69 Prozent; AGFW 2024), versorgt 15,5 Prozent der Wohnungen. Der Anteil der Elektro-Wärmepumpen, Solar- und Geothermie ist bis 2024 auf 4,4 Prozent gestiegen (BDEW 2025b).

Abbildung 2: Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestands in Deutschland (1998 – 2024), in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden; Heizung vorhanden; Anteile der genutzten Energieträger



Quelle: BDEW (2025b)

Seit 2022 deutet sich ein struktureller Kipppunkt im Wärmemarkt an: Erdgasheizungen haben 2022 ihren Höchststand von 56,4 Prozent überschritten und seitdem ist der Anteil leicht gesunken, so dass ein Plateau erreicht wurde. Der Beginn einer nachhaltigen Transformation der Wärmeversorgung zeichnet sich ab (BDEW 2025b).

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die Szenarioeinstellungen im nationalen makroökonomischen Modell PANTA RHEI erläutert. Die Spezifizierung der Szenario-Annahmen wurde im Rahmen des BMWE-Forschungsprojekts "*Info-EW: Datenbasierte Informationssysteme für kommunale Entscheidungsträger zur Abschätzung der sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen von Energiewende und Strukturwandel – Modellgestützte Analyse und Entwicklung eines Dashboards*" (www.info-ew.de) vorgenommen.

Ziel ist es, die Wirkungen unterschiedlicher Ausprägungen der Wärmewende, von ambitionierten bis hin zu weniger ambitionierten Transformationspfaden, in einem gesamtwirtschaftlichen Kontext zu analysieren. Dabei werden die Annahmen zu Technologiepfaden, Investitionsdynamiken und Energiepreisentwicklungen systematisch abgebildet und in ihren Rückwirkungen auf zentrale makroökonomische Indikatoren (Bruttowertschöpfung, Beschäftigung und CO_2-Emissionen) untersucht.

In Kapitel 2 werden zunächst die Herleitung und Begründung der zentralen Szenario-Annahmen, insbesondere zu Wärmepumpen und Fernwärme, vorgestellt. Anschließend werden in Kapitel 3 nationale Ergebnisse der Szenarien-Analyse diskutiert, mit einem Vergleich zwischen einer ambitionierten und einer weniger ambitionierten Wärmewende sowie einer Referenzprojektion (Trendfortschreibung). In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Szenarien-Analyse diskutiert, bevor in Kapitel 5 ein Ausblick auf weitere Arbeiten und die Regionalisierung der Effekte auf Kreisebene mit dem Modell RIMES im Rahmen des Projekts "Info-EW" gegeben wird.

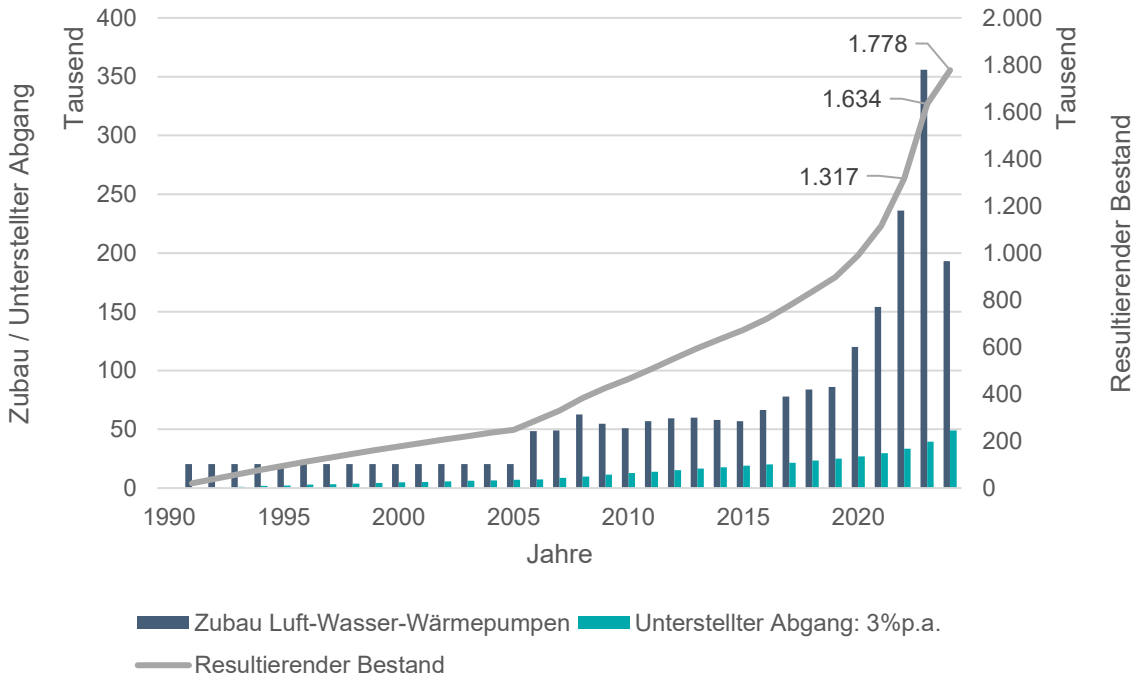
1.3 Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung von Wärmebedarf und Angebotsstruktur

Vor dem Hintergrund der historischen Entwicklungen auf dem Wärmemarkt werden nun mögliche zukünftige Entwicklungen betrachtet. Dabei stehen die beiden zwei Haupttechnologien, Wärmepumpen (Kapitel 1.3.1) und Fernwärmenetze (Kapitel 1.3.2), im Fokus. Im Folgenden werden spezifische Abschätzungen zur Marktdurchdringung, den technologischen Entwicklungen und den resultierenden Auswirkungen auf das Stromnetz und die Systemintegration dieser beiden zentralen Pfeiler der Wärmeversorgung analysiert.

1.3.1 Wärmepumpen

Abbildung 3 zeigt die historische Entwicklung des Wärmepumpenabsatzes in Deutschland seit 1990. Während der jährliche Zubau, insbesondere von Luft-Wasser-Wärmepumpen, in den letzten Jahren stark anstieg, bleibt der angenommene jährliche Abgang mit etwa drei Prozent des Bestands gering. Insgesamt führt dies zu einem deutlichen Wachstum des resultierenden Gesamtbestands auf rund 1,8 Mio. Wärmepumpen im Jahr 2024 (vgl. Abbildung 3). Der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) kommt in seinen Abschätzungen auf einen Feldbestand von rund 1,6 Millionen Heizungswärmepumpen (BWP 2025b).

Abbildung 3: Historische Entwicklung Absatz Wärmepumpen und berechneter 3% Abgang



Quelle: BWP 2024, eigene Berechnung und Darstellung.

Nach einer sehr dynamischen Entwicklung bis 2023, ging der Absatz im Jahr 2024 um 46 Prozent gegenüber dem Vorjahr sehr deutlich zurück (BWP 2024). Laut BWP ist der Absatzrückgang vor allem auf Unsicherheiten bei der kommunalen Wärmeplanung und eine geringe Bekanntheit der Förderung zurückzuführen. Mit über 151 Tausend Förderzusagen stieg das Interesse zuletzt jedoch wieder deutlich, so dass der Verband bei stabilen

Bedingungen schon 2025 mit einer Markterholung rechnet (BWP 2025a) und ein Zubau von insgesamt 242.000 Tausend Wärmepumpen wahrscheinlich wird (BWP 2025c).

Auf der Grundlage der seit 1. Januar 2024 geltenden Rahmenbedingungen im Gebäudeenergiegesetz, Wärmeplanungsgesetz und der BEG-Heizungsförderung geht der BWP abhängig von der abwartenden Haltung der privaten Verbraucher:innen von einem Marktanteil der Wärmepumpen bis 2030 zwischen 70% und 85% aus (BWP 2025b). Dies entspricht einem Anstieg der jährlichen Absatzzahlen bis 2035 auf ca. 0.6 Mio. bis 1,1 Mio. Stück, was bis 2030, wie in Abbildung 4 zu erkennen, einen Bestand zwischen 3,5 Mio. und 5 Mio. Wärmepumpen bedeutet (BWP 2025b).

Abbildung 4: Projizierter Bestand an Wärmepumpen (2015 bis 2030)

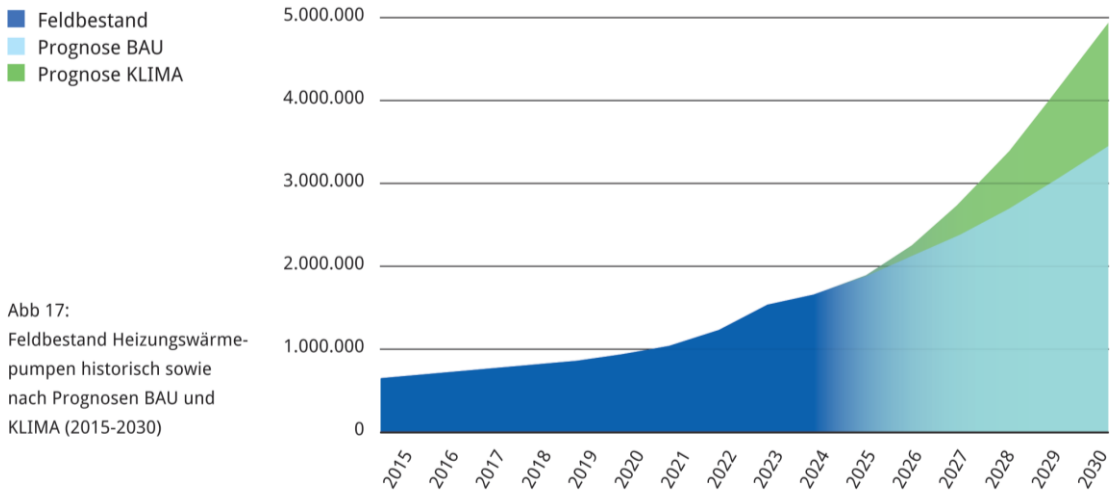


Abb 17: Feldbestand Heizungswärmepumpen historisch sowie nach Prognosen BAU und KLIMA (2015-2030)

Quelle: BWP 2025b, S. 22

Bezüglich der Anschaffungs- und Installationskosten ermittelte die Energieberatung der Verbraucherzentrale für 2025 einen zusätzlichen Preis für den Kauf und die Installation von Wärmepumpen von 19.000 Euro im Vergleich zu herkömmlichen Heizungsanlagen wie z.B. Gas und Öl-Heizungsanlagen (Verbraucherzentrale 2025). Mit einer stärkeren Marktdurchdringung kann unter Berücksichtigung der Inflation von einer Systemkostenreduktion bei den Ausrüstungsinvestitionen ausgegangen werden (Öko-Institut & Fraunhofer ISE 2022).

1.3.2 Fernwärme

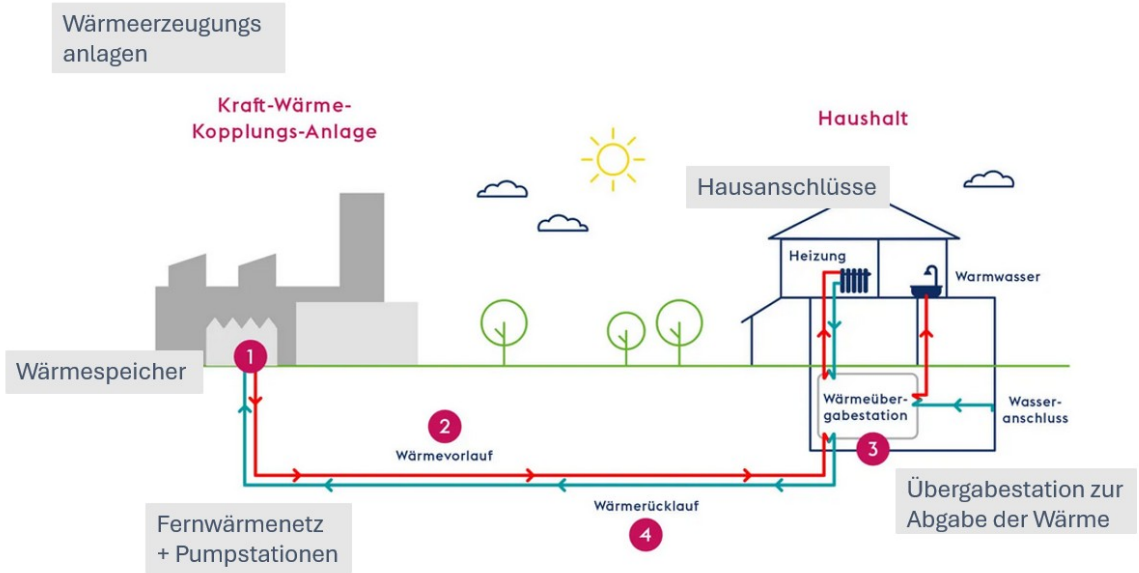
Neben den Wärmepumpen spielt die netzgebundene Fernwärme insbesondere bei der urbanen Wärmewende eine zentrale Rolle im Übergang zu einem klimaneutralen Gebäudebestand in Deutschland (Prognos 2024). Für den effizienten und klimaneutralen Einsatz von Fernwärme zur Objektversorgung sind zwei Aspekte zentral: (1) ein deutlicher Ausbau der Fernwärmenetze und (2) die gleichzeitige Umstellung der Fernwärmeerzeugung auf erneuerbare Energien (Prognos 2024; Agora Energiewende et al. 2024).

In Deutschland bestehen aktuell rund 3.800 Fernwärmenetze, die einen zentralen Bestandteil der leitungsgebundenen Wärmeversorgung bilden (AGFW 2024). Die Wärmeerzeugung in Fernwärmenetzen erfolgt in Deutschland überwiegend durch Kraft-Wärme-Kopplungs-

(KWK)-Anlagen, die im Schnitt rund 86 Prozent der eingespeisten Wärme bereitstellen. Neben KWK-Anlagen kommen jedoch zunehmend weitere Technologien zum Einsatz, darunter Heizkraftwerke, Blockheizkraftwerke, Power-to-Heat-Anlagen, industrielle Abwärmequellen sowie Müllverbrennungsanlagen. Zunehmend an Bedeutung gewinnen zudem Großwärmepumpen, die Abwärme aus Industrieprozessen oder thermische Energie aus Gewässern für die Wärmeversorgung nutzbar machen (AGFW 2024).

Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der Systemkomponenten in Fernwärmenetzen. Ausgehend von den Wärmeerzeugungsanlagen erfolgt die Verteilung der Wärme in Form von heißem Wasser oder Dampf, der über ein Netz von Rohrleitungen zu den Haushalten transportiert wird. Eine zentrale Rolle für den zukünftigen Betrieb der Netze spielen Wärmespeicher: Sie ermöglichen, Wärme zeitlich flexibel zu speichern und bedarfsorientiert wieder einzuspeisen. Dadurch kann die Fernwärmeversorgung perspektivisch nicht nur auf Nachfrageschwankungen, sondern auch auf Signale des Stromsystems reagieren und so einen wichtigen Beitrag zur Sektorkopplung und Systemintegration leisten (enercity 2025).

Abbildung 5: Systemkomponenten der Fernwärme



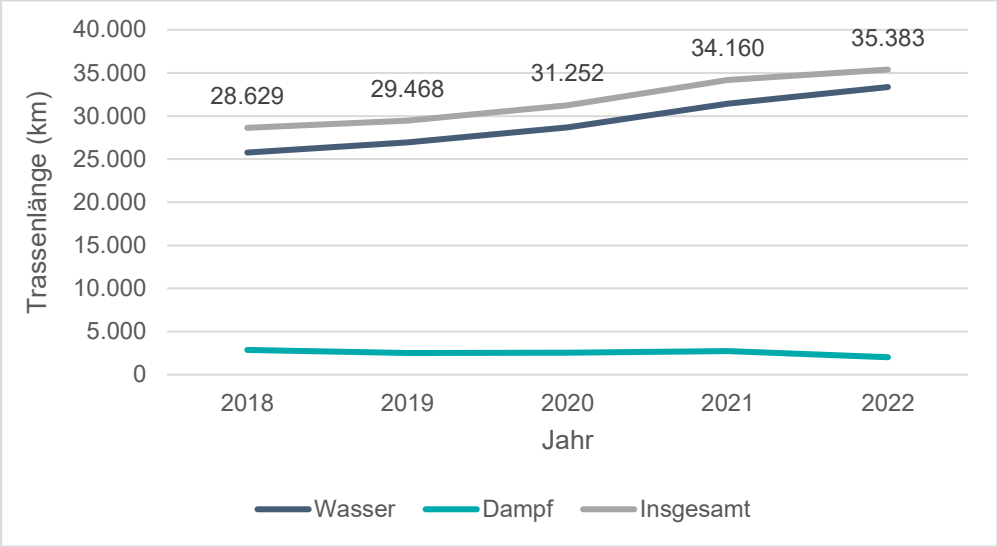
Quelle: enercity (2025), mit eigenen Ergänzungen

Abbildung 6 verdeutlicht die Entwicklung der Trassenlänge der Wärmenetze in Deutschland nach Wärmeträgern. Die Daten der statistischen Landesämter zeigen, dass sowohl die Anzahl als auch die Gesamtlänge der Netze in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen haben. Für das Jahr 2022 wurden 4.184 Wärmenetze erfasst, mit einer Gesamtlänge von 35.383 Kilometern, wovon über 92 Prozent auf Wassernetze entfielen (AGFW 2024).

Beim Vergleich der Jahreswerte ist zu berücksichtigen, dass die zunehmenden Längenangaben nicht ausschließlich auf einen realen Netzausbau zurückzuführen sind. Ein Teil des beobachteten Anstiegs resultiert aus einer besseren Datenerfassung und der Korrektur von Untererfassungen in früheren Jahren. Die dargestellten Werte in Abbildung 6 spiegeln somit

sowohl den tatsächlichen Ausbau der Netzinfrastruktur als auch die verbesserte statistische Erhebung wider.

Abbildung 6: Entwicklung der Trassenlänge der Fernwärmenetze (2018 bis 2022)



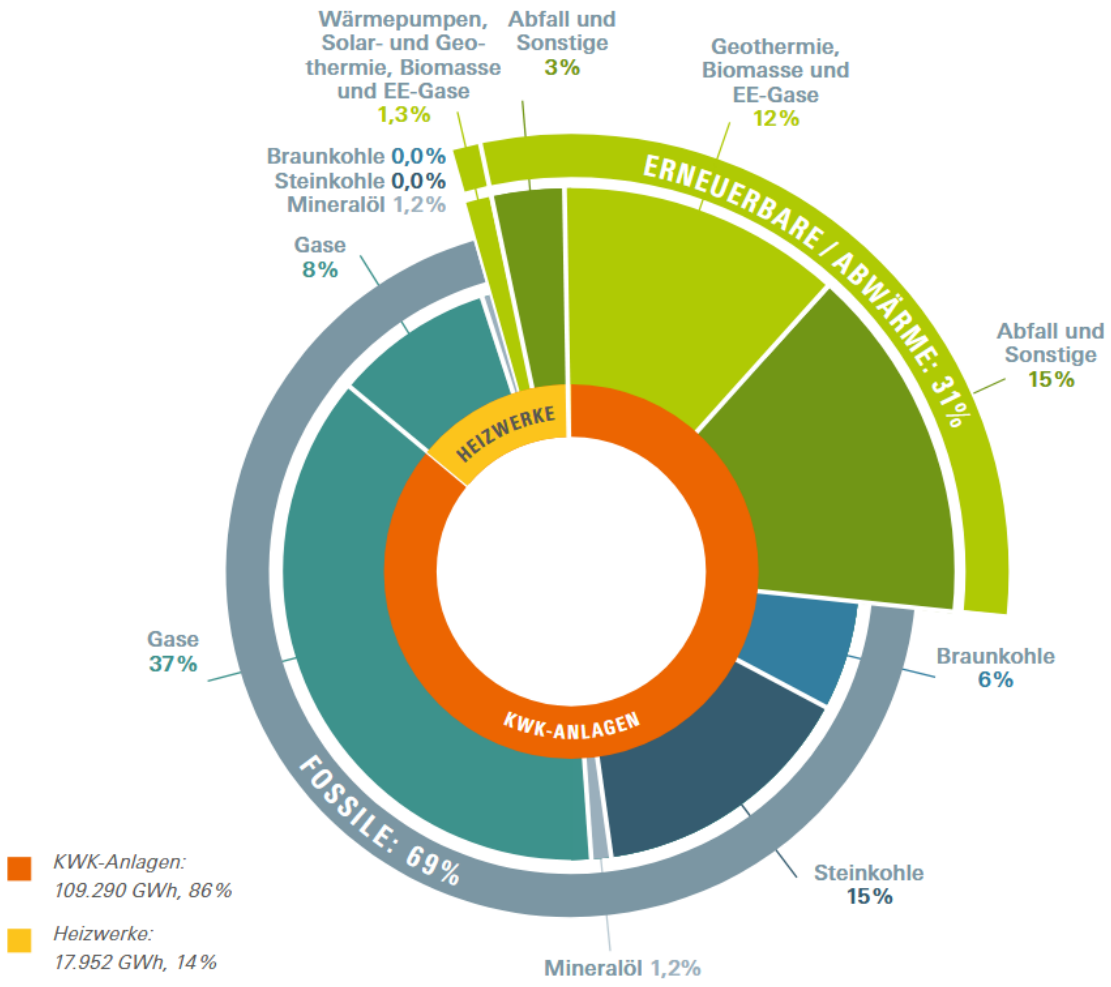
Quelle: AGFW Hauptbericht (AGFW 2024) basierend auf Daten der statistischen Landesämter, eigene Darstellung.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung der eingesetzten Energieträger zur Wärmeerzeugung in deutschen Wärmenetzen. Es wird zwischen fossilen und erneuerbaren Energieträgern unterschieden. Zudem wird nach den Erzeugungstechnologien für Fernwärme gegliedert: Etwa 86 Prozent der Wärme (109 TWh) werden in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) erzeugt, während Heizwerke rund 14 Prozent (17 TWh) beisteuern (AGFW 2024).

Der überwiegende Anteil der Wärme wird weiterhin aus fossilen Quellen gewonnen, die zusammen rund 69 Prozent der Erzeugung ausmachen (AGFW 2024). Die restlichen 31 Prozent stammen aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme. Innerhalb dieser Gruppe sind insbesondere Abfall und sonstige Quellen mit 15 Prozent im Bereich der KWK-Anlagen und 3 Prozent bei den Heizwerken vertreten (insgesamt 18 Prozent). Geothermie, Biomasse und erneuerbare Gase sind mit 12 Prozent bei den KWK-Anlagen vertreten. Im Bereich der Heizwerke decken Wärmepumpen gemeinsam mit Solar- und Geothermieanlagen, Biomasse und erneuerbare gasförmige Energieträgern einen geringen Anteil von rund 1 Prozent (AGFW 2024).

Obwohl die Nutzung von Abfall zur Wärmeerzeugung zur Vermeidung von Deponierung und zur Nutzung vorhandener Energiepotenziale beiträgt, ist sie problematisch im Hinblick auf die langfristige Klimaneutralität. Die im Abfall enthaltenen fossilen Anteile, insbesondere Kunststoffe, führen zu CO_2-Emissionen, sodass diese Wärmequelle nicht vollständig erneuerbar ist und künftig schrittweise durch klimaneutrale Alternativen ersetzt werden muss.

Abbildung 7: Wärmeerzeugung für Wärmenetze nach Energieträgern in Deutschland, 2022



Quelle: AGFW Hauptbericht (AGFW 2024)

Für die Dekarbonisierung der Fernwärme ist der Einsatz von Wärmespeichern von zentraler Bedeutung. Wärmespeicher ermöglichen eine zeitliche Entkopplung zwischen Wärmeerzeugung und Wärmenachfrage, so dass flexibel auf Schwankungen im Stromsystem reagiert werden kann (Agora Energiewende et al. 2024). Insbesondere im Zusammenspiel mit Power-to-Heat-Anlagen oder Großwärmepumpen kann überschüssiger erneuerbarer Strom effizient in Wärme umgewandelt und zwischengespeichert werden. Auf diese Weise tragen Wärmespeicher dazu bei, Lastspitzen im Stromnetz zu glätten, CO_2-intensive Spitzenkessel zu vermeiden und die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien zu erleichtern. Die Kombination von Wärmenetzen, erneuerbarer Stromerzeugung und Speichern ist somit ein zentraler Baustein der Sektorenkopplung und ein entscheidender Schritt auf dem Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem (Agora Energiewende et al. 2024).

Der erforderliche Investitionsbedarf für den Aus- und Umbau der Fernwärme wird detailliert in der Studie „Perspektive der Fernwärme – 2024“ von Prognos (2024) dargestellt. In der genannten Studie wird ein kombiniertes Top-down-/Bottom-up-Verfahren zur Abschätzung des Investitionsbedarfs angewendet. So können die erforderlichen Investitionen in

Wärmeerzeugung, Netzausbau und Speichertechnologien unter den aktuellen politischen und technologischen Rahmenbedingungen bis 2045 quantifiziert werden (Prognos 2024).

Ausgangspunkt für die Studie war der Status quo der Fernwärmeerzeugung, der auf statistischen Daten, bestehenden Energiemodellen und dem Vorgängergutachten Perspektive der Fernwärme von 2020 (Hamburg Institut & Prognos AG 2020) basiert. Darauf aufbauend wurde ein Zielbild für die Jahre 2030 und 2045 entwickelt, das sich an den Pfaden der Studien „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Agora Think Tanks et al. 2024) und „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung – Roadmap 2040“ orientiert (Prognos AG 2020). Das Zielbild in Prognos (2024) beschreibt den zukünftigen Umfang und die Struktur der Fernwärmeerzeugung sowie den Beitrag erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme zur Dekarbonisierung der Wärmenetze.

Zur Abbildung der Vielfalt städtischer Wärmenetze wurde in Prognos (2024) ein typologischer Ansatz mit zehn Modellnetzen gewählt. Diese Typnetze repräsentieren unterschiedliche Stadttypen – von kleinen bis zu großen Städten – und unterscheiden sich in Wärmenachfrage, vorhandener Erzeugungsstruktur und Potenzialen erneuerbarer Wärmequellen. Für jedes Modellnetz wurden die jeweiligen Technologiemixe, Wirkungsgrade und Investitionskosten ermittelt und anschließend auf die bundesweite Fernwärmeversorgung hochgerechnet (Prognos 2024).

Die Kostenannahmen in Prognos (2024) basieren auf aktuellen Technologiedaten aus AGFW-Leitfäden, ifeu-/Prognos-Arbeitsgrundlagen und Studien von Agora Energiewende und Fraunhofer IEG. Berücksichtigt wurden Großwärmepumpen, Solarthermie, Geothermie, Biomasse, industrielle Abwärme, thermische Abfallbehandlung, Elektrodenkessel, Speicher und Wärmenetze. Die Investitionskosten wurden in Preisen von 2023 ausgewiesen und unter Annahme moderater Kostendegressionen bis 2045 fortgeschrieben (Prognos 2024).

Auf dieser Grundlage wurden in Prognos (2024) die jährlichen Investitionen und der Fördermittelbedarf bestimmt. Unterstellt wurde ein fortbestehendes Fördersystem analog zur Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) mit einem Investitionszuschuss von 40 Prozent sowie ergänzenden Betriebsbeihilfen zur Schließung der wirtschaftlichen Lücke gegenüber dezentralen Objektversorgungen. Die Berechnungen ergeben für den Zeitraum bis 2030 einen Investitionsbedarf von rund 43,5 Mrd. Euro, entsprechend etwa 6,2 Mrd. Euro pro Jahr. Bis zum Jahr 2045 werden dann weitere Investitionen von rund 74 Mrd. Euro erforderlich. Etwa 60 Prozent entfallen auf den Netzausbau und 40 Prozent auf Erzeugungsanlagen, Speicher und Anschlussleitungen. Der geschätzte Fördermittelbedarf liegt bei durchschnittlich 3,5 Mrd. Euro jährlich (Prognos 2024).

Mit diesem methodischen Ansatz werden in Prognos (2024) empirische Datengrundlagen, technologische Detailtiefe und energiepolitische Zielpfade zu einer konsistenten Quantifizierung des Transformationspfades der Fernwärme bis 2045 verbunden.

2 Abbildung der Wärmewende in PANTA RHEI

Das nationale Modell PANTA RHEI ist eine zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen erweiterte Version des Simulations- und Prognosemodells INFORGE (im Folgenden nur noch als PANTA RHEI bezeichnet; Becker et al. 2022; Lutz et al. 2021). Das Modell

dient der Bewertung von Wirtschafts-, Energie-, Klima- und Umweltpolitiken mit einem Zeithorizont bis 2050. Es folgt der INFORUM-Philosophie (Almon 1991) zur Erstellung von Bottom-up- und vollständig integrierten ökonometrischen Input-Output-Modellen. PANTA RHEI gehört wie CGE-Modelle (Computable General Equilibrium Models) zur Gruppe der input-output-basierten makroökonomischen Modelle, in denen Wechselwirkungen, indirekte Effekte und andere Interdependenzen auf einer hohen sektoralen Detailebene abgebildet werden (Becker et al. 2022; Stöver et al. 2022).

Im Gegensatz zu CGE-Modellen basiert PANTA RHEI jedoch nicht auf neoklassischer Theorie, sondern auf Ansätzen der Evolutionsökonomik. Durch die Abbildung von Einflussfaktoren und Wirkungsketten ermöglicht PANTA RHEI eine differenzierte Betrachtung komplexer (sozio-)ökonomischer Strukturen und Abhängigkeiten. Energieverbräuche der Wirtschaft, des Verkehrs und privater Haushalte wurden in physikalischen Einheiten integriert, eine Weiterentwicklung, die über die traditionellen ökonomischen Kernbuchungen hinausgeht (Becker et al. 2022; Lutz et al. 2021).

Im Modell PANTA RHEI wird der Energieverbrauch privater Haushalte nach Raumwärme, Warmwasser und sonstigen Anwendungen differenziert. Der Heizbedarf hängt vor allem von Baualter, Sanierungsstand und Heiztechnologie der Gebäude ab. Haushaltsgröße und Verhalten der Nutzer:innen beeinflussen zusätzlich den Verbrauch. Witterungseinflüsse werden über Gradtagszahlen berücksichtigt. Der daraus abgeleitete Endenergieverbrauch ist konsistent mit der Energiebereitstellung im Umwandlungsbereich verknüpft und ermöglicht die Analyse der Auswirkungen von Gebäudeeffizienz und Heizverhalten auf den Primärenergieeinsatz (Becker et al. 2022; Lutz et al. 2021).

Bisher wurden Transformationspfade der Wärmewende in PANTA RHEI nur vereinfacht modelliert (Zika et al. 2021; Ulrich et al. 2023; Mönnig et al. 2020), ausreichend für makroökonomische Abschätzungen, aber begrenzt in ihrer Detailtiefe. Angesichts der zunehmenden Komplexität und Dringlichkeit der Wärmewende erfordert ein realistisches Szenario-Design nun eine detailliertere Modellierung: mit spezifischen Pfaden für Wärmepumpen und Fernwärme unter Berücksichtigung von technologischen Parametern, wie z. B. Investitionskosten, Lebensdauer, Kapazitätsgrenzen, Kostenentwicklungen sowie infrastruktureller Restriktionen. Nur so lassen sich Rückwirkungen auf Investitionen, sektorale Verflechtungen und makroökonomische Indikatoren präzise analysieren.

Die neuen Einstellungen zur Wärmewende in PANTA RHEI berücksichtigen deshalb differenzierte Pfadoptionen für Wärmepumpen und Fernwärme, abgestützt auf aktuellen Daten zur Kostenentwicklung, zu Marktdynamiken und zu politischen Steuerungsinstrumenten. Diese spezifische Abbildung ist bedeutsam, weil die Wärmewende im Gebäudebereich starke Rückkopplungen zu anderen Sektoren erzeugt: Nur durch differenzierte Szenario-Annahmen lassen sich Wirkungen der Energiewende im Gesamtmodell (z. B. auf Bruttowertschöpfung, Beschäftigung, CO_2-Emissionen) zuverlässig quantifizieren und im Anschluss mit Modellen wie RIMES regionalisieren (Ulrich et al. 2025).

2.1 Umsetzung der Wärmewende im Modell

Die Szenario-Annahmen zur Wärmewende fokussieren sich auf den **Austausch von Heizungsanlagen im Bestand**, da der Einsatz von erneuerbaren Energien im Neubau

gesetzlich vorgegeben ist und dementsprechend bereits im Modell berücksichtigt wird. Die Rahmenbedingungen zu den Szenarien im Modell PANTA RHEI basieren auf Vorarbeiten, insbesondere aus der aktuellen QuBe-Basisprojektion (Zika et al. 2025).

Ausgehend vom Bestand an Wohngebäuden in Deutschland wird eine maximale Anzahl an Heizsystemen, die im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen im Bestand ausgetauscht werden, festgelegt. Der Wohngebäudebestand inkl. Nichtwohngebäuden mit Wohnraum in Deutschland lag im Mai 2022 bei rund 20 Millionen Wohngebäuden (dena 2024). Davon werden bereits 4,2 Prozent, sprich 840 Tausend Wohngebäude, mit Wärmepumpen und 6,6 Prozent, also 1,3 Mio. Wohngebäude, mit Fernwärme versorgt. Die Mehrheit wird weiterhin mit Gasheizungen beheizt (dena 2024). Wenn davon ausgegangen wird, dass eine Heizungsanlage rund 25 Jahre genutzt werden kann, werden im Zuge von Sanierungen im Bestand pro Jahr rund 800 Tausend Anlagen ersetzt. Dies entspricht in etwa dem Durchschnitt der letzten fünf Jahre (dena 2024).

Zur Aufteilung dieser 800 Tausend jährlich sanierten Heizungsanlagen auf verschiedene Technologien wird im Modell eine langfristige Entwicklung der Heizsystemstruktur, und damit auch der Aufteilung auf Wärmepumpen und Fernwärme, festgelegt. Dabei wird sowohl der Neubau als auch der Austausch im Gebäudebestand berücksichtigt. Auf Basis von Branchenanalysen und politischen Vorgaben wird angenommen, dass die jährliche Installationskapazität für Wärmepumpen begrenzt ist. Entsprechend wird eine Kappungsgrenze von 500 Tausend installierbaren Wärmepumpen pro Jahr angenommen. Dies entspricht sowohl den Zielvorgaben der Bundesregierung gemäß GEG 2023 als auch den Annahmen aus der UBA-Treibhausgas-Projektion 2024 (Deutscher Bundestag & Ausschuss für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen 2023; UBA 2024). Langfristig ergibt sich daraus, dass Wärmepumpen maximal 62,5 Prozent des jährlichen Bedarfs beim Austausch im Bestand decken können.

Der verbleibende Wärmebedarf soll langfristig überwiegend durch einen wachsenden Anteil an Fernwärme gedeckt werden. Da insbesondere Städte den Ausbau ihrer Netze sowie deren Umstellung auf erneuerbare Energien vorantreiben, ist ein deutlicher Ausbau erforderlich. Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung müsste der Fernwärmeanteil perspektivisch auf 37,5 Prozent steigen. In Kombination mit einer vollständigen Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung würde dieser Anteil die Voraussetzung für eine weitgehend klimaneutrale Wärmeversorgung erfüllen und läge damit rund 15 Prozentpunkte über dem heutigen Niveau im Neubau (dena 2024). Vergleichbare Projektionen zum Fernwärmeausbau weist auch die Basisanalyse kommunaler Wärmepläne des BBSR aus (Ammon & Thiele 2025). Als potenzielle klimaneutrale Wärmequellen kommen insbesondere Großwärmepumpen (z. B. Köln, Rheinenergie 2024), Solarthermieanlagen (z. B. Greifswald, LEKA MV 2023) sowie geothermische Systeme infrage.

2.2 Das Referenz-Szenario

Die Welt des Referenz-Szenario ist angelehnt an die QuBe Basisprojektion und bildet eine moderate, an den aktuellen politischen Zielpfad angelehnte Entwicklung ab (Zika et al. 2025; Maier et al. 2024). Es nimmt Bezug auf die zu beobachtende historische Entwicklung und empirisch abgeschätzte Verhaltensgleichungen sowie Einschätzungen anderer wissenschaftlicher Quellen.

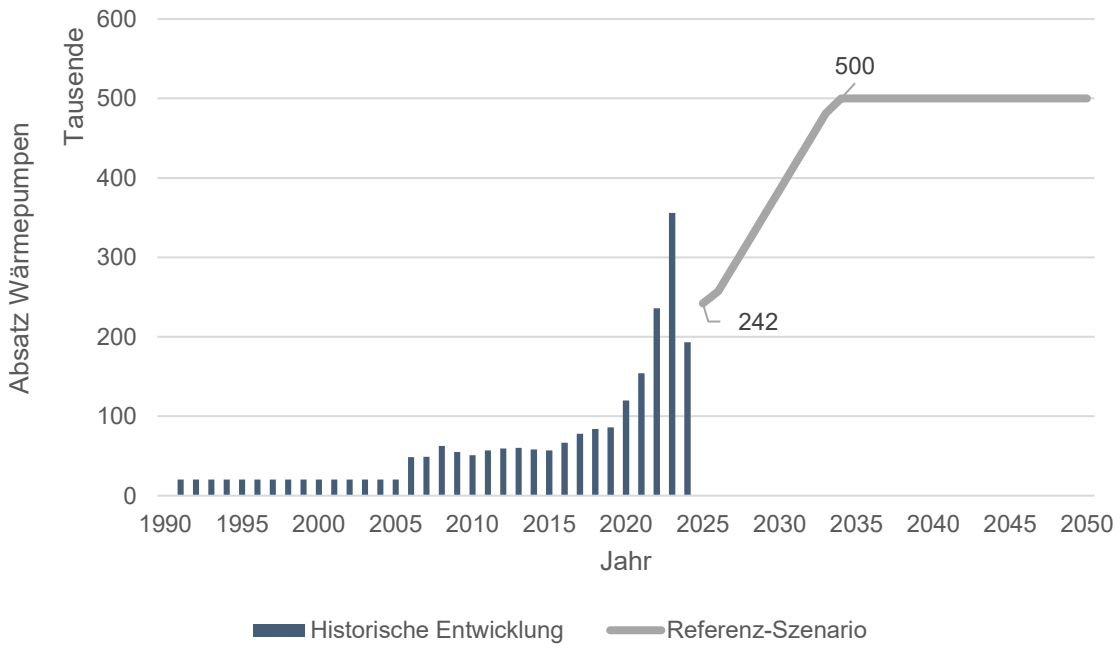
Das **Referenz-Szenario** bildet eine moderate, aber kontinuierliche Entwicklung ab. Die Wärmepumpen verzeichnen einen Anstieg der jährlichen Installationen von etwa 200 Tausend Geräten auf 500 Tausend Einheiten ab 2034, was einem stabilen Markthochlauf entspricht. Die Investitionen steigen parallel zum Markthochlauf kontinuierlich an und erreichen mit 6,2 Mrd. Euro im Jahr 2045 ein Maximum. Für die Fernwärme wird ein linearer Ausbau entlang des aktuellen Trends unterstellt. Damit steigen die Investitionen auf etwa 0,9 Mrd. Euro jährlich, was einer schrittweisen Verdichtung und Erweiterung der bestehenden Netze entspricht. Dieses Szenario steht für eine realistische Umsetzung der derzeit diskutierten Politikinstrumente und Förderbedingungen.

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des Referenz-Szenarios detailliert beschrieben.

2.2.1 Wärmepumpen: Annahmen zu Bestandsentwicklung und Investitionen

Bezüglich der Wärmepumpen wird in der Referenz eine Verdopplung der Absatzdynamik (Neubau und Bestand) gegenüber dem Trend der letzten sieben Jahre (2017 – 2024) angenommen, sodass der jährliche Zuwachs an Wärmepumpen im Neubau und für den Austausch im Bestand bei 32 Tausend Anlagen liegt. Am aktuellen Rand wird der Zubau für das Jahr 2025 abweichend von der Regel auf insgesamt 242 Tausend Wärmepumpen angehoben, da der BWP von einer Markterholung ausgeht (BWP 2025c). Zugleich wird angenommen, dass der Gesamtabsatz (Neubau und Bestand) schrittweise auf eine Kappungsgrenze von 500 Tausend Anlagen pro Jahr anwächst, die ab 2034 erreicht und bis 2050 beibehalten wird (vgl. Abbildung 8).

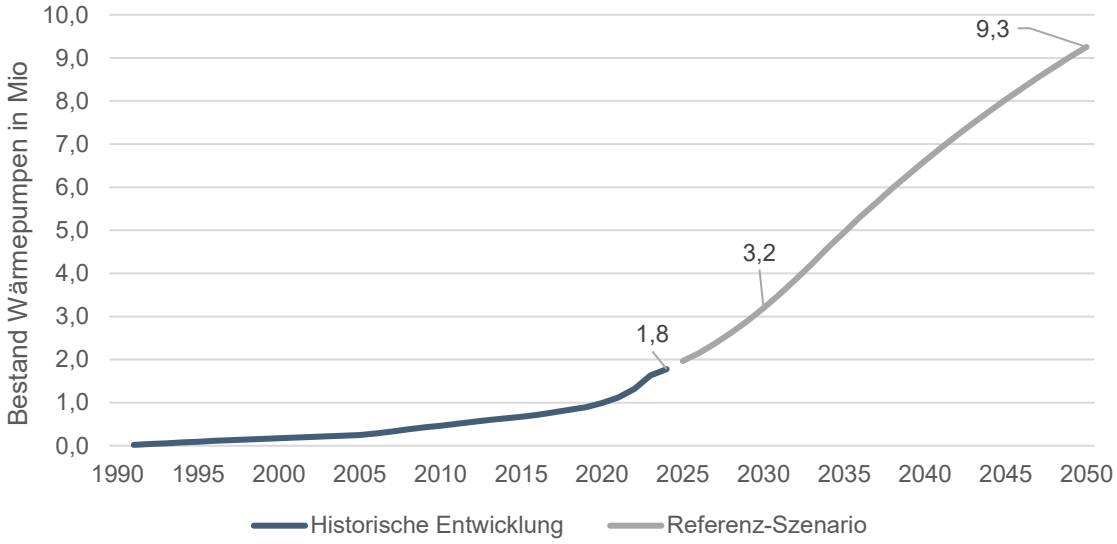
Abbildung 8: Jährliche Absatzzahlen der Wärmepumpen historisch (1990 bis 2024) und im Referenz-Szenario



Quelle: Historischer Verlauf (BWP 2025a); eigene Berechnung.

Die Abbildung 9 zeigt die Entwicklung des Wärmepumpenbestands in Deutschland von 1990 bis 2050. Nach einer moderaten Zunahme bis 2024 auf rund 1,8 Millionen Anlagen, steigt der Bestand im Referenz-Szenario bis 2030 auf rund 3,2 Millionen und bis 2050 auf rund 9,3 Millionen Anlagen an. Der Zwischenstand im Jahr 2030 ist vergleichbar mit den Entwicklungen in der Prognose Business-as-Usual-Szenario des BWP (BWP 2025b).

Abbildung 9: Entwicklung des Bestands an Wärmepumpen historisch (1990 bis 2024) und im Referenz-Szenario



Quelle: Historischer Verlauf (BWP 2025a); eigene Berechnung.

Neben der Anzahl der Wärmepumpen werden auch Annahmen zu den Anschaffungs- und Installationskosten getroffen, um eine monetäre Bewertung des Wärmepumpenausbaus vornehmen zu können. Ab 2025 wird ein zusätzlicher Preis für den Kauf und die Installation von Wärmepumpen von 19.000 Euro im Vergleich zu herkömmlichen Heizungsanlagen wie z.B. Gas und Öl-Heizungsanlagen unterstellt wie von der Energieberatung der Verbraucherzentrale ausgewiesen (Verbraucherzentrale 2025). Mit der stärkeren Marktdurchdringung wird bei den Ausrüstungsinvestitionen eine leichte Systemkostenreduktion von 0,5 % p.a. unterstellt. Allgemein steigen im Modell die Kosten jedoch entsprechend der gesamtwirtschaftlichen Preisentwicklung.

Abhängig von dem jährlichen Zubau an Wärmepumpen im Bestand werden Ausrüstungs- und Bauinvestitionen kalkuliert. Die preisbereinigten Gesamtkosten für Wärmepumpen steigen im Modell von rund 0,6 Mrd. Euro im Jahr 2025 auf ein Maximum von 5,2 Mrd. Euro im Jahr 2034 und gehen anschließend bis 2050 leicht zurück. Aufgrund der unterstellten Kostendegression von 0,5 Prozent pro Jahr verringern sich langfristig die erforderlichen Investitionen trotz eines konstanten jährlichen Zubaus von 288 Tausend Wärmepumpen im Bestand (bzw. insgesamt 500 Tausend Anlagen einschließlich Neubau). Die kalkulierten preisbereinigten Gesamtkosten werden etwa hälftig den Ausrüstungsinvestitionen und den Bauinvestitionen zugeordnet.

2.2.2 Fernwärme: Annahmen zu Investitionen in Netzausbau

Ausgehend von den Abschätzungen in Prognos (2024; Tabelle 1), vorgestellt in Kapitel 1.3.2, wurden die benötigten Gesamtinvestitionen bis 2045 berechnet und dann gleichmäßig auf die Jahre von 2025 bis 2045 verteilt. Es wird eine über die Jahre kontinuierliche Investition in die Fernwärme-Infrastruktur angenommen. Die Kosten für Wärmespeicher fließen vollständig in die Ausrüstungsinvestitionen. Die Kosten für Netzausbau und Anschlussleitungen werden je hälftig den Ausrüstungs- und Bauinvestitionen zugerechnet. Für das Referenz-Szenario in PANTA RHEI wird ein mittleres Niveau der Investitionen angenommen: Im Bereich der Ausrüstungsinvestitionen sind es rund 0,49 Mrd. Euro pro Jahr und im Bereich der Bauinvestitionen rund 0,43 Mrd. Euro pro Jahr.

Diese Werte liegen zwischen einem stagnierenden Ausbau (wenig ambitioniertes Szenario) und einem ambitionierten Szenario, dass nach Prognos (2024) die Zielerreichung anstrebt, was insgesamt deutlich höhere Investitionsraten von bis zu 2,7 Mrd. Euro pro Jahr erfordert. Details zu den Abstufungen der Szenarien werden in Kapitel 3.1 erläutert. Im Modell sind die Investitionen nicht direkt mit dem Netzausbau verknüpft, sondern spiegeln die implizite Annahme wider, dass ein Fernwärmeausbau für eine erfolgreiche Wärmewende und Erreichung der Klimaneutralität notwendig ist.

2.2.3 Änderungen im Energieverbrauch

Die Energiemodellierung in PANTA RHEI als Bestandteil des makroökonometrischen Modells INFORGE basiert auf einer detaillierten Integration der Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Diese Bilanzen bilden den zentralen Datensatz des Energiemoduls und sind im Modell durchgängig ab dem Jahr 1991 implementiert. Das Buchungssystem der Energiebilanzen ist in drei Teilbereiche gegliedert: die Primärenergiebilanz (Energieaufkommen), die Umwandlungsbilanz (Energieeinsatz, Umwandlungsausstoß und Eigenverbrauch) sowie die Endenergiebilanz (Energieverwendung). In der Endenergiebilanz wird der Verbrauch nach den Sektoren Industrie, Verkehr, private Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) differenziert. Die Industrie wird dabei weiter in 14 Wirtschaftszweige, der Verkehr in die vier Verkehrsträger Schiene, Straße, Luft und Schiff untergliedert. Insgesamt werden im Modell 30 Energieträger- bzw. Energieträgergruppen abgebildet (Lutz et al. 2021).

Ergänzt wird die Energiebilanz durch die Satellitenbilanz für erneuerbare Energien der AGEB, die eine Aufschlüsselung der in der Energiebilanz aggregierten erneuerbaren Quellen in zehn spezifische Energieträger ermöglicht. Damit lassen sich beispielsweise Windenergie und Photovoltaik getrennt modellieren. Für die Abbildung der Stromerzeugung werden die Wirkungsgrade stromproduzierender Kraftwerke aus dem Verhältnis von erzeugter Strommenge zu eingesetzter Energiemenge berechnet. Die erforderlichen Daten werden aus den Veröffentlichungen der AGEB (2021a, 2021b) übernommen.

Zur ökonomischen Bewertung werden die Energiemengen mit Energiepreisen verknüpft, die nach Verbrauchergruppen differenziert sind. Dabei werden private Haushalte, GHD und Industrie getrennt behandelt, da sich die Preisniveaus unter anderem aufgrund von Besteuerung, Abnahmemengen und Vertragsstrukturen unterscheiden. Hauptquellen sind Energiedaten des BMWi (2022), ergänzt um branchenspezifische Preisangaben, z.B. aus der Statistik der Kohlenwirtschaft (2022). Auf diese Weise erlaubt das Energiemodul in PANTA

RHEI eine konsistente Verknüpfung physischer Energieflüsse mit ihren ökonomischen Wirkungen, wodurch sektorale und gesamtwirtschaftliche Energieentwicklungen innerhalb von INFORGE abgebildet und analysiert werden können.

Wärmepumpen und Fernwärmeanlagen sind in der Energiebilanz schwer eindeutig zuzuordnen, da sie die klassischen Grenzen zwischen Primär-, Umwandlungs- und Endenergie aufbrechen. Bei Wärmepumpen wird Strom als Endenergie eingesetzt, um Umweltwärme nutzbar zu machen. Dadurch entstehen Herausforderungen bei der korrekten Erfassung von Energieeinsatz und -ertrag. Fernwärmeanlagen speisen sich zudem aus verschiedenen Quellen wie fossilen Brennstoffen, Abwärme, erneuerbaren Energien oder Strom aus Power-to-Heat, was die Zurechnung von Energieaufkommen und -verwendung komplex macht.

Die zunehmende Sektorkopplung zwischen Strom und Wärme führt dazu, dass Wärme nicht mehr eindeutig einem Energieträger zugeordnet werden kann, sondern als Ergebnis mehrerer Umwandlungsprozesse entsteht, ein Umstand, der die Modellierung und bilanzielle Konsistenz deutlich erschwert. Im Rahmen des Projekts „Info-EW“ wurde die Energiemodellierung aktualisiert, so dass Wärmepumpen und Fernwärme-Anlagen abbildbar sind.

Die Umsetzung der Wärmewende in der Projektion erfolgt über die Anpassung des Energieträgermixes im Endenergieverbrauch, wobei Wärmepumpen und aus erneuerbaren Energien generierte Fernwärme zentrale Rollen bei der Verdrängung fossiler Energieträger einnehmen. Im Haushaltsmodul werden Wärmepumpen als Substitution von Gas und Öl durch Strom aus erneuerbaren Quellen abgebildet; die zugehörige Umweltwärme wird über die Satellitenbilanz für erneuerbare Energien erfasst. Damit verschiebt sich der Endenergieverbrauch zunehmend von fossilen Brennstoffen zu Strom und klimaneutraler Wärme.

Die Fernwärme wird zusätzlich im Umwandlungssektor modelliert, wo Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung und Fernheizwerke auf Basis des zuletzt verfügbaren Energieträgermixes fortgeschrieben werden. Langfristig sinkt dort der Einsatz fossiler Energieträger zugunsten erneuerbarer Wärmequellen und Power-to-Heat-Technologien. Durch diese strukturelle Verschiebung in der Energieverwendung wird der fossile Primärenergieverbrauch reduziert und der CO_2-Ausstoß entsprechend gesenkt.

Annahmen zu Stromverbrauch und Umweltwärme der Wärmepumpen

Wärmepumpen nutzen elektrische Energie, um Umweltwärme aus Luft, Wasser oder Erdreich auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen und für Heizzwecke nutzbar zu machen. Der daraus resultierende Energiefluss setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: dem Stromverbrauch als Antriebsenergie und der genutzten Umweltwärme als erneuerbarer Energiequelle. In der nationalen Energiebilanz wird dieser Zusammenhang durch die getrennte Ausweisung von Stromverbrauch und Umweltwärme im Endenergiesektor „private Haushalte“ abgebildet (AGEB 2024; BMWK 2024). Beide zusammen ergeben die bereitgestellte Nutzwärme und bilden somit die Grundlage zur Abbildung des Wärmepumpenpfads im Modell.

Die Entwicklung des Wärmepumpenbestands bestimmt maßgeblich den zukünftigen Energieverbrauch im Gebäudesektor. Die Anzahl der zugebauten Anlagen wird über die passenden Verhältnisgrößen mit den installierten Kapazitäten und Wärmeproduktion verknüpft.

Das betrifft sowohl den zusätzlichen Strombedarf für den Betrieb der Anlagen selbst als auch den Umfang der genutzten Umweltwärme. Damit bildet der Ausbaupfad der Wärmepumpen eine zentrale Grundlage für die Abschätzung der zukünftigen Energieflüsse und Emissionen des Wärmemarkts im Modell.

Annahmen zur Fernwärme als Energieträger

Im Modell werden dem Ausbaupfad für Technologien folgend die Mengen an erneuerbaren Energien als Umwandlungseinsatz in Heizkraft- und Fernheizwerken sukzessive erhöht. In der Folge wird der Umwandlungseinsatz für fossile Energieträger wie Erdgas und Mineralöle schrittweise verdrängt. Je nach Entwicklung des Fernwärmeverbrauchs und Ausbaupfads der erneuerbaren Energien wird damit bis 2045 ein bestimmter Dekarbonisierungsgrad der Fernwärmeproduktion erreicht.

Die Entwicklung in PANTA RHEI orientiert sich an den Projektionen in Prognos (2024). Dabei wird unterstellt, dass der Beitrag erneuerbarer Energien zur Fernwärmeerzeugung bis 2050 gegenüber dem heutigen Niveau stark zunimmt. Im Klimaneutralitäts-Szenario aus Prognos (2024) wird der Anteil von fossilen Energieträgern in der Fernwärmeerzeugung bis 2045 auf rund 17,5 Prozent verringert. Angelehnt daran wird durch Energieträgersubstitution und den Ausbau von Geothermie, Solarthermie und Großwärmepumpen für das Referenz-Szenario eine Reduktion des fossilen Anteils auf rund 25 Prozent im Jahr 2045 erreicht.

3 Szenario-Analyse: Wenig vs. hoch ambitionierte Wärmewende

Im Projekt „Info-EW“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, wird unter anderem die Bandbreite möglicher Transformationspfade in der Wärmewende systematisch bewertet. Dies hilft lokalen Stakeholder:innen zu bewerten, was zum Beispiel ein zögerliches Umsetzen der Wärmepläne bedeuten könnte und gibt ihnen so eine Informations- und Argumentationsgrundlage für ihr Handeln. Dazu nutzen wir die Szenario-Technik, indem ein Szenario mit wenig ambitionierter Wärmewende sowie eines mit hoch ambitionierter Wärmewende jeweils der Entwicklung im Referenz-Szenario gegenübergestellt werden. Dadurch lässt sich die Bandbreite möglicher Transformationspfade systematisch einordnen und sowohl die Folgen eines verzögerten Umstiegs auf erneuerbare Wärmeerzeugung als auch die Effekte eines beschleunigten, politisch forcierten Ausbaus betrachten.

Rahmenannahmen zum Beispiel zum Ausbau der erneuerbaren Energien und CO_2-Emissionspreisentwicklungen sind in allen Szenarien gleich, um den Fokus auf die Handlungsebene der Wärmewende zu legen. Der Vergleich der Wärmewende-Szenarien zeigt, wie stark sich die unterschiedlichen Ambitionslevel in der Umsetzung der Wärmewende ceteris paribus auf Größen wie das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung auswirken.

3.1 Szenario-Design

Das in Kapitel 2.2 beschriebene Referenz-Szenario bildet die Ausgangsbasis für die Abschätzung und Bewertung zweier möglicher anderer Entwicklungen: einem weniger ambitionierten Pfad in der Umsetzung der Wärmewende und einem hoch ambitionierten Pfad. Das **wenig ambitionierte Szenario** beschreibt einen fortgesetzten, aber schleppenden

Ausbaupfad mit anhaltender Dominanz fossiler Heizsysteme. Das **hoch ambitionierte Szenario** steht für einen konsequenten und frühzeitig beschleunigten Umbau der Wärmeversorgung auf nahezu vollständig erneuerbare Energieträger bis 2050.

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Annahmen zu Wärmepumpen und Fernwärme. Die Annahmen zur Umsetzung der Wärmewende unterscheiden sich in den drei Szenarien hinsichtlich der Geschwindigkeit des Markthochlaufs der Wärmepumpen und der davon abhängigen Investitionen, sowie der Investitionen in den Ausbau und in der Umstellung der Fernwärmenetze auf erneuerbare Energien deutlich.

Tabelle 1: Überblick über die zentralen Annahmen der drei Szenarien

Szenario-Design				
		Weniger ambitioniert	**Referenz (medium)**	**Mehr ambitioniert**
Wärmepumpen	Ausbau	Langsamer Austausch, unterhalb Kappungsgrenze	Anstieg von 200.000 Stück auf 500.000/Jahr ab 2034	Kappungsgrenze bereits 2028 erreicht
	Investitionen	2,0 Mrd. €/Jahr	4,2 Mrd. €/Jahr	4,7 Mrd. €/Jahr
Fernwärme	Ausbau: Fernwärmeanteil am Endenergieverbrauch	Anteil stagniert	Linearer Anstieg (Trendfortschreibung)	Starker Anstieg
	Anteil fossiler Energieträger (2045)	31 %	25 %	20 %
	Investitionen	0,3 Mrd. €/Jahr	0,9 Mrd. €/Jahr	2,75 Mrd. €/Jahr

Anmerkung: Investitionen sind die durchschnittlichen Investitionen (preisbereinigt) pro Jahr bis 2050. Bei den Wärmepumpen entwickeln sich die jährlichen Investitionen abhängig von der Anzahl der eingebauten Wärmepumpen und der Kostendegression.

Im **weniger ambitionierten Szenario** verläuft der technologische Wandel vergleichsweise träge. Bei den Wärmepumpen bleibt der Austausch bestehender Heizsysteme deutlich hinter den technischen Potenzialen zurück. Die Anzahl der jährlichen Installationen insgesamt, im Neubau und Bestand, liegen über den gesamten Betrachtungszeitraum unterhalb der festgelegten Kappungsgrenze von 500 Tausend Einheiten. Die damit verbundenen jährlichen Investitionen (preisbereinigt) liegen durchschnittlich bei 2,0 Mrd. Euro und erreichen 2040 einen Höchstwert von 2,65 Mrd. Euro. Auch bei der Fernwärme ist nur eine geringe Dynamik zu beobachten: Der Anteil am Endenergieverbrauch der Haushalte stagniert, und bleibt im gesamten Zeitraum von 2022 bis 2045 bei ca. 8 Prozent. Die jährlichen Investitionen bleiben mit jährlich 0,2 Mrd. Euro für Ausrüstungsinvestitionen und 0,1 Mrd. Euro Bauinvestitionen insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Dieses Szenario beschreibt damit einen Pfad, in dem regulatorische Unsicherheiten, hohe Investitionskosten und begrenzte Umsetzungskapazitäten den Fortschritt hemmen.

Im **ambitionierten Szenario** wird schließlich eine konsequente Wärmewende angenommen. Die Wärmepumpen erreichen ihre Kappungsgrenze bereits im Jahr 2028, womit der maximale Ausbaupfad frühzeitig ausgeschöpft wird. Die Investitionen (preisbereinigt)

steigen bis 2042 auf 6,2 Mrd. Euro pro Jahr und verbleiben bis 2045 auf hohem Niveau. Sie liegen durchschnittlich bei 4,7 Mrd. Euro im Jahr. Parallel dazu erfährt auch die Fernwärme einen starken Ausbau, der auf erhebliche Investitionen in die Netzinfrastruktur und eine umfassende Umstellung der Erzeugung auf erneuerbare Quellen zurückzuführen ist. Die jährlichen Investitionen erhöhen sich dabei auf 2,75 Mrd. Euro, wodurch der Anteil der leitungsgebundenen Wärmeversorgung deutlich wächst. Dieses Szenario beschreibt einen Pfad, der nur unter der Annahme starker politischer Steuerung, gezielter Fördermaßnahmen und hoher gesellschaftlicher Akzeptanz erreichbar ist.

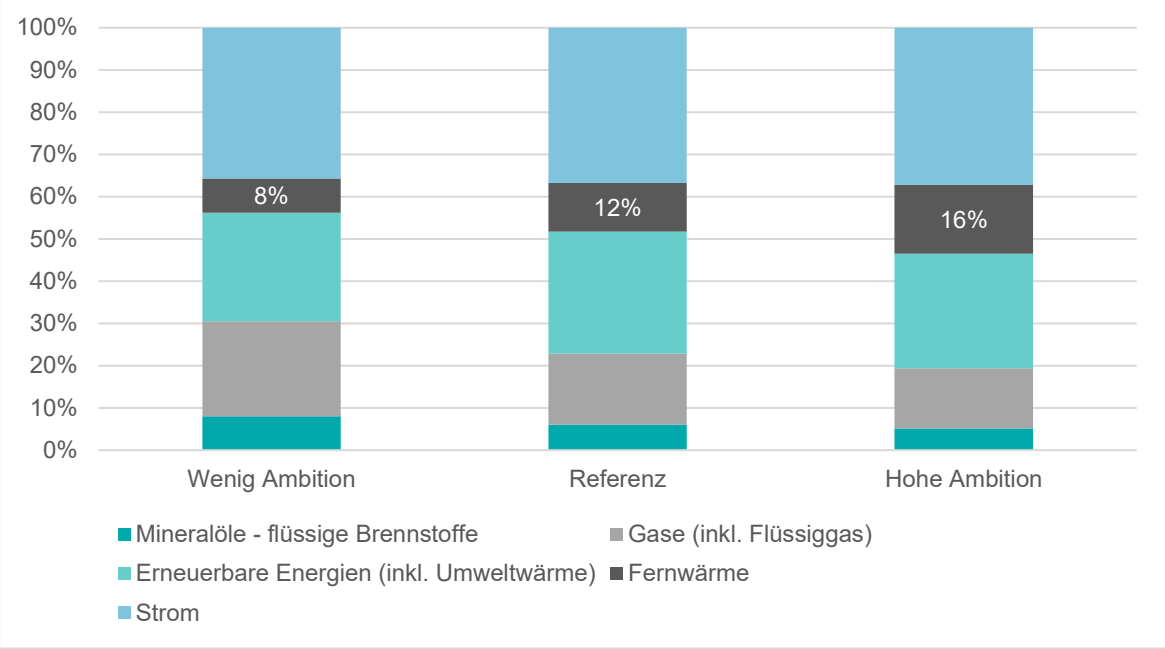
In den Szenarien der wenig ambitionierten und der hoch ambitionierten Wärmewende wird die **Entwicklung der Umweltwärme** in Abhängigkeit vom unterstellten Ausbau der Wärmepumpen angepasst. Mit zunehmender Verbreitung von Wärmepumpen steigt der Anteil der Umweltwärme im Endenergieverbrauch deutlich an. Im wenig ambitionierten Szenario verläuft dieser Anstieg jedoch deutlich langsamer als in der Referenz und im hoch ambitionierten Szenario. Bis zum Jahr 2050 erreicht die installierte thermische Leistung der Umweltwärme im wenig ambitionierten Szenario rund 43 GW, während sie im hoch ambitionierten Szenario bereits etwa 85 GW beträgt.

In allen drei Szenarien wird bei den privaten Haushalten Kohle als Energieträger ab 2035 nicht mehr verwendet. Darüber hinaus unterscheiden sich die drei Szenarien zur Wärmewende in den Annahmen zum Umbau der Fernwärmeversorgung deutlich hinsichtlich des Tempos und der technologischen Ausrichtung.

Im **wenig ambitionierten Szenario** erfolgt der Ersatz fossiler Energieträger nur schrittweise. Die Umstellung auf erneuerbare Energieträger und damit der Ausbau von Biogas-, Geothermie- und Solarthermieanlagen orientiert sich an den Entwicklungen der vergangenen sieben Jahre. Der Einsatz von Großwärmepumpen bleibt begrenzt (vgl. Tabelle 1). Der Anteil an Fernwärme im Energieträgermix stagniert bei rund 8 Prozent (vgl. Abbildung 10).

Im Gegensatz dazu schreitet im **hoch ambitionierten Szenario** die Substitution fossiler Energieträger deutlich schneller voran: Bis 2050 machen Gas und Öl nur noch rund 20 Prozent aus (vgl. Tabelle 1). Der Anteil der Fernwärme im Energieträgermix steigt dabei deutlich an, und liegt 2045 bei rund 16 Prozent (vgl. Abbildung 10). Die Beiträge von Biogas, Geothermie und Solarthermie zur Fernwärme verdoppeln sich gegenüber der Trendentwicklung, während der Einsatz von Großwärmepumpen auf etwa 80 GW_{th} ansteigt. Damit zeigt sich ein beschleunigter Wandel hin zu einer weitgehend elektrifizierten und dekarbonisierten Fernwärmeversorgung. Die Einbuchung in den Umwandlungseinsatz im Modell erfolgt so, dass angelehnt an das Klimaneutralitäts-Szenario (Prognos 2024), im Jahr 2045 erneuerbare Energien rund 80 Prozent an der Fernwärmeerzeugung übernehmen (vgl. Tabelle 1).

Abbildung 10: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte: Energieträgermix in den Szenarien, 2045



Quelle: Eigene Berechnungen.

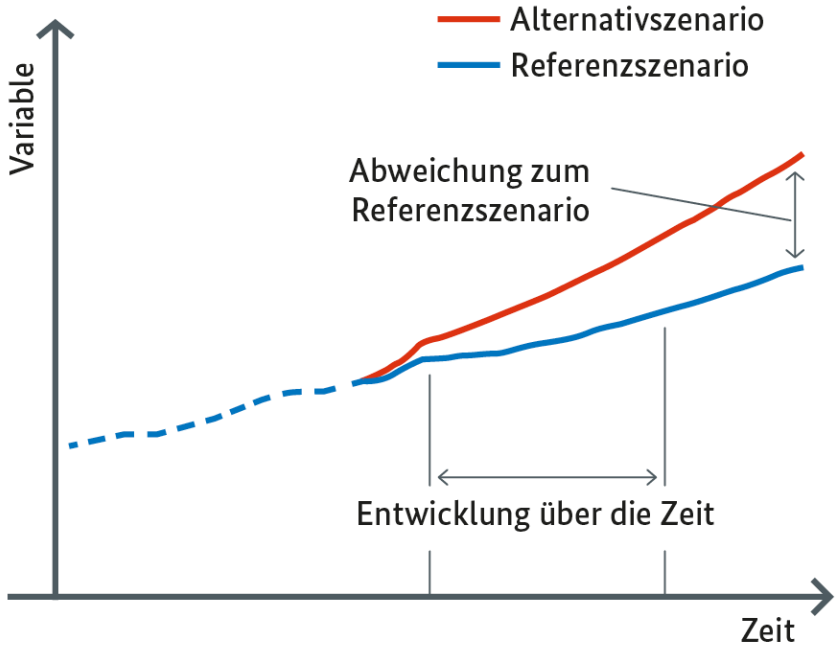
3.2 Szenario-Ergebnisse

Die Szenarioanalyse dient dazu, die Wirkungen unterschiedlicher Annahmen zur Wärmewende auf zentrale ökonomische Kennziffern sichtbar zu machen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Bruttowertschöpfung, die Beschäftigung, sowohl gesamtwirtschaftlich als auch detailliert nach 37 Wirtschaftszweigen differenziert. Das Vorgehen ermöglicht, die sektoralen Verflechtungen und Rückwirkungen einer veränderten Wärmepolitik innerhalb des gesamtwirtschaftlichen Modells nachvollziehbar zu quantifizieren.

Das Referenz-Szenario bildet die Fortführung der aktuellen Rahmenbedingungen und Investitionspfade ab. Im Vergleich dazu zeigen die beiden Alternativszenarien – eine wenig ambitionierte bzw. eine hoch ambitionierte Wärmewende – wie sich unterschiedliche Transformationsgeschwindigkeiten auf die wirtschaftliche Entwicklung auswirken.

Abbildung 11 illustriert dieses Prinzip: Während das Referenz-Szenario (blau) den Basisverlauf der betrachteten Variablen beschreibt, zeigt das Alternativszenario (rot) die Abweichung infolge veränderter Annahmen, etwa höherer Investitionsraten und schnellerer Technologieumstellung. Die Differenz zwischen den Szenarien erlaubt somit eine quantitative Wirkungsabschätzung der Wärmewende auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die Beschäftigung, sowohl in ihrer gesamtwirtschaftlichen Dynamik als auch im Hinblick auf die branchenstrukturellen Verschiebungen.

Abbildung 11: Schema zur Interpretation von Szenario-Ergebnissen



Quelle: Großmann et al. (2022)

Die Entwicklung des preisbereinigten BIP unterscheidet sich deutlich zwischen den Szenarien einer hoch ambitionierten und einer wenig ambitionierten Wärmewende.

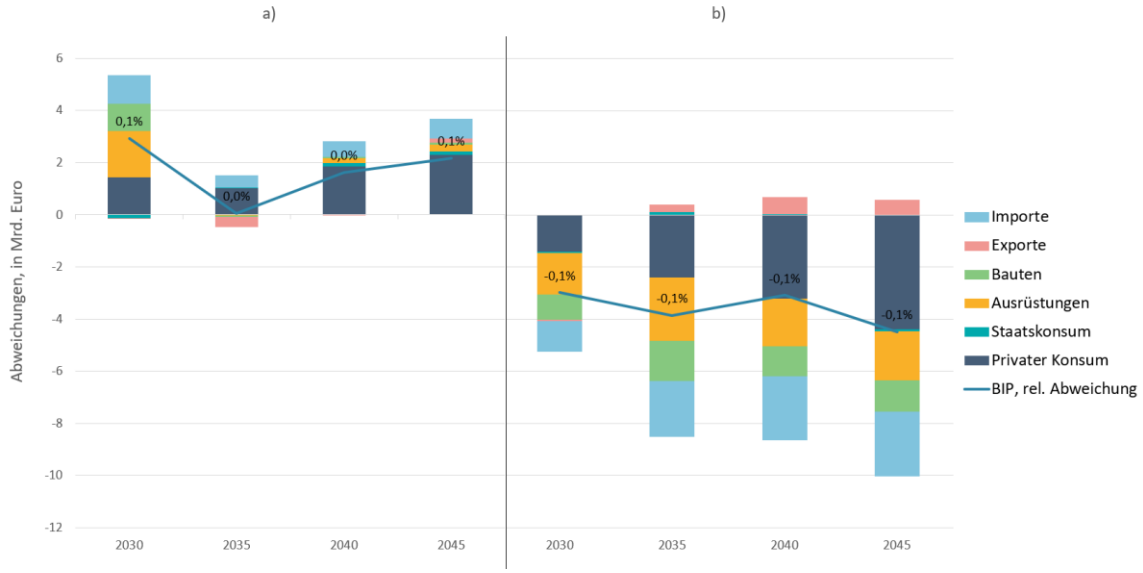
In der **hoch ambitionierten Wärmewende** (linke Abbildung 12a) zeigen sich über den gesamten Betrachtungszeitraum positive Abweichungen gegenüber dem Referenz-Szenario. Bereits ab 2030 liegt das BIP um etwa 0,1 Prozent über dem Referenzwert. Der Anstieg resultiert vor allem aus zunehmenden Investitionen in Ausrüstungen und Bauten, die durch die beschleunigte Einführung von Wärmepumpen und den Ausbau der Fernwärme ausgelöst werden. Die hohe Investitionstätigkeit in Wärmepumpen führt kurzfristig zu einer erhöhten Binnenwertschöpfung und damit zu positiven Wachstumsimpulsen. Erhöhte Investitionen führen über mehr Beschäftigung auch zu höheren Löhnen, was den privaten Konsum im Vergleich zur Referenz erhöht.

Ab etwa 2035 fällt der Unterschied zwischen der hoch ambitionierten Wärmewende und dem Referenz-Szenario im Bereich der Investitionen jedoch zurück. Dies ist plausibel, da in diesem Jahr das Referenz-Szenario erstmals die Kappungsgrenze des Wärmepumpenausbaus erreicht und damit gleichauf mit dem Hochszenario liegt. Der zuvor bestehende Investitionsvorsprung der hoch ambitionierten Wärmewende, insbesondere bei Wärmepumpeninstallationen, die deutlich stärker gewichtet sind als Investitionen in Fernwärme, entfällt damit weitgehend. In der Folge gleichen sich auch die positiven BIP-Abweichungen zwischen den Szenarien ab 2035 weitgehend an. Dennoch bleibt der Effekt insgesamt leicht positiv bis 2045, getragen von den stetig anfallenden Zusatzinvestitionen für die Fernwärme, einer stabilen Konsumdynamik sowie moderaten Importzuwächsen.

Die **wenig ambitionierte Wärmewende** (rechte Abbildung 12b) zeigt dagegen negative Abweichungen gegenüber dem Referenz-Szenario. Bereits ab 2030 liegt das BIP rund 0,1 Prozent unter dem Referenzwert. Ursächlich dafür sind vor allem geringere Bau- und Ausrüstungsinvestitionen, da die Modernisierungs- und Sanierungsdynamik in diesem

Szenario nur verhalten zunimmt. Auch Importe und privater Konsum zeigen negative Abweichungen, was auf die fehlende Impulswirkung aus den Investitionen hinweist. Trotz dieser leichten konjunkturellen Dämpfung bleibt die gesamtwirtschaftliche Abweichung gering, die Veränderung des BIP bleibt im gesamten Zeitraum bei um die – 0,1 Prozent.

Abbildung 12: Differenz im Bruttoinlandsprodukt zwischen Referenz- und Wärmewende-Szenario mit a) hoher und b) wenig Ambition, preisbereinigt



Quelle: Eigene Berechnungen.

Mit Blick auf die Beschäftigung zeigt sich im Szenario der **hoch ambitionierten Wärmewende** zunächst ein moderater Beschäftigungszuwachs: Bis 2030 gibt es rund 4.600 zusätzliche Erwerbstätige gegenüber dem Referenz-Szenario. Diese positive Entwicklung spiegelt den Investitionsimpuls wider, der durch den beschleunigten Ausbau von Wärmepumpen und Fernwärme ausgelöst wird. In der Mitte des Betrachtungszeitraums (2035) kommt es zu einem kurzzeitigen Rückgang von rund –2.600 Personen, was auf den Abfall der Investitionsdynamik zurückzuführen ist, sobald die Kappungsgrenze beim Wärmepumpenausbau im Referenz-Szenario erreicht wird und die Unterschiede zwischen den Szenarien abnehmen. In der Folge steigt die Beschäftigung jedoch wieder an und liegt bis 2050 über dem Referenz-Szenario (+6.500 Personen).

Im Szenario der **wenig ambitionierten Wärmewende** zeigt sich dagegen eine durchgehend negative Abweichung zur Referenz. Bereits 2030 liegt die Zahl der Erwerbstätigen um etwa 6.700 Personen unter dem Referenzwert, und auch in den Folgejahren bleiben die Beschäftigungseffekte negativ. Bis 2050 vergrößert sich die Lücke auf rund –7.900 Personen. Diese Entwicklung spiegelt die geringere Investitions- und Modernisierungsaktivität sowie die damit verbundene schwächere wirtschaftliche Dynamik im Wärmemarkt wider.

Um die strukturellen Hintergründe der aggregierten Effekte besser zu verstehen, erfolgt im Folgenden eine detaillierte Branchenbetrachtung der Beschäftigungsentwicklung. Diese sektorale Analyse ermöglicht es, die unterschiedlichen sektoralen Gewinner und Verlierer der Wärmewende zu identifizieren und die Verteilung der Beschäftigungseffekte innerhalb der Volkswirtschaft differenziert nachzuvollziehen.

Die hoch ambitionierte Wärmewende erzeugt den stärksten Beschäftigungseffekt im Jahr 2030. Die gemeinsame Betrachtung absoluter und relativer Abweichungen zeigt, dass sich die sektoralen Ausschläge im Zeitverlauf verschieben und sich die aggregierten Effekte deutlich verändern (s. Abbildung 13a und b).

Im Jahr 2030 ergibt sich ein kumulierter Beschäftigungszuwachs von rund +6,2 Tsd. Personen. Die absolut größten positiven Effekte werden dabei im Baugewerbe mit einem Zuwachs von rund 2,6 Tsd. Personen (+ 0,1 Prozent), gefolgt von den wirtschaftlichen Dienstleistungen, zu denen Architektur- und Ingenieurbüros, sowie Rechts- und Steuerberatung gehören, mit rund 1,6 Tsd. Personen (+ 0,02 Prozent) und dem Verkehr und Logistik mit einem Plus von etwa 0,8 Tsd. Personen (+0,03 Prozent) verzeichnet. Diese drei Branchen machen über 60 Prozent der Zugewinne in der Beschäftigung aus. Relativ gesehen sind die Effekte in der Herstellung von Gummi und Glas mit rund 0,5 Tsd. Personen (+0,07 Prozent) sowie der Metallerzeugung und Herstellung von Metallerzeugnissen mit rund 0,6 Tsd. Personen (+0,05 Prozent) ebenfalls auffällig.

Bis 2035 dreht sich das Vorzeichen der aggregierten Beschäftigungswirkung. In dem Jahr, in dem die Kappungsgrenze beim Wärmepumpenzubau erstmals erreicht wird, sinkt die absolute Abweichung auf −1,7 Tsd. Personen. Die relative Darstellung weist in derselben Periode bereits merklich abgeschwächte Ausschläge aus, der kurzfristige Nachfragerückgang in einzelnen Wertschöpfungsketten dominiert.

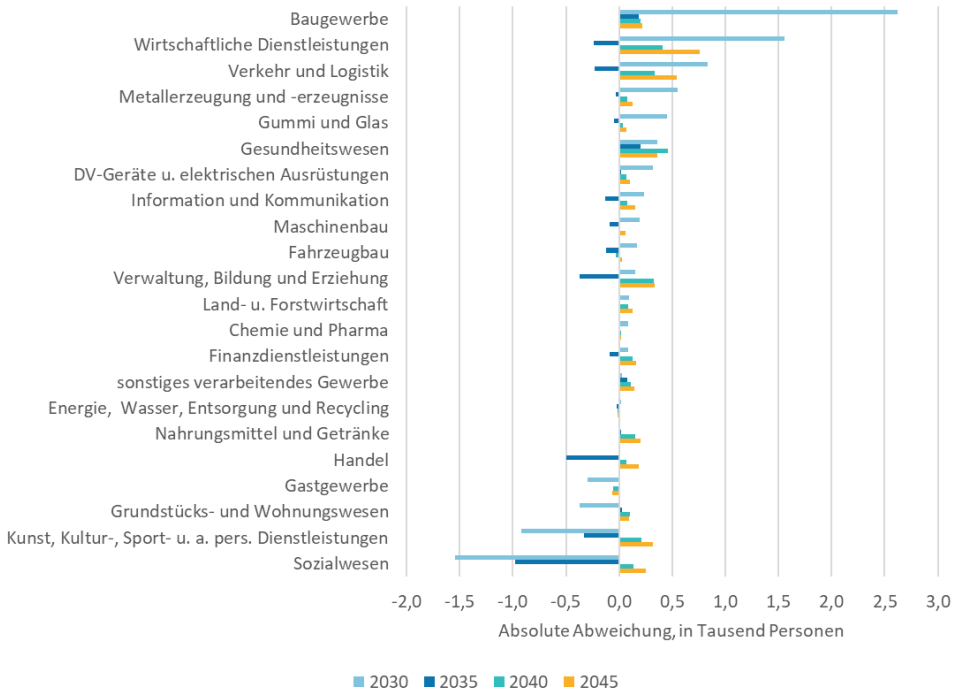
Nach 2035 steigt der aggregierte Beschäftigungseffekt wieder an. Für 2040 ergibt sich ein Plus von +2,8 Tsd. Personen, 2045 liegt der Wert bei +3,9 Tsd. Personen. Die relativen Abweichungen nähern sich in diesen Jahren weiter dem Nullpunkt, während die absoluten Werte eine erneute, moderat positive Wirkung ausweisen. Die Dynamik verschiebt sich damit von einem klar ausgeprägten Maximum 2030 über ein temporäres Absinken 2035 hin zu einer stabilisierten, leicht positiven Nettobeschäftigung bis 2045.

Die maximalen negativen Ausschläge liegen im Jahr 2030 im Grundstücks- und Wohnungswesen (-1,5 Tsd. Personen), im Sozialwesen (- 0,9 Tsd. Personen) und den Kunst, Kultur-, Sport- und personenbezogene Dienstleistungen (-0,4 Tsd. Personen). Über 90 Prozent der rund 3 Tsd. Beschäftigten, die auf Grund einer hohen Ambition weniger beschäftigt werden, kommen aus diesen drei Branchen. Die übrigen Branchen bewegen sich eng um den Nullwert.

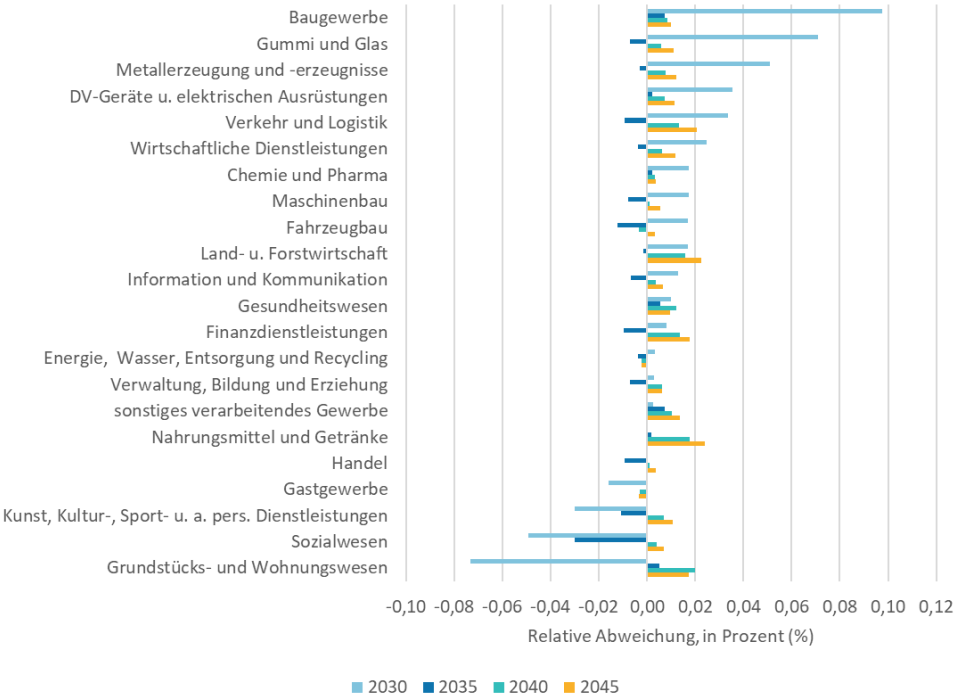
In den Jahren 2035, 2040 und 2045 flachen die absoluten Unterschiede sukzessive weiter ab. Ab 2040 gleicht sich auch die Richtung der Effekte weiter an, so dass es kaum noch wahrnehmbare Unterschiede gibt.

Abbildung 13a und b: Beschäftigungseffekte der hoch ambitionierten Wärmewende im Vergleich zum Referenz-Szenario

14a: absolute Abweichung in Tausend Personen



14b: relative Abweichung in Prozent (%)



Anmerkung: Die Branchen sind nach der Effektgröße im Jahr 2030 absteigend sortiert.

Quelle: Eigene Berechnungen.

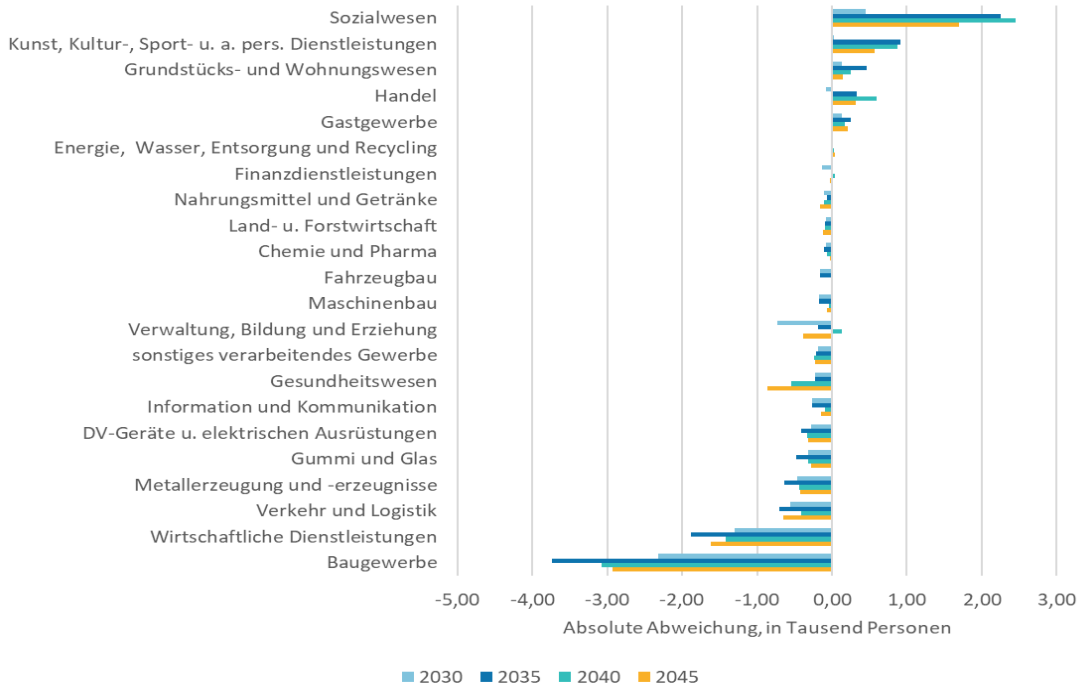
Die wenig ambitionierte Wärmewende zeigt die größten negativen Effekte mit etwas Zeitverzögerung im Jahr 2035, bis 2045 lassen die Auswirkungen auf die Beschäftigung in allen Branchen nach. Die Abbildung 14a und 15b zeigen die relativen und absoluten Beschäftigungseffekte des Szenarios im Vergleich zur Referenz. Die absoluten Abweichungen im Szenario mit wenig Ambition gegenüber der Referenz verlaufen durchgehend negativ. 2030 werden 6,7 Tsd. Beschäftigte weniger benötigt als in der Referenz, 2035 sind es noch 5,13 Tsd., bevor sich der geringere Bedarf 2040 auf 2,62 Tsd. abschwächt und 2045 mit 5,23 Tsd. nochmals ansteigt.

Die Sortierung in den Abbildung 14a und 15b basiert auf den relativen Abweichungen im Jahr 2030, dem Jahr mit dem größten aggregierten Effekt. Die stärksten prozentualen Effekte treten jedoch 2035 auf und schwächen sich danach deutlich ab. Die negativen Abweichungen konzentrieren sich auf wenige Branchen: Baugewerbe (−0,15 Prozent/−3,7 Tsd. Personen), Gummi und Glas (−0,08 Prozent/−0,5 Tsd.), Metallerzeugung (−0,06 Prozent/−0,6 Tsd.), Informations- und Elektrotechnik (−0,4 Tsd.), Verkehr und Logistik (−0,7 Tsd.) sowie wirtschaftliche Dienstleistungen, zu denen Architektur- und Ingenieurbüros, sowie Rechts- und Steuerberatung gehören (−1,9 Tsd.). Diese sechs Branchen erklären 84 Prozent der gesamten negativen Effekte.

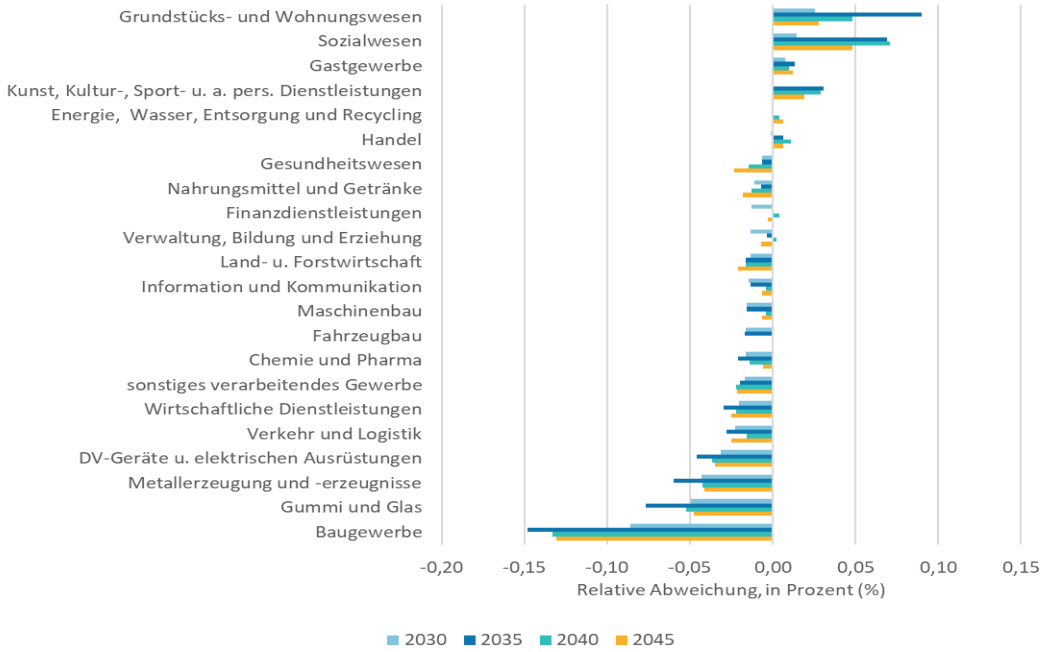
Die positiven Ausschläge bleiben sowohl relativ als auch absolut begrenzt und konzentrieren sich auf dienstleistungsorientierte Branchen wie Grundstücks- und Wohnungswesen, Sozialwesen, Gastgewerbe sowie Kunst-, Kultur-, Sport- und personenbezogene Dienstleistungen. In Summe ergeben sich hier leichte Zugewinne von rund +3,9 Tsd. Personen, die den negativen Gesamteffekt lediglich abschwächen. Ab 2040 verringern sich die absoluten Abweichungen und liege bis 2045 überwiegend unterhalb der Tausendermarke. Die relativen Abweichungen, bis auf das Baugewerbe, liegen unterhalb von ± 0,1 Prozent.

Abbildung 14: Beschäftigungseffekte der wenig ambitionierten Wärmewende im Vergleich zum Referenz-Szenario (relative Abweichung, in Prozent)

15a: absolute Abweichung in Tausend Personen



15b: relative Abweichung in Prozent (%)



Anmerkung: Die Branchen sind nach der Effektgröße im Jahr 2030 absteigend sortiert.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Ergebnisse beider Szenarien zeigen eine klar zeitlich gebündelte Wirkung auf die Beschäftigung. Die hohen Ambitionen erzeugen 2030 die stärksten sektoralen Ausschläge, die danach zügig abnehmen, weil sich die Strukturen an die veränderten Investitions- und Nachfragepfade anpassen. Branchen mit direkter Investitionsverknüpfung, wie das Baugewerbe verzeichnen kurzfristige Zugewinne, während Branchen, wie z.B. das Sozialwesen und Kunst, Kultur-, Sport- und personenbezogene Dienstleistungen, die primär über Preise und Konsum reagieren, Belastungen aufweisen. Das Szenario mit einer weniger ambitionierten Wärmewende verschiebt die Dynamik. Die stärksten positiven und negativen Effekte treten 2035 auf und nehmen danach wieder ab.

Die Ergebnisse lassen sich für beide Szenarien auf die folgende Aussage zuspitzen: **In Phasen großer Investitionsdifferenzen ergeben sich die größten Divergenzen in den branchenspezifischen Abweichungen.** Das Baugewerbe und ihre Zulieferer (wirtschaftliche Dienstleistungen, Industrie) reagieren auf die Investitionen und persönliche Dienstleistungen reagieren kurzfristig und gegenläufig auf die veränderten Preise. Langfristig stabilisieren sich die Abweichungen durch die Durchdringung der Gesamtwirtschaft mit den Wirkungen der veränderten Einkommen (Konsum). Für beide Szenarien gilt außerdem, dass sich die Ausschläge in der Aggregation des Gesamteffekts relativieren.

4 Diskussion

Die Wärmewende verläuft in beiden Szenarien makroökonomisch stabil und erzeugt nur geringe sektorale Abweichungen. Die modellierten Unterschiede zwischen den Ambitionsniveaus bleiben vergleichsweise klein, da der Heizungstausch unabhängig vom Szenario stattfindet und die zentralen Anpassungsmechanismen – Ersatzinvestitionen, Einkommens- und Konsumeffekte – weitgehend parallel verlaufen. Im Szenario „wenig Ambition“ wirken geringere Investitionen dämpfend auf Einkommen und Nachfrage und belasten vor allem investitionsnahe und industrielle Branchen. Besonders betroffen sind Baugewerbe, Gummi, Glas, Metallerzeugung, DV-Geräte und elektronische Ausrüstungen sowie Architektur- und Ingenieurbüros und technische Untersuchungen.

Wärmepumpen erhöhen die Flexibilität der Haushalte durch dezentralen Strombezug und Autarkiepotenziale. Sie verschieben die laufenden Kosten vom Energieträger hin zum Strombezug, so dass die Handlungsfähigkeit der Haushalte durch freie Anbieterwahl und die Kombination mit Photovoltaik verbessert wird. Da perpektivisch weniger Öl und Gas importiert werden muss, verringert sich die Abhängigkeit von ausländischen Märkten (Becker & Ulrich 2022).

Fernwärme bleibt ein zentral organisierter Erzeugermarkt mit hohen technologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Anforderungen. Der Ausbau und Einsatz verschiedener Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung, Großwärmepumpen, Geothermie und Power-to-Heat erfordert langfristige Investitionen, abgestimmte Netzausbaupfade und verlässliche Rahmenbedingungen. Hohe Kosten, regulatorische Unsicherheiten, langwierige Genehmigungen und eine zersplitterte Förderlandschaft bremsen die Entwicklung. Gleichzeitig besitzen Haushalte – insbesondere Miethaushalte – nur begrenzten Einfluss auf Anschluss- und Tarifentscheidungen, was Akzeptanzrisiken verstärkt (Agora Energiewende et al. 2024). Zentrale Netze als natürliche Monopole, fehlende Entflechtung und

sinkender Wettbewerbsdruck führen zu dominanten Marktpositionen, wodurch Preisrisiken für Verbraucher:innen steigen können (u.a. Monopolkommission 2025).

Wärmepumpen und Fernwärme verändern die Kosten- und Systemlogik grundlegend. Mit den gebündelten Kostenstrukturen unterscheidet sich die Fernwärme systemisch von den dezentralen Wärmepumpen. Für eine konsistente Modellierung ist daher eine klare Trennung zwischen Strom- und Wärmeerzeugung erforderlich, um die Sektorenkopplung und ihre Rückwirkungen korrekt zu erfassen.

Die Wärmewende interagiert eng mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und erfordert integrierte Betrachtung und Priorisierung. Wärmepumpen erhöhen den Strombedarf und verstärken die Anforderungen an den Ausbau der erneuerbaren Energien. Fernwärme schafft Konkurrenz um Ressourcen wie Biogas oder Geothermie, die sowohl im Strom- als auch im Wärmesektor eingesetzt werden können. Diese Interdependenzen erfordern eindeutige Priorisierungen und stärken die Bedeutung eines integrierten energieökonomischen Transformationsrahmens. Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass die Wärmewende in ihrer aktuellen Ausgestaltung nur einen moderaten makroökonomischen Impuls erzeugt, während sie hohe Anforderungen an die Energieversorgung stellt.

Eine ambitionierte Wärmewende stärkt die energetische Resilienz und verringert geopolitische Abhängigkeiten. Der Umbau der Wärmeversorgung ist nicht nur notwendig, um klimapolitische Ziele zu erreichen, sondern auch eine sozialpolitische Notwendigkeit (Deutscher Bundestag & Ausschuss für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen 2023). Zunehmende Elektrifizierung und Eigenerzeugung mindern die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und den Risiken von Preissprüngen sowie politisch instabiler Lieferketten. Externe Störanfälligkeiten sinken, und die Zielerreichung der Klimaneutralität wird weniger durch exogene Schocks gefährdet. Die modellierten Ergebnisse bestätigen damit robuste und ökonomisch tragfähige Anpassungspfade.

Die Analyse zeigt klaren Entwicklungsbedarf in der Modellierung und der Szenario-Gestaltung. Ambitioniertere Pfade der Wärmewende oder ein explizites Klimaneutralitätsszenario würden die Spannbreite möglicher Entwicklungen präziser abbilden. Branchenstudien (BWP 2025b, EWI & BET 2025) deuten auf höhere mögliche Ausbauraten bei Wärmepumpen hin, als im aktuellen Referenz-Szenario angenommen. Für die Fernwärme fehlen bislang integrierte regionale Netzentwicklungs- und Ausbaupfade, ebenso eine Differenzierung zwischen Neubau und Umstellung bestehender Systeme. Sanierungsdynamiken sowie parallele Entwicklungen im Ausbau erneuerbarer Energien und der CO_2-Preispfade sollten in zukünftigen Modellläufen stärker berücksichtigt werden.

Die Wärmewende ist nur ein Handlungsfeld auf dem Weg zu Klimaneutralität. Die vorgestellten Szenarien sind ein Ausschnitt aus einer umfassenderen Szenarien-Analyse, die im Vorhaben „Info-EW“ durchgeführt wird. Diese beinhaltet die gesonderte Berechnung von und Kombination mit Annahmebündeln im Bereich des Ausbaus der erneuerbaren Energien und CO_2-Bepreisung. Durch diese erweiterte Analyse wird das Blickfeld vor allem für die Wirkung des ambitionierten Klimaschutzes auf die privaten Haushalte erweitert.

Private Haushalte (als Gesamtsektor der Volkswirtschaft) profitieren auch indirekt über Einkommenszugewinne von einem ambitionierten Ausbau. Ihre Einkommen sind höher als im Vergleichszenario. Ob im Zuge der Wärmewende alle Haushaltstypen einen

Vorteil haben, kann auf dieser Analyseebene jedoch noch nicht beantwortet werden. Aussagen zur Verteilungswirkung auf Regionen und Haushaltstypen werden im Projekt „Info-EW“ zurzeit erarbeitet.

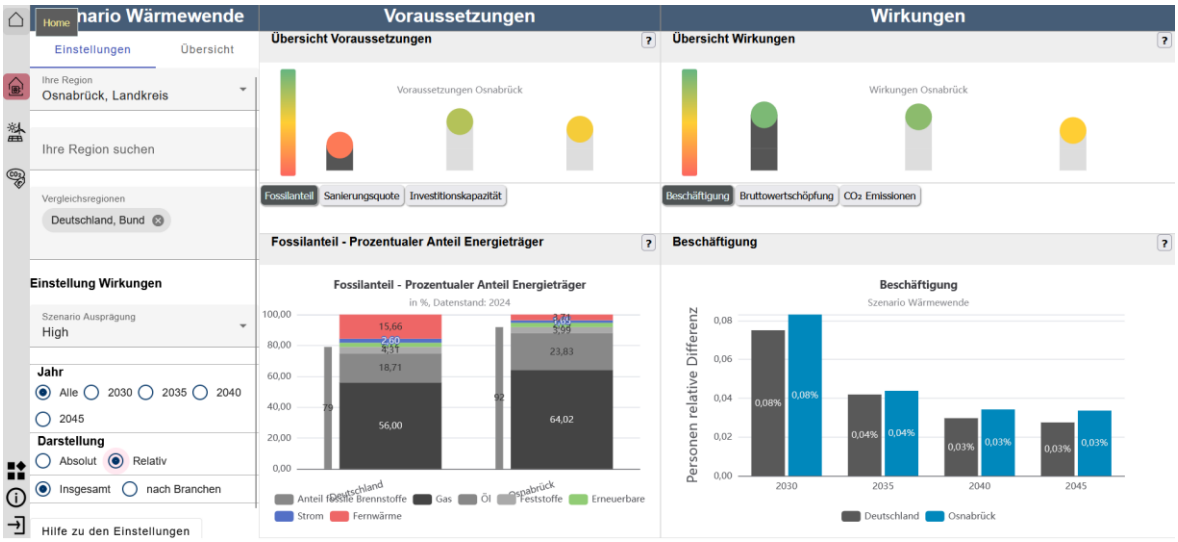
Im Ergebnis bestätigt die Analyse, dass die Wärmewende begrenzte, aber robuste sektorale Anpassungen erzeugt und strukturell konsistente, ökonomisch tragfähige Transformationspfade ermöglicht. **Eine ambitionierte Wärmewende wirkt sich gesamtwirtschaftlich positiv aus, was insbesondere durch die höheren Investitionen als auch die vermiedenen fossilen Importe bewirkt wird.**

5 Ausblick

Die regionale Modellierung ermöglicht eine räumlich differenzierte Bewertung der Wärmewende und erweitert die nationalen Ergebnisse um lokale Wirkungsperspektiven. Die Übertragung der nationalen Ergebnisse in das regionalökonomische Modell RIMES erlaubt die Ableitung regionaler Beschäftigungs-, Einkommens- und Wertschöpfungseffekte auf Kreisebene (Ulrich et al. 2025).

Über das im Projekt „Info-EW“ entwickelte Dashboard werden diese Ergebnisse regionalen Entscheidungsträger:innen zugänglich gemacht und tragen zur evidenzbasierten Weiterentwicklung lokaler und regionaler Strategien bei. Abbildung 15 zeigt einen Screenshot des bisher entwickelten Prototyps des Dashboards.

Abbildung 15: Dashboard zur Information regionaler Entscheidungsträger:innen (Screenshot des Prototyps)



Quelle: Dashboard-Entwicklung im Rahmen des Projekts „Info-EW“ (www.info-ew.de).

Zukünftige Entwicklungen zielen darauf ab, die regionalen und technologischen Grundlagen der Modellierung weiter zu vertiefen. In RIMES sollen regionalspezifische Gebäudestrukturen, Netzausbaugrade und Kostenpfade der Fernwärme integriert werden. Im Modell PANTA RHEI liegt der Schwerpunkt auf der besseren Abbildung der Kopplung zwischen Strom- und Wärmesystemen. Dazu gehören die Integration von Heim- und Großspeichern, die realistische Abbildung von Flexibilitätspotenzialen und eine systematischere

Darstellung der Wechselwirkungen unterschiedlicher Ausbaustufen der erneuerbaren Energien mit variierenden Ambitionsstufen der Wärmewende.

Eine weiterführende Modellentwicklung ist notwendig, um die komplexen sektoralen, technologischen und politischen Interdependenzen der Wärmewende realistisch abzubilden. Es wird angestrebt durch zukünftige Modellentwicklungen in PANTA RHEI die Kopplung von Wärme- und Stromsystemen weiter zu vertiefen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Integration von Heim- und Großspeichern, um Flexibilitätspotenziale im Wärmebereich realistisch abzubilden. Dadurch können Schwankungen im Stromangebot aus erneuerbaren Energien besser aufgefangen und Lastspitzen geglättet werden. Ergänzend wird das Zusammenspiel unterschiedlicher Ausbaustufen erneuerbarer Energien berücksichtigt, um Wechselwirkungen zwischen Stromerzeugung, Wärmenachfrage und Speichern konsistent zu erfassen. Diese Erweiterungen schaffen eine robuste Basis für die Bewertung der Chancen und Risiken der Wärmewende im gesamtwirtschaftlichen Kontext.

Literaturverzeichnis

AG Energiebilanzen e. V. (AGEB) (Hg.) (2021a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland – Daten für die Jahre von 1990 bis 2020. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2020/09/awt_2020_d.pdf, abgerufen am 19.11.2025.

AG Energiebilanzen e. V. (AGEB) (Hg.) (2021b): Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2020 (in TWh) Deutschland insgesamt. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/10/STRERZ_Abgabe-12-2023.pdf#, abgerufen am 19.11.2025.

Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2025): Wärme und Kälte aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 2024. https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/waerme-und-kaelte-aus-erneuerbaren-energien-in-deutschland-2024?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 30.10.2025.

AGFW, Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) (Hg.) (2024): Hauptbericht 2023, Frankfurt am Main. https://www.agfw.de/securedl/sdl-eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht#5638.TRw3805TzfdNE284R7rAMahXxuuWT7G_bSOad-HEHkY/AGFW_Hauptbericht_2023.pdf, abgerufen am 12.11.2025.

Agora Energiewende; Prognos; GEF (2024): Wärmenetze – klimaneutral, wirtschaftlich und bezahlbar. Wie kann ein zukunftssicherer Business Case aussehen? https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-18_DE_Business_Case_Waermenetze/A-EW_335_Businesscase_Waermenetze_WEB.pdf, abgerufen am 25.09.2025.

Agora Think Tanks, Prognos AG, Öko-Institut e.V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH & Universität Bremen (Hg.) (2024): Klimaneutrales Deutschland – Von der Zielsetzung zur Umsetzung - Vertiefung der Szenariopfade, Berlin. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-30_DE_KNDE_Update/A-EW_349_KNDE_Szenariopfade_WEB.pdf, abgerufen am 26.09.2025.

Almon, C. (1991): The Inforum Approach to Interindustry Modeling. Economic Systems Research 3 (1), S. 1–8. DOI: 10.1080/09535319100000001.

Ammon, M. & Thiele, J. (2025): Basisanalyse kommunaler Wärmepläne – Wege in eine dakarbonisierte Wärmeversorgung. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). BBSR-Analysen kompakt 11/2025, Bonn.

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) (Hg.) (2024): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/AGEB_Jahresbericht2023_20240403_dt.pdf, abgerufen am 26.11.2025.

Becker, L., Bernardt, F., Bieritz, L., Mönnig, A., Parton, F., Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2022): INFORGE in a Pocket. Hg. v. GWS mbH Osnabrück. GWS-Kurzmitteilung 2022/02, Osnabrück. https://www.gws-os.com/de/publikationen/gws-kurzmitteilungen/detail/inforge-in-a-pocket, abgerufen am 27.09.2023.

Becker, L. & Ulrich, P. (2022): Importeinsparungen fossiler Brenn- und Kraftstoffe durch Energieeffizienzgewinne und den Ausbau erneuerbarer Energien – Fortschreibung für die Jahre 2019 und 2020 sowie vorläufige Ergebnisse für das Jahr 2021. GWS Research Report 2022/03, Osnabrück. http://papers.gws-os.com/gws-researchreport22-3.pdf.

Braungardt, S. & Kasten, P. (2025): Analysen zur CO2-Bepreisung im Gebäude- und Verkehrssektor – Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Climate Change 44/2025, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/44_2025_cc_0.pdf, abgerufen am 21.11.2025.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2022): Zahlen und Fakten: Energiedaten – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin, Germany. https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/energiedaten.html.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hg.) (2024): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2023, Berlin. https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/20241129-erneuerbare-energien-in-zahlen-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=10, abgerufen am 26.11.2025.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) (2025a): Baugenehmigungen - Entwicklung der Beheizungsstruktur im Neubau – Darstellung der Entwicklung in den letzten 10 Jahren sowie in den vergangenen 12 Monaten. https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-beheizungsstruktur-baugenehmigungen/, zuletzt aktualisiert am 08.10.2025, abgerufen am 30.10.2025.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) (2025b): Trendbarometer Neubau: So verändert sich Deutschlands Beheizungsstruktur. Fakten und Argumente – Baufertigstellungen auf Bundeslandebene sowie Wohnungs- und Wohngebäude-Daten im Fokus, Berlin. https://www.bdew.de/media/original_images/2025/10/17/2025-10-16-trendbarometer-neubau_2024_final.pdf, abgerufen am 04.11.2025.

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) (2024): Rekordabsatz: Wärmepumpenbranche beweist Leistungsfähigkeit trotz unsicherer Aussichten, Berlin. https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/rekordabsatz-waermepumpenbranche-beweist-leistungsfaehigkeit-trotz-unsicherer-aussichten/, abgerufen am 11.11.2025.

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) (2025a): Absatzzahlen. https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/absatzzahlen/, abgerufen am 11.11.2025.

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) (2025b): Branchenstudie 2025 – Marktentwicklung, Prognosen & Handlungsempfehlungen, Berlin. https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Branchenstudie_2025_final.pdf, abgerufen am 24.09.2025.

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) (2025c): Wärmepumpenmarkt wächst: BWP hebt Branchenprognose beim FORUM Wärmepumpe an – unter einer Bedingung, Berlin. Pressemitteilungen 28.11.2025.

https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpen-markt-waechst-bwp-hebt-branchenprognose-beim-forum-waermepumpe-an-unter-einer-bedingung/, abgerufen am 02.12.2025.

Bundeszentrale für politische Bildung (bpb) (2023): Gebäudeenergiegesetz und kommunale Wärmeplanung. https://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/541928/gebaeudeenergiegesetz-und-kommunale-waermeplanung/?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 30.10.2025.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hg.) (2024): DENA-Gebäudereport 2025 – Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Unter Mitarbeit von Simon Becker, Jonas Hagen, Saikiran Joshi und Sebastian de La Serna, Berlin, Germany.

Deutscher Bundestag (Hg.) (2023): Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen (24. Ausschuss). Drucksache 20 9344. https://dserver.bundestag.de/btd/20/093/2009344.pdf?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 04.11.2025.

Deutscher Bundestag & Ausschuss für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen (Hg.) (2023): Bericht des BMWSB zu dem im Kabinettentwurf zum Gebäudeenergiegesetz (GEG) vorgesehenen Förderkonzept. Ausschussdrucksache 20(24)128. https://www.bundestag.de/resource/blob/980216/88857263396034adddca92bf7db53684/Anlage_zum_61_Protokoll.pdf?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 26.11.2025.

enercity (2025): Klimaschonend heizen. So funktioniert Fernwärme. https://www.enercity.de/magazin/unsere-welt/funktionsweise-fernwaerme, abgerufen am 12.11.2025.

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI); BET Consulting GmbH (BET) (2025): Energiewende. Effizient. Machen. – Monitoringbericht zum Start der 21. Legislaturperiode. Im Auftrag von: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE). https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energiewende-effizient-machen.pdf?__blob=publicationFile&v=20, abgerufen am 25.09.2025.

Engelmann, P., Köhler, B., Meyer, R., Dengler, J., Herkel, S., Kießling, L., Quast, A., Berneiser, J., Bär, C., Sterchele, P., Heilig, J., Bürger, V., Braungardt, S., Hesse, T., Sandrock, M., Maaß, C. & Strodel, N. (2021): Systemische Herausforderung der Wärmewende – Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Climate Change 18/2021, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-26_cc_18-2021_waermewende.pdf, abgerufen am 21.11.2025.

Großmann, A., Hohmann, F., Lutz, C. & Reuschel, S. (2022): Supporting Climate Resilient Economic Development in Kazakhstan. Application of the e3.kz Model to Analyze the Economy-wide Impacts of Climate Change Adaptation. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Berlin.

Hamburg Institut & Prognos AG (Hg.) (2020): Perspektive der Fernwärme – Maßnahmenprogramm 2030. Aus und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozialökologischen Wärmepolitik. im Auftrag des AGFW. Unter Mitarbeit von Nils Thamling, Nora Langreder, Dominik Rau, Marco Wünsch, Christian Maaß, Matthias Sandrock et al. https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/06/AGFW_Perspektive_der_Fernwaerme_2030_final.pdf, abgerufen am 09.12.2025.

heute im bundestag (hib) (Hg.) (2023): Bundesregierung legt Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung vor. Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen — Gesetzentwurf hib 720/2023. https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-970506?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 04.11.2025.

Landesenergie- und Klimaschutzagentur Mecklenburg Vorpommern (LEKA MV) (2023): Solarthermie der Stadtwerke Greifswald. https://www.leka-mv.de/solarthermie-greifswald/, abgerufen am 09.12.2025.

Lutz, C., Banning, M., Ahmann, L. & Flaute, M. (2021): Energy efficiency and rebound effects in German industry – evidence from macroeconometric modeling. Economic Systems Research. https://doi.org/10.1080/09535314.2021.1937953.

Maier, T., Kalinowski, M., Schur, A., Zika, G., Schneemann, C., Mönnig, A. & Wolter, M. I. (2024): Weniger Arbeitskraft, weniger Wachstum´ – Ergebnisse der achten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen bis zum Jahr 2040. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). BIBB Report 1/2024, Bonn, abgerufen am 25.09.2025.

Mönnig, A., Schneemann, C., Weber, E. & Zika, G. (2020): Das Klimaschutzprogramm 2030 – Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung. IAB-Discussion Paper 2/2020.

Monopolkommission (Hg.) (2025): Energie 2025: Wettbewerb und Effizienz für ein zukunftsfähiges Energiesystem. Gutachten der Monopolkomission gemäß $62 EnWG 10. Sektorgutachten. https://monopolkommission.de/images/PDF/SG/SG%20Energie%202025/10.%20Sektorgutachten%20Energie%202025_Monopolkommission.pdf, abgerufen am 19.11.2025.

Öko-Institut & Fraunhofer ISE (2022): Durchbruch für die Wärmepumpe – Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/A-EW_273_Waermepumpen_WEB.pdf?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 10.12.2025.

Pabst, J., Schneider, S., Engelhardt, R. & Memmler, M. (2025): Erneuerbare Energien in Gebäuden – Herausforderungen für Statistik und Berichterstattung. Unter Mitarbeit von Umweltbundesamt. Dokumentation 02/2025, Dessau-Roßlau. https://openumwelt.de/server/api/core/bitstreams/a2757dcf-d76e-4f47-bf10-7f7ef9d03994/content, abgerufen am 21.11.2025. DOI: 10.60810/openumwelt-8090.

Prognos (2024): Perspektive der Fernwärme – Aktualisierung des Gutachtens „Perspektive der Fernwärme - Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer

sozial-ökologischen Wärmepolitik“ aus dem Jahr 2020. Im Auftrag des AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. und Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU). Unter Mitarbeit von Nils Thamling, Nora Langreder, Frederik Lettow und Marco Wünsch. https://www.agfw.de/strategien-der-waerme-wende/perspektive-der-fw-7070-4040/, abgerufen am 09.09.2025.

Prognos AG (Hg.) (2020): Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040, Basel. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.itad.de/wissen/studien/tab_roadmap-2040.pdf/%40%40download/file/TAB_Roadmap%25202040.pdf&ved=2ahUKEwiZ55Gb-P2QAxVM5wIHHQ6VMSsQFnoECAwQAQ&usg=AOvVaw0id8ezO3om2mwBTXjhws9a, abgerufen am 19.11.2025.

Rheinenergie (2024): Europas größte Flusswasser-Wärmepumpe: Vergabe des Auftrags ist erfolgt. https://www.rheinenergie.com/ueber-uns/newsroom/presse/nachrichten/nachricht_72986.html, abgerufen am 09.12.2025.

Statistik der Kohlenwirtschaft (Hg.) (2022): Entwicklung ausgewählter Energiepreise. www.kohlenstatistik.de, abgerufen am 27.11.2025.

Stöver, B., Flaute, M. & Reuschel, S. (2022): Forschungsstand und Literatur zu den volkswirtschaftlichen Folgekosten des Klimawandels in Deutschland – Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland. GWS Research Report 2022/01, Osnabrück. http://papers.gws-os.com/gws-researchreport22-1.pdf.

Ulrich, P., Hembach-Stunden, K., Stöver, B. & Distelkam, M. (2025): The new RIMES model – Input-ouput tables and a scenario frame-work at the German district level. Hg. v. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH. GWS Research Report 2025/2, Osnabrück.

Ulrich, P., Hembach-Stunden, K., Stöver, B., Ragnitz, J., Kremer, A., Landsberger, A. & Nitschke, R. (2023): Chancen und Risiken von Klimaschutzmaßnahmen für die sächsische Wirtschaft. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS); ifo Institut Niederlassung Dresden, Dresden. https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/43722, abgerufen am 04.07.2024.

Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2024): Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland - Instrumente, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionsbericht_2024_instrumentenpapier.pdf, abgerufen am 26.11.2025.

Umweltbundesamt (UBA) (Hg.) (2025): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme?utm_source=chatgpt.com, abgerufen am 30.10.2025.

Verbraucherzentrale (Hg.) (2025): Die Entwicklung der Preise für Heiztechnik seit 2021. https://verbraucherzentrale-energieberatung.de/heizen/neue-heiztechnik/entwicklung-heiztechnikpreise/, abgerufen am 11.11.2025.

Zika, G., Hummel, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (2025): Das QuBe-Projekt: Modelle, Module, Methoden. Aktualisierung 2025. Hg. v. Institut für Arbeitsmarkt- und

Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB). IAB-Bibliothek 375, Nürnberg. https://gws-os.com/fileadmin/downloads/I78861.pdf, abgerufen am 19.11.2025. DOI: 10.3278/9783763978861.

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