

[EWI-Analyse]

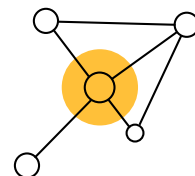
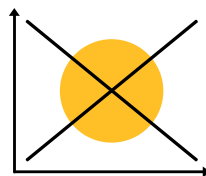
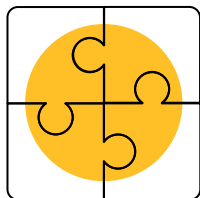
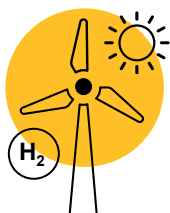
Illustrative Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands

Szenariobasierte Analyse bis 2044

Gefördert durch:

Förderinitiative Wärmewende der Gesellschaft zur
Förderung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der
Universität zu Köln e. V.

Dezember 2024



**Energiewirtschaftliches Institut
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 650 853-60

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von

Tobias Sprenger

Maximilian Walde

Tobias Leibfritz

Antonie Reinecke

Dr. Fabian Arnold

Bitte zitieren als

EWI (2024). Illustrative Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands - Szenariobasierte Analyse bis 2044

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von etwa 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung | 4 |
| 2 | Aktuelle Gesetzgebung im Gebäudesektor | 6 |
| 3 | Methodik | 10 |
| 3.1 | EWI-Gebäudemodell | 10 |
| 3.1.1 | Gebäudekategorien | 11 |
| 3.1.2 | Modellierung der Gebäudebestandsentwicklung | 14 |
| 3.1.3 | Modellierung der Heizungsbestandsentwicklung | 15 |
| 3.2 | Abbildung der aktuellen Gesetzgebung im EWI-Gebäudemodell | 16 |
| 4 | Annahmen..... | 18 |
| 4.1 | Basisannahmen | 18 |
| 4.2 | Szenarioannahmen | 23 |
| 4.2.1 | Austauschwahrscheinlichkeiten | 23 |
| 4.2.2 | Kurzfristige Entwicklung | 24 |
| 4.2.3 | Langfristige Entwicklung | 26 |
| 5 | Ergebnisse | 33 |
| 5.1 | Kurzfristige Entwicklung | 33 |
| 5.1.1 | Gebäudebestand nach Energieeffizienzklassen und Alter..... | 33 |
| 5.1.2 | Heizungsbestand nach Technologie und Alter | 34 |
| 5.1.3 | Heizungsabsatz nach Technologie | 35 |
| 5.2 | Langfristige Entwicklung | 37 |
| 5.2.1 | Entwicklungspfade im Gebäudebestand | 37 |
| 5.2.2 | Entwicklungspfade im Heizungsbestand | 39 |
| 5.2.3 | Entwicklung der Endenergiebedarfe | 43 |
| 6 | Zusammenfassung und Diskussion..... | 47 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 49 |
| | Tabellenverzeichnis | 50 |
| | Anhang..... | 51 |
| | Literaturverzeichnis | 54 |

1 Einleitung

Die deutsche Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Bis 2030 sollen die Treibhausgas-Emissionen um 65% gegenüber 1990 sinken (BMJ, 2019). Um die nationalen Klimaziele zu erreichen, müssen die Emissionen im Gebäudesektor deutlich reduziert werden. Zuletzt hat der Treibhausgas-Projektionsbericht 2024 des Umweltbundesamts eine Überschreitung der Jahresemissionsmengen zwischen 2021 und 2030 um 32 Mio. t. CO₂ Äq. im Gebäudesektor abgeschätzt (Umweltbundesamt 2024).

Zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor wurden im Jahr 2023 neue Gesetze verabschiedet und bestehende Regularien verschärft. Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) verpflichtet Kommunen zur Durchführung einer kommunalen Wärmeplanung bis spätestens zum Jahr 2028. Die zweite Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) schreibt ab dem Vorliegen einer kommunalen Wärmeplanung bzw. spätestens ab dem Jahr 2028 Betreibern neu installierter Heizungen verpflichtend vor, mindestens 65% erneuerbare Energien gemäß den Vorgaben des GEG zu nutzen. Durch diese grundsätzlichen Änderungen der Gesetzgebung im Gebäudesektor sind signifikante Änderungen im Heizungsmarkt zu erwarten. Wie die Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands unter der neuen Gesetzgebung aussehen könnte, ist aufgrund der komplexen technischen, ökonomischen, regulatorischen und eigentumsrechtlichen Zusammenhänge im Gebäudesektor nicht trivial.

Das Ziel dieser Analyse ist es, potenzielle Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands im Rahmen der aktuellen Gesetzgebung bis ins Jahr 2044 aufzuzeigen und zentrale Treiber transparent zu machen. Dabei wird in dieser Analyse der Wohngebäudesektor isoliert betrachtet. Durch die Ausarbeitung mehrerer an den Zielen der Bundesregierung zum Wärmenetzausbau und Wärmepumpenabsatz orientierter Szenarien soll gezeigt werden, wie sich der Gebäude- und Heizungsbestand über die Zeit entwickeln könnte und in welchen Jahren welche Endenergieträgerbedarfe zur Versorgung des Wohngebäudesektors benötigt werden könnten. Zusätzlich wird ein Überblick über den aktuellen Gebäude- und Heizungsbestand gegeben sowie die kurzfristig beobachtete Entwicklung des Heizungsmarkts seit 2023 eingeordnet.

Zur Untersuchung der Szenarien wird das EWI-Gebäudemodell angewendet. Mithilfe des Modells wird auf Basis des Gebäudebestands des Jahres 2022 die Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands bis 2044 abgeschätzt. Die Entwicklung des Gebäudebestands wird dabei anhand von Abriss-, Neubau- und Sanierungsraten berechnet. Die Entwicklung des Heizungsbestands setzt sich aus Heizungsausbau und Heizungseinbau zusammen. Der Heizungsausbau beruht dabei auf der Altersstruktur bestehender Heizungen und definierten Austauschwahrscheinlichkeiten, während der Heizungseinbau durch jährlich festgelegte Anteile von Heizungstechnologien definiert ist. Durch die Berücksichtigung von Erzeugeraufwandszahlen und Nutzenergiebedarfen können auf Basis des Gebäude- und Heizungsbestands Endenergiebedarfe ermittelt werden. Mithilfe des EWI-Gebäudemodells werden dabei die entsprechenden Szenarioannahmen auf den Gebäude- und Heizungsbestand angewendet, ohne dass eine Optimierung stattfindet. Aus diesem Grund sind die hier aufgezeigten Szenarien nicht als kosten- oder emissionsoptimal zu verstehen,

sondern beschreiben illustrative Entwicklungspfade unter Berücksichtigung des heutigen Gebäude- und Heizungsbestands.

Die Analyse ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 2 wird die aktuelle Gesetzgebung im Gebäudesektor dargestellt. In Kapitel 3 wird die Methodik des EWI-Gebäudemodells und die Umsetzung der GEG-Vorgaben im Modell erläutert. Anschließend werden in Kapitel 4 die den Szenarien zugrundeliegenden Annahmen und Eingangsdaten beschrieben. Kapitel 5 erläutert die Ergebnisse der Modellierung, bevor in Kapitel 6 die Kernergebnisse zusammengefasst und diskutiert werden.

2 Aktuelle Gesetzgebung im Gebäudesektor

Im Zuge der Analyse werden Szenarien für die Entwicklung der Heizungstechnologien im Wohngebäudebestand und der Endenergiebedarfe im Wohngebäudesektor entwickelt. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Gesetzesänderungen im GEG und WPG im Jahr 2023. Im Folgenden werden die beiden Gesetze erläutert. Dabei stehen die Verzahnung der Gesetze und die Vorgaben für den Einsatz erneuerbarer Energien in Heizungstechnologien und Wärmenetzen im Fokus.

Wärmeplanungsgesetz

Das WPG ist am 1. Januar 2024 gleichzeitig mit den Änderungen des GEG in Kraft getreten. In Abgrenzung zum GEG enthält das WPG keine Vorgaben für Heizungstechnologien in Gebäuden, sondern schafft den rechtlichen Rahmen für die Planung und Anforderungen an Wärmenetze.

Im WPG ist festgelegt, dass alle Kommunen in Deutschland bis spätestens Mitte 2028 eine Wärmeplanung erstellen müssen. Diese stellt eine unverbindliche, strategische Fachplanung dar, die den Anschlussnehmenden aufzeigt, ob in ihrem Gebiet künftig beispielsweise eine Versorgung durch Wärmenetz oder Wasserstoff vorgesehen ist. Auf Grundlage dieser Informationen können Gebäudeeigentümer:innen entscheiden, wie sie die Vorgaben des GEG für ihre Heizungsanlage umsetzen. Das WPG ist eng mit dem GEG verknüpft, da die Anforderungen für Heizungstechnologien im GEG an die Fristen der kommunalen Wärmeplanung gekoppelt sind.

Das WPG enthält neben der vorgesehenen kommunalen Wärmeplanung auch gesetzliche Anforderungen an Wärmenetzbetreiber, die je nach Bestandsnetzen oder neuen Wärmenetzen unterschiedlich ausgestaltet sind. In Abbildung 1 sind die gesetzlichen Vorgaben erneuerbaren Energien an Wärmenetzbetreiber dargelegt.

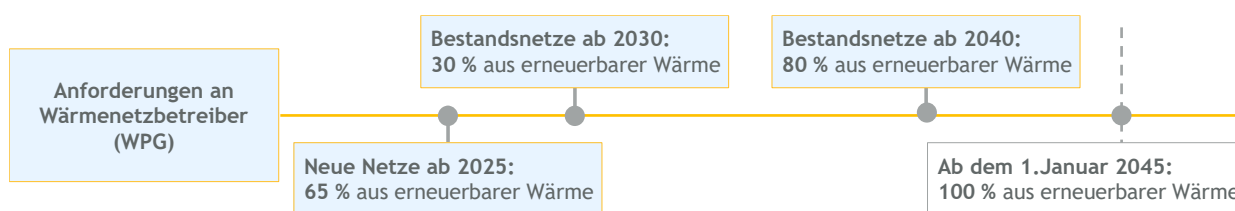


Abbildung 1: Gesetzliche Vorgaben erneuerbarer Energien an Wärmenetzbetreiber

Gemäß § 29 Abs. 1 WPG müssen bestehende Wärmenetze, die vor dem 01.01.2024 errichtet wurden, ab 2030 zunächst einen Anteil von mindestens 30 %, ab 01.01.2040 einen Anteil von mindestens 80 % und zum 01.01.2045 einen Anteil von 100 % aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder eine Kombination hieraus nutzen. Neue Wärmenetze müssen ab dem 01.03.2025 mindestens 65 % ihrer jährlichen Nettowärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination beider Quellen decken (§ 30 WPG).

Auch neue Wärmenetze müssen zum 01.01.2045 zu 100 % aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination daraus gespeist werden. Nach Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanung wird die GEG-Anforderung, 65 % erneuerbare Energien beim Anschluss an ein bestehendes Wärmenetz zu nutzen, gelockert, wenn die Mindestanforderungen der Wärmenetze hinsichtlich erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme erfüllt werden. Der Paragraph §71b GEG legt fest, dass der Betreiber eines bestehenden und neuen Wärmenetzes sicherstellen muss, dass dieses den gesetzlichen Vorgaben, also dem WPG entspricht (BMWSB, 2024).

Gebäudeenergiegesetz

Das GEG trat am 1. November 2020 in Kraft und wurde seither mehrfach novelliert. Zum 1. Januar 2023 wurde der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf für Neubauten von 75 % auf 55 % des Referenzgebäudes gesenkt. Seit der zweiten Novellierung des GEG im Jahr 2024 ist die 65%-Anforderung für neue Heizungssysteme in Neubaugebieten verbindlich, nach der neu eingebaute oder aufgestellte Heizungssysteme 65% ihrer Wärme mit erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme erzeugen müssen. Für Bestandsgebäude und Neubauten in Bestandsgebieten ist die 65%-Klausel an die Fristen der kommunalen Wärmeplanung gekoppelt. Diese muss spätestens bis 30.06.2028 für alle Kommunen bundesweit vorliegen. Kommunen mit über 100.000 Einwohnern müssen die Wärmeplanung bis spätestens 30.06.2026 vorlegen. Abbildung 2 zeigt die Anforderungen an Heizungstechnologien mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen für Bestandsgebäude und Neubauten in Bestandsgebieten, die ab dem 01.01.2024 installiert wurden oder werden, sowohl vor als auch nach Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanung.

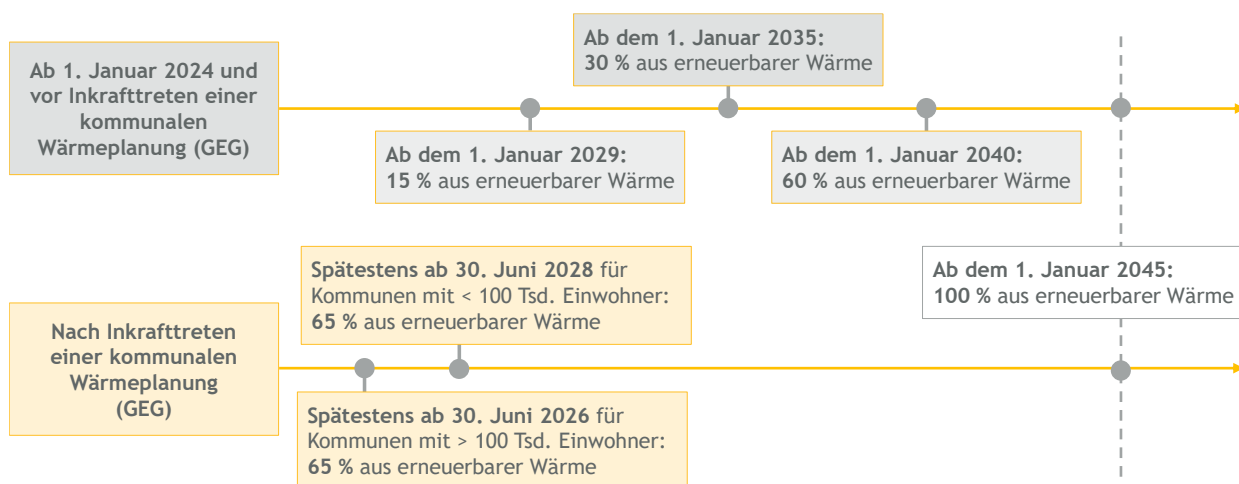


Abbildung 2: Anforderungen an neue Heizungssysteme mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen in Bestandsgebäuden oder Neubauten in Bestandsgebieten

Vor Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanung und ab dem 1. Januar 2024 müssen neue Heizungssysteme mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen definierte Anteile erneuerbarer

Energien gemäß § 71 Absatz 9 GEG aufweisen. Die gesetzlichen Anforderungen erlauben eine schrittweise Umstellung von fossil betriebenen Heizungssystemen auf Biomasse, grünen oder blauen Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate. Die konkreten Anteile sind in Abbildung 2 dargestellt.

Ab Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanung gilt die 65%-Klausel gemäß § 71 Absatz 1 GEG. Dabei nennt §71 Absatz 3 GEG mehrere konkrete Erfüllungsoptionen:

- Hausübergabestation zum Anschluss an ein Wärmenetz
- Elektrisch angetriebene Wärmepumpe
- Stromdirektheizung
- Solarthermische Anlage
- Heizungsanlage zur Nutzung von Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate
- Wärmepumpen-Hybridheizung bestehend aus einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe in Kombination mit einer Gas-, Biomasse- oder Flüssigbrennstofffeuerung
- Solarthermie-Hybridheizung bestehend aus einer solarthermischen Anlage in Kombination mit einer Gas-, Biomasse- oder Flüssigbrennstofffeuerung

Gebäudeeigner, die einen Anschluss an ein Wärmenetz vom Netzbetreiber gemäß § 71j Absatz 1 GEG zugesagt bekommen, können vorübergehend fossile Heizungstechnologien einbauen. Dabei sind sie verpflichtet einen Liefervertrag von mindestens 65% aus erneuerbarer Wärme vorzulegen. Nach Vertragsschluss des Liefervertrages muss der Wärmenetzbetreiber spätestens nach 10 Jahren das Gebäude mit Wärme beliefern. Zudem ist der Wärmenetzbetreiber gemäß §71j Absatz 1 GEG verpflichtet ein Wärmenetzausbau- und dekarbonisierungsfahrplan mit zwei- bis dreijährlichen Meilensteinen für die Erschließung des Gebiets mit einem Wärmenetz vorzulegen.

Zum Einbau einer 100%-H₂-ready Gasheizung, die vorerst mit Erdgas betrieben wird, muss das Gebiet in der kommunalen Wärmeplanung zu einem Wasserstoffausbaugebiet ausgewiesen worden sein. Zusätzlich muss der Gasnetzbetreiber gemäß §71k GEG einen verbindlichen Fahrplan zur Umstellung der Netzinfrastruktur auf die Versorgung der Anschlussnehmenden mit Wasserstoff vorlegen. Der verbindliche Fahrplan wird von der Bundesnetzagentur alle drei Jahre überprüft. Ist die Umstellung der Netzinfrastruktur bis spätestens 31. Dezember 2044 nicht erfolgt, gilt für die Gebäudeeigner die Anforderung von 100% erneuerbarer Wärme.

Falls der Ausbau des Wärme- oder Wasserstoffnetzes eingestellt wird oder der Netzbetreiber die Anforderungen gemäß GEG nicht erfüllt, muss innerhalb von drei Jahren auf eine Heizung umgerüstet werden, die mindestens 65 % erneuerbare Energien nutzt. Gebäudeeigner haben in diesen Fällen einen Erstattungsanspruch gegenüber den Betreibern des Gasverteils- oder Wärmenetzes.

Weitere Übergangsfristen bei mittelbaren Optionen werden bei Fällen einer Heizungshaverie festgelegt. Übergangsweise kann eine fossile Heizungsanlage für eine maximale Betriebsdauer von 5 Jahren installiert werden. Nach Ablauf der 5 Jahren gilt die 65%-Klausel gemäß § 71 Absatz 1 GEG.

Eine weitere Vorgabe im GEG ist das Betriebsverbot für Heizkessel, die mit einem flüssigen oder gasförmigen Brennstoff beschickt werden und die vor dem 1. Januar 1991 eingebaut wurden (§ 72 Absatz 1) oder eine Lebensdauer von 30 Jahren überschreiten (§ 72 Absatz 2). Niedertemperatur-Heizkessel und Brennwertkessel sind von der Regelung ausgenommen. Des Weiteren ist in § 72 Absatz 4 geregelt, dass Heizkessel längstens bis zum Ablauf des 31. Dezember 2044 mit fossilen Brennstoffen betrieben werden dürfen.

3 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Berechnung der Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands erläutert. Hierbei wird in Kapitel 3.1 zunächst das EWI-Gebäudemodell beschrieben, das zur Abbildung des Wohngebäudesektors verwendet wird. Im Kapitel 3.2 werden die Anpassungen des Gebäudemodells zur Modellierung des GEG detaillierter erläutert.

3.1 EWI-Gebäudemodell

Das EWI-Gebäudemodell ist ein Bottom-up-Modell des deutschen Gebäudesektors. Es umfasst einen Wohngebäude- und einen Nichtwohngebäudeteil, wobei in dieser Analyse lediglich der Wohngebäudeteil eingesetzt wird. Ausgehend von Basisannahmen zum Gebäude- und Heizungsbestand des Jahres 2022, die in Kapitel 4.1 erläutert werden, berechnet das Modell basierend auf gewählten Szenarioannahmen potenzielle Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands und des Endenergiebedarfs. Dabei werden keine Kosten betrachtet und es findet im Modell keine Optimierung statt - alle Entwicklungen basieren auf den zuvor definierten Szenarioannahmen.

Abbildung 3 zeigt das Vorgehen zur Berechnung der Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands schematisch. Dabei erfolgt im Modell die Berechnung des Gebäudebestands und des Heizungsbestands sequenziell.

Die Entwicklung des Gebäudebestands wird in 3 Schritten modelliert. Im ersten Schritt wird der Abriss modelliert. Dabei werden Gebäude aus dem in den Basisannahmen definierten Gebäudebestand entfernt. Im zweiten Schritt, dem Neubau, werden dem Gebäudebestand neu errichtete Gebäude hinzugefügt. Im dritten Schritt, der Sanierung, wird die Energieeffizienzklasse von im Gebäudebestand vorhandenen Gebäuden verbessert. Die Entwicklung beruht dabei auf Abriss-, Neubau- und Sanierungsraten. Diese werden in den Szenarioannahmen festgelegt.

Die Entwicklung des Heizungsbestands wird über den Ausbau und den Einbau von Heizungen berechnet. Der Ausbau von Heizungen, und damit die Entfernung aus dem Heizungsbestand, erfolgt basierend auf einer vom Alter der Heizungen abhängigen Austauschwahrscheinlichkeit. Gebäude mit ausgebauter Heizung sowie neugebaute Gebäude werden mit neuen Heizungen ausgestattet und diese Heizungen dem Heizungsbestand hinzugefügt. Die Heizungstechnologie dieser hinzugefügten Heizungen wird durch die in den Szenarioannahmen gewählten Anteile von Heizungstechnologien bestimmt.

Basierend auf der berechneten Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands sowie den in den Basisannahmen definierten Nutzenergiebedarf, Erzeugeraufwandzahlen¹ und Emissionsfaktoren werden Endenergiebedarfe berechnet.

¹ Die Erzeugeraufwandzahl beschreibt die Effizienz einer Heizung, ausgedrückt als Verhältnis von eingesetzter Endenergie zur erhaltenen Nutzenergie.

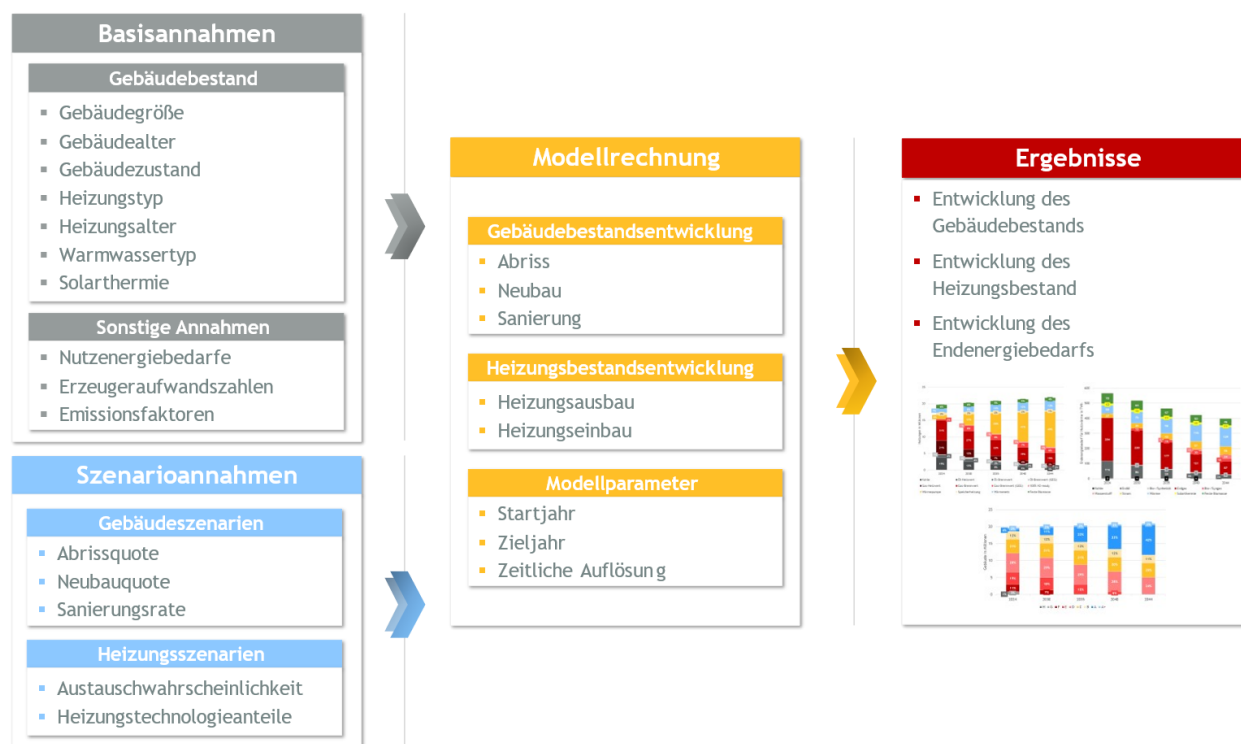


Abbildung 3: Schematische Darstellung des EWI-Gebäudemodells

Im Folgenden wird der Aufbau und die Funktionsweise des EWI-Gebäudemodells im Detail beschrieben. Dazu werden in Kapitel 3.1.1 die Gebäudekategorien beschrieben, die genutzt werden, um die Gebäudetypen des Gebäudebestands zu definieren. In Kapitel 3.1.2 wird die Modellierung der Gebäudeentwicklung über Abriss-, Neubau- und Sanierung dargelegt. In Kapitel 3.1.3 wird die Modellierung der Heizungsbestandsentwicklung über den Heizungsausbau und -einbau erläutert.

3.1.1 Gebäudekategorien

Im EWI-Gebäudemodell wird ein Gebäudebestand abgebildet, der sich basierend auf den vorgegebenen Parametern jährlich verändert. Dieser Gebäudebestand setzt sich aus repräsentativen Gebäuden zusammen, die anhand von sieben Gebäudekategorien definiert werden, durch die sich Wohngebäude unterscheiden lassen. Jede Gebäudekategorie weist verschiedene Ausprägungen auf, sodass durch die Kombination aller Ausprägungen sämtliche mögliche Gebäudekonfigurationen abgebildet werden. Eine solche Kombination von Ausprägungen wird als Gebäudetyp bezeichnet. Im Folgenden werden die sieben Gebäudekategorien einzeln erläutert.

Gebäudegröße

Im Modell wird nach der Anzahl der Wohnungen pro Gebäude unterschieden. Diese Unterscheidung ist durch die Ausprägungen Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus mit 2-6 Wohnungen und Mehrfamilienhaus mit mehr als 6 Wohnungen im Modell abgebildet.

Gebäudealter

Der Gebäudebestand wird im Modell in fünf Baualtersklassen eingeteilt: Gebäude, die vor 1980, von 1980 bis 1999, von 2000 bis 2009, von 2010 bis 2019 sowie von 2020 bis 2024 erbaut wurden. Neue Baualtersklassen werden im Zuge des Neubaus im Modell in Intervallen von jeweils fünf Jahren neu angelegt, also bspw. für Gebäude, die im Zeitraum von 2025 bis 2029 neu errichtet werden.

Gebäudezustand

Der Gebäudezustand wird im Modell anhand der Energieeffizienzklassen A+ bis H für Wohngebäude gemäß Anlage 10 des GEG eingeteilt. Diese Klassen geben den Endenergieverbrauch in kWh pro m² Gebäudenutzfläche und Jahr an und reichen von ≤ 30 kWh/(m²a) in Energieeffizienzklasse A+ bis > 250 kWh/(m²a) in Energieeffizienzklasse H.

Heizungstyp

Der Heizungsbestand wird im Modell nach der Heizungstechnologie unterschieden, die die gesamte oder den Großteil der Raumwärme bereitstellt. Im Heizungsbestand 2022 liegen die Ausprägungen Öl- und Gaskessel (als Brennwert- oder Heizwertkessel), Wärmepumpen, Speicherheizungen, Wärmenetze, Biomasseheizungen und Kohleheizungen vor. Die zukünftig relevante Heizungstechnologie 100%-H₂-ready Gasheizungen ist ebenfalls als Ausprägung angelegt.

Zusätzlich werden im Modell regulatorische Heizungsklassen zur Abbildung der Vorgaben des GEGs abgebildet. Obwohl in diesen Ausprägungen die gleiche Heizungstechnologie wie in anderen bereits bestehenden Ausprägungen vorliegt, wird hier unterschieden, da das GEG Vorgaben zur Verwendung von Energieträgern abhängig vom Installationszeitpunkt der Heizungen macht. Dadurch liefern Heizungen in diesen Ausprägungen einen anderen Beitrag zu den berechneten Endenergiebedarfen. Konkret sind dies die Ausprägungen Öl- und Gas-Brennwertkessel, die zwischen 2024 und 2027 installiert wurden und im Zeitverlauf Vorgaben für erneuerbare Energien erfüllen müssen, sowie Öl- und Gas-Brennwertkessel, die ab 2028 installiert werden und ab Installationszeitpunkt mindestens 65% der Wärme erneuerbar liefern müssen. Die genaue Umsetzung der regulatorischen Klassen wird in Kapitel 3.2 im Detail beschrieben.

Heizungsalter

In der Gebäudekategorie Heizungsalter werden die Ausprägungen im Modell anhand von 5-Jahres-Intervallen, beginnend im Jahr 1975, angelegt. Ein Beispiel für eine Ausprägung sind Heizungen, die im Zeitraum von 1975 - 1979 installiert wurden. Hinzu kommt eine einzige Ausprägung für alle Heizungen, die vor 1975 installiert wurden. Im Startjahr 2022 liegen im Modell damit elf Ausprägungen des Heizungsalters vor. Analog zum Gebäudealter werden während der Berechnung des Heizungseinbauprozesses im Modell neue Heizungsaltersklassen in 5-Jahres-Intervallen angelegt, bspw. für Heizungen, die im Zeitraum von 2025 bis 2029 neu installiert wurden.

Warmwasserversorgung

Im Modell wird die Warmwasserversorgung in vier Ausprägungen unterschieden: Warmwasserversorgung über die Zentralheizung, über einen zusätzlichen strombetriebenen Wärmeerzeuger, über einen zusätzlichen gasbetriebenen Wärmeerzeuger oder über eine Solarthermieanlage. In der letzteren Ausprägung wird angenommen, dass die Solarthermieanlage den Warmwasserbedarf nicht komplett decken kann. Deshalb wird der übrige Bedarf in der Endenergiebedarfsberechnung der zentralen Heizung zugeordnet.

Solarthermieunterstützung für Raumwärme

Diese Gebäudekategorie legt im Modell fest, ob eine Solarthermieanlage zusätzlich zur Raumwärme beiträgt. Konkret liegen im Modell zwei Ausprägungen vor: Ohne oder mit Unterstützung der Raumwärmeversorgung durch Solarthermie. Solarthermie wird hier als sekundäre Wärmequelle betrachtet und reduziert den von der zentralen Heizung benötigten Endenergiebedarf zur Bereitstellung der Raumwärme.

Energetische Gebäudekennwerte

Basierend auf der Kombination aller Ausprägungen der sieben Gebäudekategorien entstehen für den Anfangsbestand im Jahr 2022 118.800 mögliche Gebäudetypen. Diesen Gebäudetypen werden Nutzenergiebedarfe und Erzeugeraufwandszahlen für Raumwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom zugewiesen, die von den Ausprägungen der Gebäudekategorien abhängen. Dieser Zusammenhang ist in dargestellt: Die angegebenen Parameter beeinflussen die energetischen Kennwerte (in den Spalten) für die Einsatzbereiche (in den Zeilen). Aus den Nutzenergiebedarfen und Erzeugeraufwandszahlen werden im Modell die Endenergiebedarfe berechnet. Die Verteilung des Wohngebäudebestands auf die beschriebenen Gebäudetypen sowie die Annahmen zu den Energiebedarfen werden im Kapitel 4.1 beschrieben.

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Gebäudekategorien und energetischen Kennwerten

| | Nutzenergiebedarf | Erzeugeraufwandszahl | Endenergiebedarf |
|----------------|--------------------------------|---|--|
| Raumwärme | Gebäudegröße Gebäudezustand | Heizungstyp Heizungsalter | Nutzenergiebedarf Erzeugeraufwandszahl Solarthermieunterstützung |
| Warmwasser | Gebäudegröße | Warmwassertyp Heizungstyp Heizungsalter | Nutzenergiebedarf Erzeugeraufwandszahl |
| Haushaltsstrom | Gebäudegröße | - | Nutzenergiebedarf |

3.1.2 Modellierung der Gebäudebestandsentwicklung

Im Gebäudemodell werden die in den Szenarioannahmen festgelegten Entwicklungen umgesetzt, wodurch der in den Basisannahmen beschriebene Gebäudebestand jährlich modifiziert wird. In jedem Jahr erfolgen nacheinander Abriss, Neubau und Sanierung. Am Ende eines Jahres ergibt sich ein aktualisierter Gebäudebestand, der als Grundlage für das folgende Jahr dient. Die Modellierung dieser drei Schritte wird im Folgenden kurz erläutert.

Abriss

Die Modellierung des Abrisses basiert auf der Szenarioannahme einer jährlichen Abrissrate sowie einer Verteilung der Abrissobjekte nach Gebäudegröße. Die Abrissrate wird mit dem Gebäudebestand multipliziert, um die Gesamtzahl der abzureißenden Objekte zu bestimmen. Anschließend wird diese Gesamtzahl proportional zu den Anteilen der Gebäudegrößen aufgeteilt. Für den Abriss werden Gebäude mit folgenden Eigenschaften zuerst berücksichtigt:

- Gebäude aus der ältesten Baualtersklasse
- Gebäude in der schlechtesten Energieeffizienzklasse
- Gebäude mit den ältesten Heizungen

Wird die vorgegebene Anzahl an Abrissobjekten durch diese Kriterien nicht erreicht, werden schrittweise weitere Gebäude abgerissen: zunächst aus der nächstjüngeren Heizungsaltersklasse und, falls erforderlich, aus der nächstbesseren Energieeffizienzklasse. Nach vollzogenem Abriss wird der Gebäudebestand im jeweiligen Jahr entsprechend aktualisiert.

Neubau

Die Szenarioannahmen zur Modellierung des Neubaus umfassen eine jährliche Neubaurate und Angaben zu den Eigenschaften der neu errichteten Gebäude. Über die Neubaurate wird zunächst die Gesamtzahl an neuen Gebäuden bestimmt. Die Gebäudeeigenschaften für Neubauten werden durch die Szenarioannahmen jahresspezifisch vorgegeben. Konkret umfassen diese die Aufteilungen in den Gebäudekategorien Gebäudegröße, Gebäudezustand, Warmwassertyp und Solarthermieunterstützung. Die Verteilung in der Gebäudekategorie Gebäudezustand kann dabei separat für Einfamilienhäuser sowie kleine und große Mehrfamilienhäuser angegeben werden, während die Verteilung in den Gebäudekategorien Warmwasser und Solarthermieunterstützung für alle Neubauten einheitlich gilt. Da in der Gebäudekategorie Gebäudealter im Gebäudebestand nur Altersklassen bis 2025 angelegt sind, werden neue Ausprägungen dieser Gebäudekategorie in der Modellierung ergänzt und damit neue Gebäudetypen für Neubauten angelegt. Die Werte für die Nutzenergiebedarfe werden von dem Gebäudetyp aus der jüngsten vorhandenen Baualtersklasse mit den ansonsten gleichen Ausprägungen übernommen. Die neu errichteten Gebäude werden anschließend dem Gebäudebestand hinzugefügt.

Sanierung

Die Gebäudesanierung wird durch die Szenarioannahmen einer jährlichen Sanierungsrate sowie definierte Sanierungsprozesse modelliert. Die Sanierungsrate drückt aus, wie viele Vollsanierungen pro Jahr stattfinden sollen, wobei die Berechnungen in Vollsanierungsäquivalenten erfolgen, da nicht jeder Sanierungsprozess einer vollständigen Sanierung entspricht. Eine Gewichtung nach Gebäudegröße ermöglicht die Aufteilung der Sanierungskapazitäten auf Einfamilienhäuser sowie kleine und große Mehrfamilienhäuser.

Die Sanierungsprozesse sind durch Energieeffizienzklassen im Ausgangs- und Zielzustand spezifiziert. Dabei wird angenommen, dass ab einer Nutzenergieeinsparung von 120 kWh/(m²a) eine Sanierung als Vollsanierung gilt, während Prozesse mit geringeren Einsparungen entsprechend niedriger gewichtet werden. So führt beispielsweise die Sanierung eines Gebäudes der Energieeffizienzkategorie F in die Kategorie C zu einer Einsparung von 92 kWh/(m²a) und wird mit einem Gewicht von 0,77 einer Vollsanierung berücksichtigt.

Da die Sanierungsprozesse in den szenariospezifischen Annahmen direkt vorgegeben werden, kann es zu Abweichungen kommen, wenn im Ausgangszustand nicht genügend geeignete Gebäude verfügbar sind. In diesem Fall wird ein Abgleich durchgeführt, bei dem die geplanten Sanierungen mit den tatsächlich möglichen abgeglichen werden. Um die Sanierungsrate dennoch zu erreichen, werden zusätzliche Gebäude aus der niedrigsten Energieeffizienzkategorie in die Kategorie A saniert, bis die Vorgabe erfüllt ist.

3.1.3 Modellierung der Heizungsbestandsentwicklung

Neben der Entwicklung des Gebäudebestands wird auch der in den Basisannahmen definierte Heizungsbestand jährlich auf Basis der Szenarioannahmen modifiziert. Während Abriss und Neubau von Wohngebäuden den Heizungsbestand ebenfalls beeinflussen, erfolgt der größte Einfluss durch den Aus- und Einbau von Heizungen, der jährlich nach den Schritten Abriss, Neubau und Sanierung durchgeführt wird. Wie dieser Heizungsaustausch sowie der Heizungseinbau in Neubauten modelltechnisch umgesetzt wird, wird im Folgenden erläutert.

Heizungsausbau

Um den Heizungsausbau zu modellieren, werden Gebäude identifiziert, bei denen ein Austausch der Heizung erforderlich ist. Grundlage dafür sind vorgegebene Austauschwahrscheinlichkeiten, die von der Heizungstechnologie und dem Alter der Heizung abhängen.

Die Austauschwahrscheinlichkeiten sind in 5-Jahres-Intervallen definiert und geben beispielsweise an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Heizung einer bestimmten Technologie im Alter von 15 bis 20 Jahren im betrachteten Zeitraum ausgetauscht wird. Die Verwendung von 5-Jahres-Intervallen ist notwendig, da auch die Heizungsaltersklassen in diesen Intervallen angegeben sind.

Heizungseinbau

Sowohl für Gebäude mit ausgebauter Heizung als auch für Neubauten werden im letzten Schritt neue Heizungen definiert. Diese Heizungen werden dem Heizungsbestand hinzugefügt, wobei die Wahl der Heizungstechnologie durch die in den Szenarioannahmen festgelegten Anteile bestimmt wird. Für die drei betrachteten Gebäudegrößen (Einfamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser, große Mehrfamilienhäuser) können separate Verteilungen der Heizungstechnologien definiert werden.

In den Annahmen zum Heizungseinbau in Bestandsgebäuden wird zudem definiert, welche Ausgangstechnologien durch welche Zieltechnologien ersetzt werden können und es wird angenommen, dass bestimmte Technologien nur unter spezifischen Gebäudebedingungen installiert werden können. So wird beispielsweise vorausgesetzt, dass Wärmepumpen nur in Gebäuden mit einer Energieeffizienzklasse von E oder besser eingesetzt werden können.

Die Umsetzung erfolgt, indem für jedes Gebäude die Ausgangstechnologie und der Gebäudezustand geprüft werden. Auf Basis der vorgegebenen Verteilungen und Einschränkungen wird anschließend die jeweils passende Heizungstechnologie zugewiesen. Der Heizungseinbau erfolgt dabei zunächst in Gebäuden mit Einschränkungen und anschließend in Gebäuden ohne Einschränkungen, um die Zielverteilung zu erreichen.

Da in der Gebäudekategorie Heizungsalter im Gebäudebestand nur Altersklassen bis 2025 angelegt sind, werden neue Ausprägungen dieser Gebäudekategorie in der Modellierung ergänzt und damit neue Gebäudetypen angelegt. Die Werte für die Erzeugeraufwandzahlen werden von dem Gebäudetyp aus der jüngsten vorhandenen Heizungsklasse mit den ansonsten gleichen Ausprägungen übernommen.

3.2 Abbildung der aktuellen Gesetzgebung im EWI-Gebäudemodell

In dieser Analyse werden die Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands innerhalb des aktuellen gesetzgeberischen Rahmens aufgespannt. Die Entwicklungspfade berücksichtigen die Anforderungen an neue Heizungssysteme gemäß § 71 Absatz 1 GEG und die Vorgaben zu den Anteilen erneuerbarer Energien gemäß § 71 Absatz 9 GEG und § 29 und § 30 WPG. Im Folgenden werden die Implikationen des gesetzgeberischen Rahmens für das EWI-Gebäudemodell skizziert.

Die zweite Novellierung des GEG soll dazu beitragen, die Nutzung erneuerbarer Endenergieträger zu erhöhen. Inwiefern sich der Endenergieträgereinsatz vom GEG beeinflusst ist, hängt dabei von zwei wesentlichen Faktoren ab: dem Anschaffungszeitpunkt und dem Einsatz von mittelbaren Optionen (vgl. Kapitel 2). Um den Zeitpunkt der Anschaffung und den Einsatz mittelbarer Optionen im EWI-Gebäudemodell für Öl- und Gasheizungen abzubilden werden diese Heizungstechnologien in vier Klassen unterteilt:

- **Öl- und Gasheizungen ohne Vorgaben**, die vor dem 01.01.2024 und damit vor der zweiten Novellierung des GEGs eingebaut worden sind

- **Öl- und Gasheizungen mit schrittweiser erneuerbarer Wärme** (gemäß § 71 Absatz 9 GEG), die zwischen dem 01.01.2024 und dem 31.12.2027 eingebaut worden sind (Der 31.12.2027 ist eine vereinfachte Annäherung für das Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanungen)
- **Öl- und Gasheizungen mit 65% erneuerbarer Wärme** (gemäß § 71 Absatz 1 GEG), die ab dem 31.07.2027 eingebaut werden
- **100%-H₂-ready Gasheizungen als Übergang zum Wasserstoffnetzanschluss** (gemäß §71k GEG)

Diese Klassen stellen näherungsweise die regulatorischen Zeitabschnitte während und nach Inkrafttreten der kommunalen Wärmeplanung dar.

Aufgrund der Vorgaben des GEG müssen bestimmte Klassen von Heizungstechnologien ihre eingesetzten Endenergieträger bis 2044 anpassen. Zur modelltechnischen Umsetzung wird für jede Heizungstechnologie und jedes Jahr angenommen, welcher Anteil des Endenergiebedarfs durch welche Endenergieträger gedeckt wird. Das betrifft Öl- und Gasheizungen, die festgelegte Quoten an Biobrennstoffen erfüllen müssen, sowie H₂-ready Gasheizungen, bei denen ab einem bestimmten Zeitpunkt ein jährlich steigender Wasserstoffanteil am Endenergiebedarf angenommen wird.

Um Komplexität im Modell und in der Darstellung zu verringern, werden Öl- und Gasheizungen, die als Übergang für den Anschluss an ein Wärmenetz eingebaut werden, in dieser Analyse nicht betrachtet. Zusätzlich wird das Betriebsverbots für bestimmte Heizkessel im Modell nicht separat umgesetzt, da im Modell nicht zwischen Niedertemperatur- und Konstanttemperaturkesseln unterschieden wird. Der Ausbau von Öl- und Gas-Heizwertkesseln wird daher, wie für die anderen Heizungen auch, über die Austauschwahrscheinlichkeit bestimmt. Diese Austauschwahrscheinlichkeiten werden in den Szenarioannahmen festgelegt.

4 Annahmen

In Deutschland liegt derzeit kein Datenbestand vor, der den Wohngebäudesektor mit dem für diese Analyse erforderlichen Detailgrad abbildet. Aus diesem Grund ist eine Approximation des realen Gebäude- und Heizungsbestands notwendig. In diesem Kapitel werden die Annahmen für die Berechnung der Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands beschrieben. In Kapitel 4.1 werden die Basisannahmen beschrieben, die dem EWI-Gebäudemodell zugrunde liegen. In Kapitel 4.2 werden die Szenarioannahmen beschrieben, die in dieser Analyse gewählt werden.

4.1 Basisannahmen

Ein zentraler Bestandteil der Basisannahmen des EWI-Gebäudemodells ist die Definition des Start-Gebäudebestands für das Jahr 2022, der die Grundlage für die weitere Modellierung bildet. Die Erstellung dieses Gebäudebestands erfolgt in drei Schritten. Ausgangspunkt ist der EWI-Gebäudebestand 2020, eine Datenbasis des EWI, die auf eigenen Berechnungen und Abschätzungen basiert. Der EWI-Gebäudebestand 2020 basiert u.a. auf Daten aus Hendrik Scharf et al. (2020), die wiederum auf Heitkoetter et al. (2020) beruhen, und wurde bereits in EWI (2023) verwendet. Im Rahmen dieses Projekts wird dieser Bestand auf das Jahr 2022 aktualisiert. Dafür werden unter anderem Ergebnisse des Zensus 2022 (Statistisches Bundesamt, 2024c) und die aktuelle Erhebung des Schornsteinfegerhandwerk (2023) einbezogen.

Aufbau des Gebäudebestands

Durch die Kombination aller Ausprägungen der in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Gebäudekategorien ergeben sich im Gebäudebestand 2022 insgesamt 118.800 verschiedene Gebäudetypen. Diese Gebäudetypen dienen als Grundlage, um die 19,49 Millionen Wohngebäude (Statistisches Bundesamt, 2024c) im Gebäudebestand zuzuordnen. Dabei werden repräsentative Gebäudetypen identifiziert, die charakteristisch für den realen Gebäudebestand sind, und die Wohngebäude auf diese Gebäudetypen verteilt. Zur Bestimmung dieser Verteilung wird zunächst die Häufigkeit der Ausprägungen innerhalb der sieben Gebäudekategorien bestimmt. Die zugrunde liegenden Verteilungen basieren auf den in Tabelle 2 genannten Quellen.

Tabelle 2: Quellen für die Verteilung innerhalb der Gebäudekategorien

| Gebäudekategorie | Quelle |
|---|---|
| Gebäudegröße | Zensus 2022 (Statistisches Bundesamt, 2024c) |
| Gebäudealter | Zensus 2022 (Statistisches Bundesamt, 2024c) |
| Gebäudezustand | Öko-Institut e.V. (2022) |
| Heizungstyp | Zensus 2022 (Statistisches Bundesamt, 2024c) |
| Heizungsalter | Schornsteinfegerhandwerk (2023) |
| Warmwassertyp | EWI-Gebäudebestand 2020 und Statistisches Bundesamt (2024b) |
| Solarthermieunterstützung für Raumwärme | EWI-Gebäudebestand 2020 und Statistisches Bundesamt (2024b) |

Im nächsten Schritt werden die Gebäudekategorien miteinander kombiniert, um eine möglichst realistische Verteilung auf die verschiedenen Gebäudetypen zu erzielen. Jede mögliche Kombination zweier Gebäudekategorien wird dabei einzeln betrachtet und eine Zielverteilung definiert. Da die sieben Gebäudekategorien miteinander kombiniert werden, ergeben sich insgesamt 21 Kombinationen. Die Zielverteilung in einer Kombination basiert, sofern verfügbar, auf aktuellen Quellen aus Tabelle 2. Wenn für eine Kombination keine aktuellen Quellen vorliegen, wird die Zielverteilung anhand von Ausschlusskriterien und den bisherigen Verteilungen des EWI-Gebäudebestands von 2020 bestimmt. Ein typisches Ausschlusskriterium ist beispielsweise, dass das Heizungsalter nicht höher sein kann als das Gebäudealter.

In Tabelle 3 ist die Zielverteilung für die Gebäudekategorien Gebäudegröße und Gebäudealter beispielhaft dargestellt. Die Summen am Ende der Zeilen und Spalten ergeben sich aus den bereits festgelegten Verteilungen der jeweiligen Gebäudekategorien. Durch die Kombination der Gebäudekategorien wird gewährleistet, dass realitätsnahe und repräsentative Gebäudetypen entstehen. In der gezeigten Kombination stammt die Verteilung für die Baualtersklasse 2020-2024 aus Statistisches Bundesamt (2024b). Die Verteilung der übrigen Baualtersklassen wurde weitgehend aus dem EWI-Gebäudebestand 2020 übernommen und so angepasst, dass die neuen vorgegebenen Zielwerte für die Summen eingehalten werden.

Tabelle 3: Zielverteilung für die Kombination der Gebäudekategorien Gebäudegröße und Gebäudealter

| Ausprägungen | < 1980 | 1980 bis 1999 | 2000 bis 2009 | 2010 bis 2019 | 2020 bis 2024 | Summe |
|-----------------------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| Einfamilienhaus | 7.456.849 | 3.131.632 | 1.457.318 | 1.028.339 | 96.202 | 13.170.340 |
| Kleines Mehrfamilienhaus | 3.845.829 | 818.885 | 233.456 | 150.964 | 63.095 | 5.112.229 |
| Großes Mehrfamilienhaus | 615.254 | 395.557 | 37.883 | 110.529 | 47.183 | 1.206.406 |
| Summe | 11.917.932 | 4.346.073 | 1.728.657 | 1.289.833 | 206.480 | 19.488.975 |

Basierend auf den Vorgaben für die sieben Gebäudekategorien und den Festlegungen für alle 21 Kombinationen zweier Gebäudekategorien, werden alle Wohngebäude den Gebäudetypen zugeordnet. Da aufgrund unterschiedlicher Datenquellen keine exakte Verteilung entsprechend der Zielverteilungen möglich ist, werden die Kombinationen priorisiert, die für die Analyse besonders relevant sind. Dazu zählen insbesondere die Kombinationen von Heizungstyp und Heizungsalter, Heizungstyp und Gebäudegröße sowie Heizungstyp und Gebäudezustand. Anschließend wird mithilfe eines Optimierungsmodells eine Verteilung auf die Gebäudetypen berechnet, die möglichst geringe Abweichungen von den gewichteten Zielverteilungen aufweist. Durch diesen Prozess werden letztlich etwa 400 repräsentative Gebäudetypen identifiziert, welchen die 19,49 Millionen Wohngebäude zugeordnet werden.

Zuweisen weiterer Gebäudekennwerte

Für die Gebäudetypen müssen spezifische Kennwerte definiert werden, darunter Nutzflächen, Nutzenergiebedarfe für Raumwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom, Erzeugeraufwandzahlen sowie Annahmen zu sekundären Wärmeerzeugern.

Um den Gebäudetypen Nutzenergiebedarfe zuzuweisen, wird zunächst die durchschnittliche Wohnfläche basierend auf dem EWI-Gebäudebestand 2020 und der durchschnittlichen Wohnungsfläche des Jahres 2021 gemäß Statistisches Bundesamt (2023) abgeschätzt. Dabei wird berücksichtigt, dass die Wohnfläche maßgeblich von der Gebäudegröße und, in geringerem Maße, vom Gebäudealter beeinflusst wird.

Abhängig vom Gebäudezustand werden den Gebäudetypen Nutzenergiebedarfe zugewiesen. Da die Ausprägungen der Gebäudekategorie „Gebäudezustand“ auf den Energieeffizienzklassen A+ bis H basiert und diese einen flächenbezogenen Endenergieverbrauch ausweisen, orientiert sich der Nutzenergiebedarf für Raumwärme auch an diesen Effizienzklassen. Hierfür wird eine durchschnittliche Erzeugeraufwandzahl von 1,1 angenommen, um die flächenbezogenen Endenergiebedarfe der Energieeffizienzklassen in flächenbezogene Nutzenergiebedarfe umzurechnen. Es wird zudem angenommen, dass Gebäude bei einer Sanierung gerade so weit

modernisiert werden, dass die nächsthöhere Energieeffizienzklasse erreicht wird, weswegen für die Umrechnung das obere Ende des Intervalls je Energieeffizienzklassen verwendet wird. Die dadurch berechneten flächenabhängigen Nutzenergiebedarfe werden mit der angenommenen Nutzfläche multipliziert und jedem Gebäudetyp ein Nutzenergiebedarf für Raumwärme zugewiesen.

Die Nutzenergiebedarfe für Warmwasser werden basierend auf den Berechnungsformeln der DIN V 18599 (DIN Media, 2018) in Abhängigkeit der Wohnflächenannahme abgeschätzt. Der Bedarf an Haushaltsstrom wird aus dem EWI-Gebäudebestand 2020 übernommen und basiert auf Hendrik Scharf et al. (2020). Dieser hängt, wie auch der Bedarf an Warmwasser, von der Personenzahl und damit von der Gebäudekategorie „Gebäudegröße“ ab.

Für jedes Heizungs- und Warmwassersystem wird in Abhängigkeit des Heizungstyps und -alters bzw. des Warmwassertyps eine Erzeugeraufwandszahl definiert, die das Verhältnis zwischen eingesetzter Endenergie und bereitgestellter Nutzenergie darstellen. Diese Werte liegen in der Regel über 1, erreichen jedoch bei Wärmepumpen Werte von 0,2 bis 0,3 (da Umweltwärme nicht als Endenergieträger bilanziert wird). Die Erzeugeraufwandszahlen basieren auf Werten aus der DIN V 4701-10 (DIN Media, 2003).

Um nicht nur monoenergetische Heizungssysteme zu berücksichtigen, werden zusätzlich Solarthermie- und Einzelfeuerungsanlagen berücksichtigt. Während die Ausstattung mit einer Solarthermieanlage bereits im Gebäudebestand über die Gebäudekategorien „Warmwassertyp“ und „Solarthermieunterstützung für Raumwärme“ berücksichtigt ist, werden Annahmen zur Ausstattung mit Einzelfeuerungsanlagen separat getroffen. Dabei wird für jede Gebäudegröße in Kombination mit jeder Heizungstechnologie angenommen, welcher Anteil an Gebäuden mit einer Einzelfeuerungsanlage ausgestattet ist, sodass in Summe der Zielwert von 11,5 Mio. Einzelfeuerungsanlagen erreicht wird (Schornsteinfegerhandwerk, 2022). Der Endenergiebedarf dieser Anlagen wird der festen Biomasse zugewiesen.

Für Einzelfeuerungs- und Solarthermieanlagen wird festgelegt, welchen Anteil des Nutzenergiebedarfs für Raumwärme die sekundären Heizsysteme bereitstellen: Bei Einzelfeuerungsanlagen liegt dieser Anteil bei 30 %, bei Solarthermieanlagen bei 20 %. Für Solarthermieanlagen, die als primäre Warmwassertechnologie genutzt werden, wird zudem ein Deckungsgrad von 62 % für den Warmwasserbedarf angenommen. Der verbleibende Warmwasserbedarf wird über die Zentralheizung gedeckt.

Validierung

Durch die in diesem Kapitel beschriebene Methodik reproduziert der Gebäude- und Heizungsbestand im Modell die Daten der in Tabelle 2 genannten Quellen. Unsicherheiten bestehen hingegen bei der Zuweisung von Nutzenergiebedarfen und Erzeugeraufwandszahlen. Zur Validierung dieser Kennwerte wird der durch die Modellrechnung ermittelte Endenergiebedarf für das Jahr 2022 mit der Energiebilanz 2022 der AG Energiebilanzen (AGEB) verglichen.²

² Die Nutzenergiebedarfe im Gebäudemodell stellen einen langjährigen Mittelwert am Referenzstandort Potsdam dar. Um den Endenergieverbrauch mit der Energiebilanz 2022 vergleichbar zu machen, werden die Nutzenergiebedarfe im Modell basierend auf (Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) 2022) um 7 % reduziert. Dies berücksichtigt die Abweichung der Gradtagzahlen im Jahr 2022 im Verhältnis zum langjährigen Mittel am Referenzstandort Potsdam.

In Abbildung 4 ist dieser Vergleich dargestellt. Die Endenergiebedarfe, die aus dem Gebäudebestand 2022 abgeleitet wurden, reproduzieren die Werte der AGEB 2022 in ausreichender Weise. Abweichungen ergeben sich insbesondere im Gas- und Stromverbrauch, die im EWI-Gebäudemodell jeweils etwa 7 % bzw. 15 % über den Werten der AGEB liegen. Dies könnte sich dadurch erklären lassen, dass die tatsächlichen Verbrauchswerte im Jahr 2022 aufgrund der Energiekrise niedriger ausgefallen sind als unter normalen Bedingungen (Ruhnau et al., 2023). Der Endenergieverbrauch aus fester Biomasse liegt dagegen unter dem AGEB-Wert. Dies könnte sich durch eine überdurchschnittliche Nutzung von Einzelfeuerungsanlagen als Reaktion auf hohe Gaspreise erklären lassen. Insgesamt liegt der Endenergieverbrauch im Modell in ähnlicher Größenordnung wie in der AGEB und übertrifft diesen um 2 %.

Die Endenergiebedarfe für Raumwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom werden für diesen Vergleich kumuliert betrachtet. Im weiteren Verlauf dieser Analyse wird der Haushaltsstrom nicht berücksichtigt. Sämtliche Endenergieverbräuche des Energieträgers Strom beziehen sich im Folgenden ausschließlich auf die Stromverbräuche zur Raumwärme und Warmwasserbereitung.

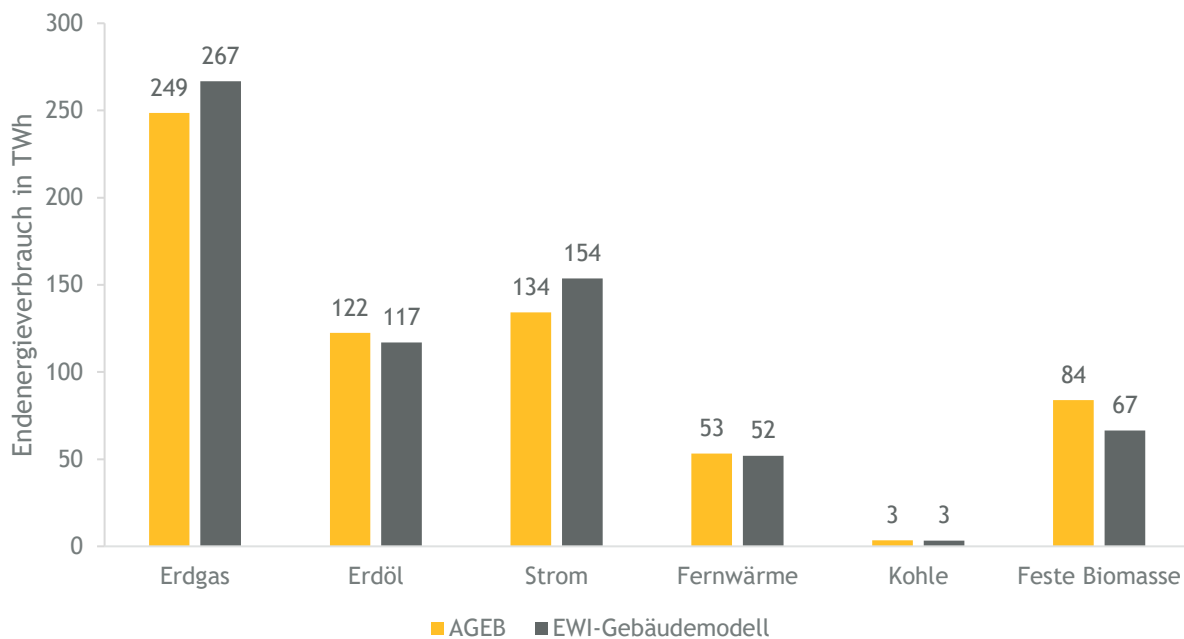


Abbildung 4: Vergleich des Endenergieverbrauchs im Jahr 2022 für AGEB und das EWI-Gebäudemodell in TWh

4.2 Szenarioannahmen

Ausgehend von den in Kapitel 4.1 beschriebenen Basisannahmen berechnet das EWI-Gebäudemodell die Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands. Die Berechnungen basieren auf zusätzlichen Szenarioannahmen, die im folgenden beschrieben werden. In Kapitel 4.2.1 werden die Herleitung und die definierten Werte der Austauschwahrscheinlichkeiten beschrieben. In Kapitel 4.2.2 werden die Szenarioannahmen beschrieben, die die kurzfristige Entwicklung bis zum Jahr 2024 realitätsnah abbilden sollen. In Kapitel 4.2.3 werden die Szenarioannahmen zur langfristigen Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands in jeweils zwei Gebäude- und Heizungsszenarien beschrieben.

4.2.1 Austauschwahrscheinlichkeiten

Abhängig vom Alter und der Technologie einer Heizung definieren die Austauschwahrscheinlichkeiten, ob eine Heizung ausgebaut wird (vgl. Kapitel 3.1.3). Die Austauschwahrscheinlichkeiten für diese Analyse werden auf Basis historischer Daten hergeleitet. Dafür werden Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks aus den Jahren 2019 bis 2023 ausgewertet (Schornsteinfegerhandwerk 2023; 2022, 2021, 2020, 2019). Aus den Daten zum Bestand an Öl- und Gasheizungen in den jeweiligen Altersklassen werden mittlere jährliche Austauschwahrscheinlichkeiten abgeleitet.

Für andere Heiztechnologien, zu denen entweder keine Daten vorliegen oder deren Bestände noch zu jung sind, werden die Austauschwahrscheinlichkeiten anhand der Werte von Öl-Heizwertkesseln und der rechnerischen Lebensdauer aus VDI (2012) bestimmt. Da Öl-Heizwertkessel eine längere rechnerische Lebensdauer aufweisen als Wärmepumpen oder Heizungen mit fester Biomasse, werden die Wahrscheinlichkeiten dieser Technologien entsprechend dem Verhältnis der Lebensdauern angepasst. Es wird angenommen, dass Öl-Heizwertkessel die tatsächliche Lebensdauer von Heizungsanlagen am besten abbilden, während Gas-Heizwertkessel häufiger vorzeitig durch effizientere Brennwertheizungen ersetzt werden.

In Abbildung 5 sind die Austauschwahrscheinlichkeiten pro Heizungstechnologie dargestellt. Bereits in sehr geringem Alter besteht eine geringe Austauschwahrscheinlichkeit. Mit zunehmenden Alter steigen die Austauschwahrscheinlichkeiten. Ab einem Alter von mehr als 45 Jahren werden die Austauschwahrscheinlichkeiten abweichend von den historischen Daten auf 100% gesetzt, sodass Heizungen bei Erreichung eines Alters von mehr als 45 Jahren ausgebaut werden. Die historischen Daten zeigen, dass Heizungen ihre rechnerischen Lebensdauern von meist 20 Jahren deutlich überschreiten können.

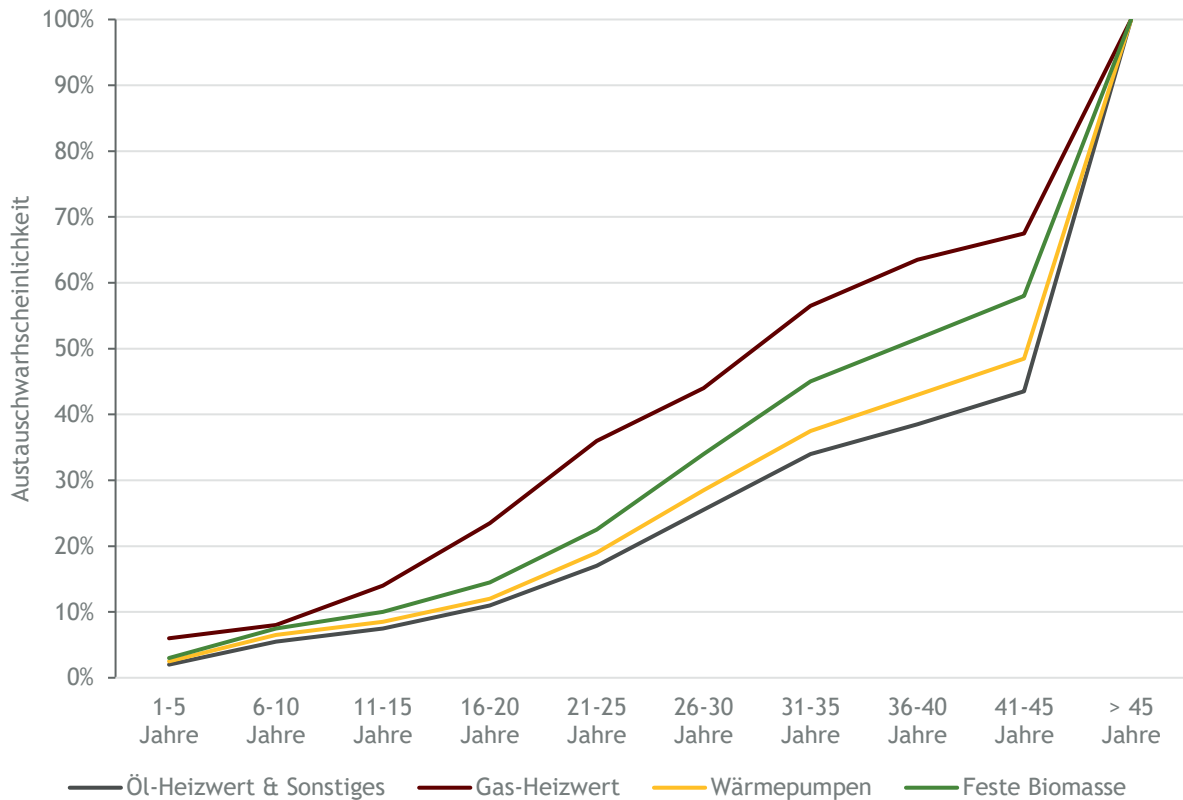


Abbildung 5: Austauschwahrscheinlichkeiten je Heizungstyp (in 5-Jahres-Intervallen)

4.2.2 Kurzfristige Entwicklung

Mit der kurzfristigen Entwicklung wird in dieser Analyse der Zeitraum vom Jahr 2022 bis 2024 beschrieben, für den teilweise oder vollständig Realdaten vorliegen. Um diese Realdaten anzunähern wird im EWI-Gebäudemodell eine Berechnung über zwei Zeitschritte durchgeführt und so der Gebäude- und Heizungsbestand für das Jahr 2024 berechnet. Dazu werden Szenarioannahmen festgelegt, die an die verfügbaren Realdaten angelehnt sind.

So wird die kurzfristige Entwicklung im Gebäudebestand auf Daten von Statistisches Bundesamt (2024a) und Statistisches Bundesamt (2024b) aufgebaut. Dort können Daten zur Abrissrate und Neubaurate abgeleitet werden, sodass der neu berechnete Gebäudebestand näherungsweise den aktuellen Bestand im Jahr 2024 abbildet. Für die kurzfristige Entwicklung liegt die Abrissrate im Jahr 2023 bei 0,026 % und im Jahr 2024 bei 0,020 %. Die Neubaurate liegt sowohl 2023 als auch 2024 bei 0,49 %. Die Sanierungsrate stammt aus BuVEG (2024), wobei der Wert des ersten Halbjahrs für das gesamte Jahr 2024 angenommen wird.

Zur Berechnung der kurzfristigen Entwicklung des Heizungsbestands bis zum Jahr 2024 werden die historische Absatzzahlen vom Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) herangezogen (BDH, 2024b). Hierfür werden im Modell die Verteilungen der neu eingebauten Heizungen für die Jahre 2023 und 2024 als Annahme vorgegeben. Ab dem Jahr 2024 wird zusätzlich die Annahme getroffen, dass keine Heizwertkessel eingebaut werden, sodass die Verteilung in geringem Maße abweicht. Abbildung 6 zeigt, dass die Absatzzahlen für Gas- und Ölheizungen sowie Wärmepumpen in 2023 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich angestiegen sind. Diese Entwicklung des Heizungsabsatzmarkts deutet darauf hin, dass die Veröffentlichung und die Kommunikation der zweiten Novellierung des GEG sowie die anhaltende Energiekrise im Jahr 2023 den Absatzmarkt beeinflusst haben. Im EWI-Gebäudemodell werden entsprechend der Ausführungen in Kapitel 4.2.1 die historischen Austauschwahrscheinlichkeiten auch für das Jahr 2023 und 2024 angenommen. Aufgrund dieser Annahme unterscheidet sich die absolute Zahl der neu eingebauten Heizungen von der realen Entwicklung, da die außergewöhnliche Absatzsteigerungen nicht berücksichtigt werden.

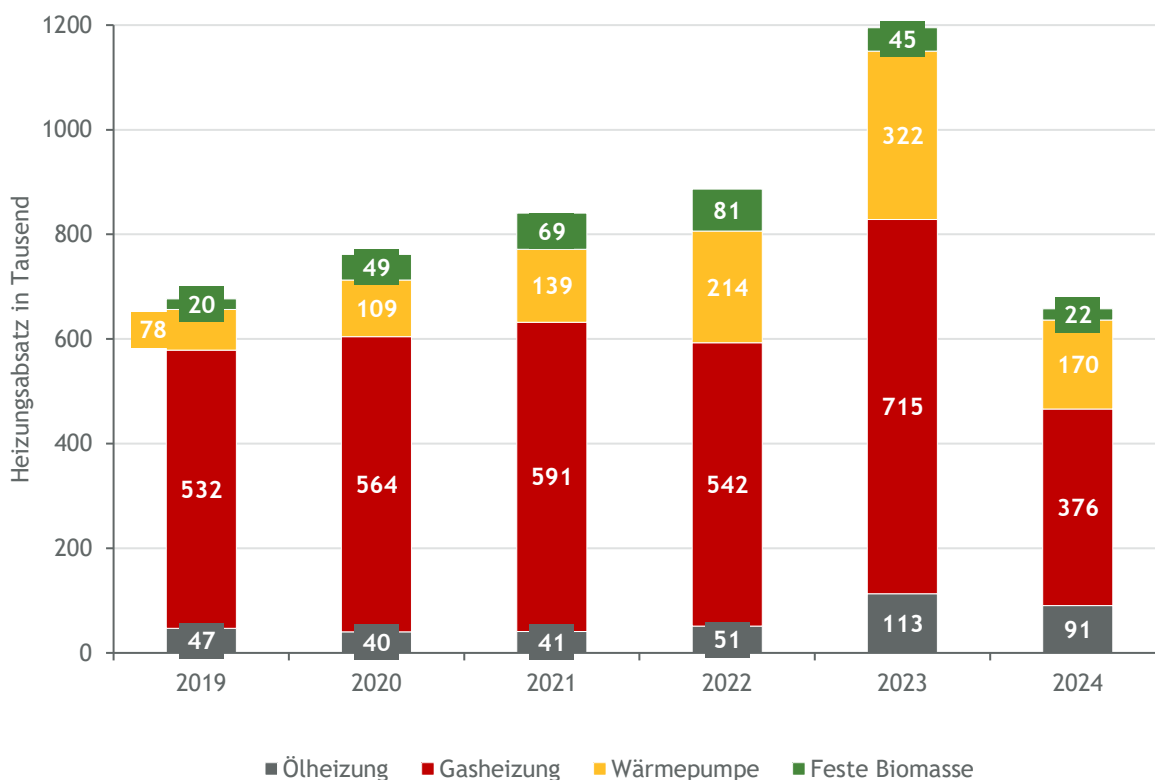


Abbildung 6: Historische Entwicklung der Heizungsabsatzzahlen im Wohngebäudesektor in Tsd. basierend auf BDH (2019-2024)

4.2.3 Langfristige Entwicklung

Als langfristige Entwicklung wird die Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands bis zum Jahr 2044 bezeichnet. Zur Untersuchung der langfristigen Entwicklung werden zwei Szenariokategorien unterschieden: Gebäudeszenarien definieren die Entwicklung des Gebäudebestandes durch Annahmen zur Abriss-, Neubau- und Sanierungsrate. Heizungsszenarien definieren die Entwicklung des Heizungsbestands durch Annahmen zur Verteilungen der Heizungstechnologien für neueingebaute Heizungen. In dieser Analyse werden die Gebäudeszenarien „Historisch“ und „dena“ sowie die Heizungsszenarien „Basis“ und „Wärmepumpe“ unterschieden. Aus der Kombination der Gebäude- und Heizungsszenarien ergeben sich die vier Szenariokombinationen:

1. „Historisch | Basis“
2. „Historisch | Wärmepumpe“
3. „dena | Basis“
4. „dena | Wärmepumpe“

Die Szenarien und deren Kombinationen sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Gebäudeszenarien beeinflussen die zukünftigen Nutzenergiebedarfe, während die Heizungsszenarien die Erzeugeraufwandzahlen sowie die eingesetzten Energieträger bestimmen. Dadurch ergeben sich in jeder Szenariokombination unterschiedliche Endenergiebedarfe. Im Folgenden werden die Gebäudeszenarien in Kapitel 4.2.3.1 sowie die Heizungsszenarien in Kapitel 4.2.3.2 detailliert beschrieben.

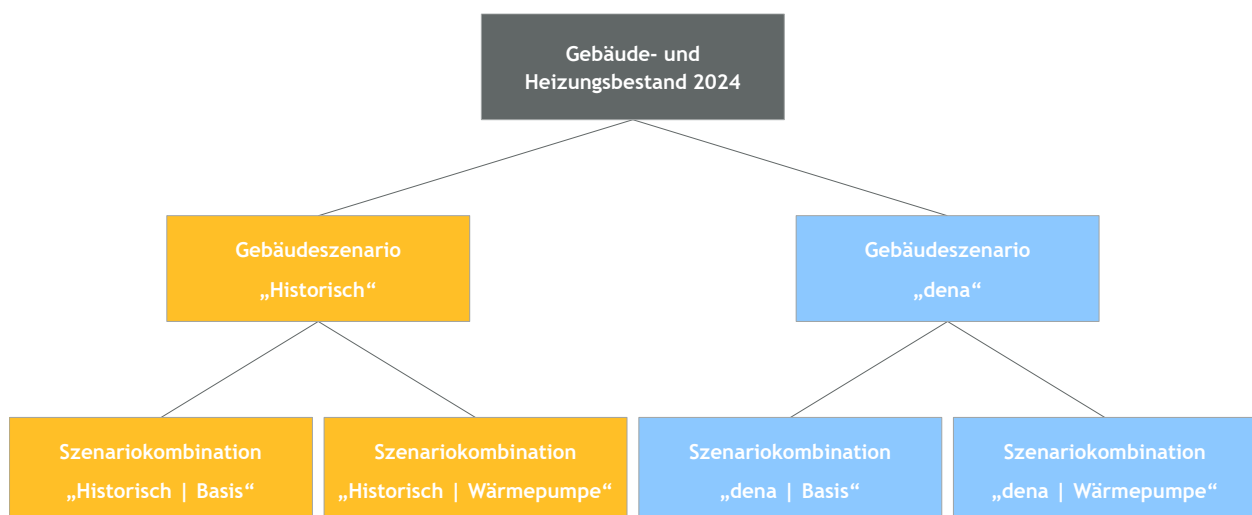


Abbildung 7: Szenariokombinationen unter Berücksichtigung der Gebäude- und Heizungsszenarien

4.2.3.1 Gebäudeszenarien

Zur Erstellung illustrativer Entwicklungspfade im Wohngebäudesektor werden die beiden Szenarien „Historisch“ und „dena“ konzipiert, die sich in allen Annahmen über die Gebäudeentwicklung unterscheiden. Dafür werden die Annahmen über die Eingangsgrößen Abriss-, Neubau- und Sanierungsrate zwischen den zwei Szenarien variiert. Im Folgenden werden die beiden Szenarien und deren zugrundeliegenden Annahmen erläutert. In Abbildung 8 sind die Annahmen über die Entwicklung der Abriss-, Neubau- und Sanierungsrate in den jeweiligen Szenarien zusätzlich dargestellt.

Gebäudeszenario „Historisch“

Im Gebäudeszenario „Historisch“ werden Annahmen über die Gebäudeentwicklung auf Grundlage historischer Daten getroffen, die im Folgenden beschrieben werden.

Die Entwicklung der Neubaurate in den Jahren 2025 und 2026 basiert auf EY (2024) und steigt leicht im Gegensatz zu den Jahren 2023 und 2024, in denen die Baubranche mit Herausforderungen konfrontiert ist und ein rückläufiges Hochbauvolumen verzeichnet. Die Abrissrate ist in diesem Szenario bis zum Jahr 2026 mit der Neubaurate verknüpft, da sich in historischen Daten aus Statistisches Bundesamt (2021) gezeigt hat, dass der Verlauf der Neubau- und Abrissrate stark korreliert sind.

Für die Entwicklung im Zeitraum von 2027 bis 2031 steigen die Neubau- und Abrissraten bis zum Jahr 2031 auf den Durchschnitt der historischen Raten der Jahre 2013 bis 2022 aus Statistisches Bundesamt (2021). Zwischen diesen Werten wird quadratisch interpoliert, um einen langsam ansteigenden Wiederanlauf des Bausektors zu simulieren. So steigt die Abrissrate dabei von 0,029% im Jahr 2026 auf 0,033% im Jahr 2031. Die Neubaurate steigt von 0,50 % im Jahr 2026 auf 0,56 % im Jahr 2031. Von 2031 bis 2044 werden die Abriss- und Neubaurate als stabil angenommen.

Im Gebäudeszenario „Historisch“ wird die Sanierungsrate analog zur Neubaurate bestimmt und die angenommene Entwicklung aus EY (2024) in der Baubranche wird auch auf die Sanierungsrate angewendet. Basierend auf der Sanierungsrate aus 2024 und der angenommenen Entwicklung ergibt sich im Jahr 2026 eine Sanierungsrate von 0,75 %. Diese steigt quadratisch auf 1,0 % im Jahr 2031 und bleibt bis 2044 konstant.

Gebäudeszenario „dena“

Das Gebäudeszenario „dena“ basiert ab 2024 auf den Annahmen der „dena-Leitstudie Aufbruch Klmaneutralität“ (EWI, 2021). In den Annahmen sinkt die Neubaurate bis 2030 auf 0,40 %, während die Abrissrate auf 0,11% ansteigt. Dadurch ist im Gebäudeszenario „dena“ eine deutlich geringere Gebäudeanzahl zu erwarten als im Szenario „Historisch“. In der dena-Leitstudie werden zum Erreichen eines klimaneutralen Gebäudebestands im Jahr 2045 im Vergleich zur historischen Entwicklung deutlich höhere Steigerungen der Sanierungsrate angenommen. Zwischen 2024 und 2029 wird unterstellt, dass die Sanierungsrate um ca. 0,15 % pro Jahr ansteigt. Ab 2030 liegt die

Sanierungsrate bei 1,9 % und bleibt bis 2044 konstant. Damit wird die Sanierungsrate im Vergleich zu den historischen Werten der letzten Dekade mehr als verdoppelt.

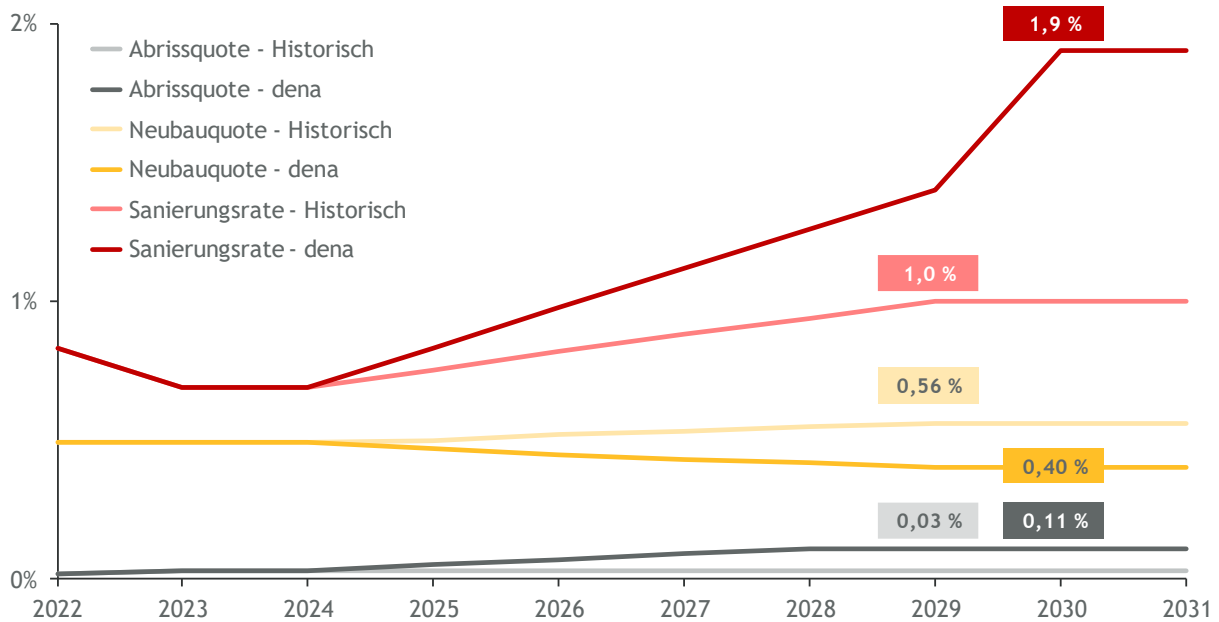


Abbildung 8: Annahmen in den Gebäudeszenarien „Historisch“ und „dena“

4.2.3.2 Heizungsszenarien

In den Heizungsszenarien wird die Entwicklung des Heizungsbestands definiert. Konkret wird definiert, welchen Anteil die verschiedenen Heizungstechnologien bei neu eingebauten Heizungen haben. Die Anteile der Heizungstechnologien sind dabei jeweils für den Einbau in Bestandsgebäude und neugebauten Häusern sowie nach Gebäudegrößen, also Einfamilienhäusern, kleinen Mehrfamilienhäusern und großen Mehrfamilienhäusern, unterschieden. Wie viele Heizungen im Bestand ausgetauscht und damit auch neu eingebaut werden, wird über die Austauschwahrscheinlichkeiten und das Heizungsalter innerhalb des Modells bestimmt (vgl. Kapitel 3.1.3). Die Anzahl der neuen Heizungen im Neubau wird über die Neubaurate in den Gebäudeszenarien bestimmt (vgl. Kapitel 3.1.2). Die in den Heizungsszenarien definierten Anteile der Heizungstechnologien sind dabei, wie auch schon die Abriss-, Neubau- und Sanierungsrate in den Gebäudeszenarien, gewählte Annahmen. Im Folgenden werden die beiden Heizungsszenarien „Basis“ und „Wärmepumpe“ näher erläutert.

Heizungsszenario „Basis“

Im Heizungsszenario „Basis“ wird die der Heizungseinbau ab 2031 basierend auf den von der Bundesregierung festgelegten Zielen für Anschlüsse an Wärmenetze im Jahr 2045 sowie der Erreichung der Absatzzahlziele für Wärmepumpen ab 2031 definiert.

Für Wärmenetzanschlüsse wird angenommen, dass das angestrebte Ziel einer Verdreifachung der angeschlossenen Gebäude bis 2045 gegenüber 2023 erreicht wird. Demnach sollen mittelfristig jedes Jahr mindestens 100.000 Gebäude neu an Wärmenetze angeschlossen werden. Im Jahr 2045 wären somit insgesamt 3,6 Millionen Gebäude und 14 Millionen Wohneinheiten an das Wärmenetz angebunden (AGFW, 2024). Dieses Ziel basiert auf der Erklärung zum Fernwärmegipfel am 12. Juni 2023 (BMWK, 2023). Für Wärmepumpen wird angenommen, dass im Zeitraum von 2031 bis 2044 im Durchschnitt 500.000 neue Wärmepumpen pro Jahr installiert werden. Dies entspricht dem angestrebten Zielwert der Bundesregierung, der im Rahmen des virtuellen Wärmepumpengipfels 2022 verkündet wurde (BMWK, 2022). Dieses Ziel sollte bereits ab 2024 erreicht werden. Im Heizungsszenario „Basis“ wird also eine verzögerte Erreichung des Ziels zum Absatz von Wärmepumpen angenommen.

Für Wärmepumpen und Wärmenetzanschlüsse wurden die Anteile an den Heizungsinstallationen iterativ bestimmt, sodass sie die genannten Ziele erreicht werden. Die Entwicklung für Heizungen, die mit fester Biomasse betrieben werden, wird im Betrachtungszeitraum von 2024 bis 2044 auf Grundlage von historischen Werten fortgeschrieben. Die restlichen Anteile am Absatz werden in diesem Szenario den 100 % H₂-ready Gasheizungen zugeordnet. Das Ergebnis dieser Zuteilung ab dem Jahr 2031 ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Verteilung zwischen Neubau und Austausch sowie auf die Gebäudegrößen ist an historischen Werten zur Technologiedurchdringung nach Bauart und Größe angelehnt.

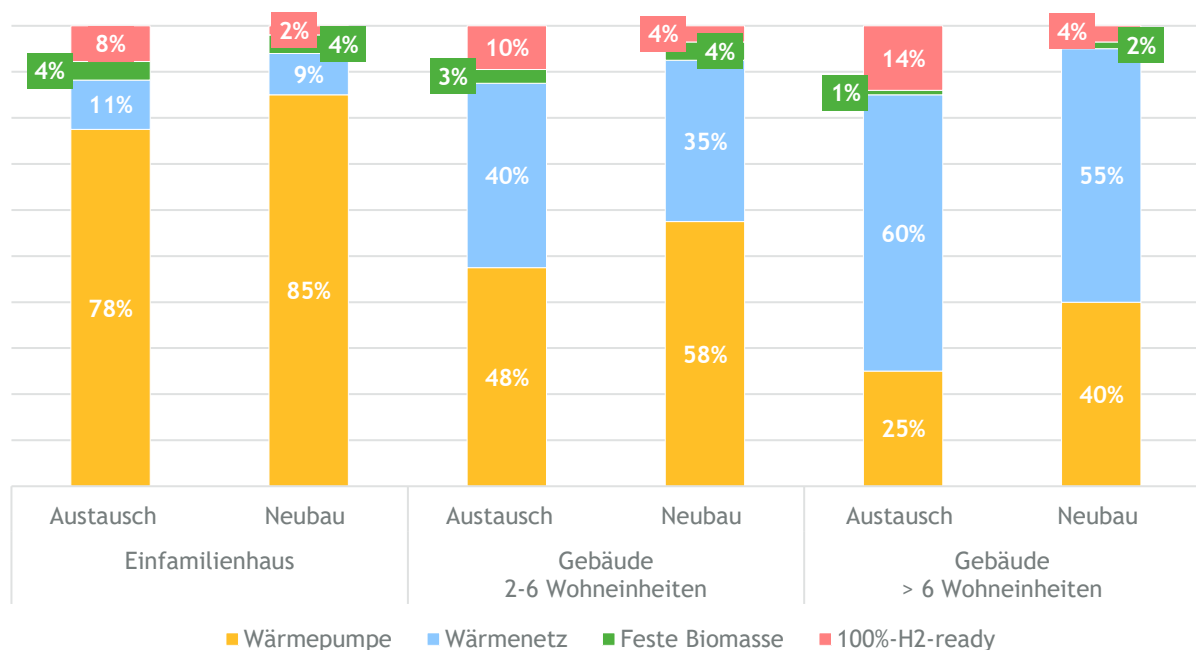


Abbildung 9: Anteile der Heizungen am Absatz im Wohngebäudebestand und Neubau im Jahr 2031 im Heizungsszenario „Basis“

Die in Abbildung 9 gezeigten Anteile werden von 2031 bis 2044 als konstant angenommen. Zwischen den an Realdaten des BDH angelehnten Anteilen im Jahr 2024 (vgl. 4.2.2) und den definierten Anteilen im Jahr 2031 wird quadratisch interpoliert. Der Hochlauf für den Heizungsaustauschprozess für Einfamilienhäuser ist beispielhaft in Abbildung 10 gezeigt.

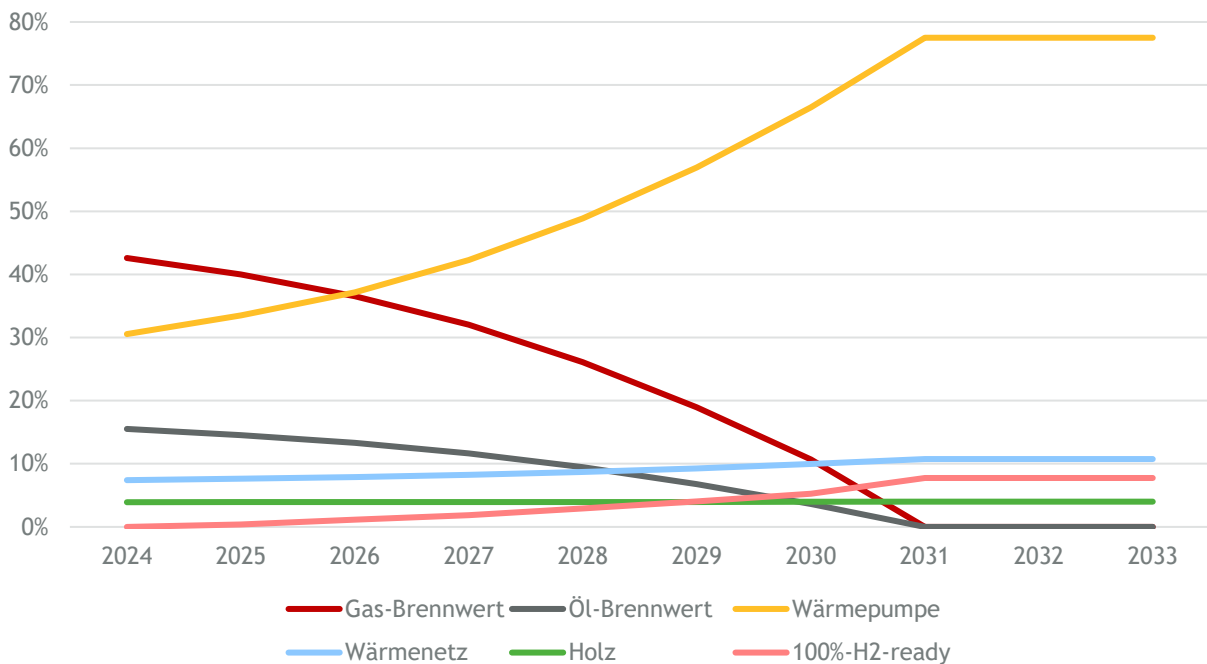


Abbildung 10: Beispielhafter Hochlauf der Anteile der Heizungstechnologien an den neueingebauten Heizungen im Heizungsszenario "Basis" für den Heizungsaustauschprozess für Einfamilienhäuser

Für die Aufteilung der Gas-Brennwertkessel und 100%-H₂-ready Gasheizungen wird dabei zusätzlich eine Verteilung pro Jahr angenommen. Diese exogen definierte Verteilung ist als langsamer Hochlauf gewählt, da der Einbau erster 100%-H₂-ready Gasheizungen frühestens ab 2025 erwartbar ist und es wird eine langsame Wachstumsrate angenommen.³ Die angenommene Aufteilung ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Anteil der 100%-H₂-ready Heizungen an Gasheizungen

| | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Langsamer Hochlauf | 1% | 3% | 6% | 10% | 18% | 33% |

Heizungsszenario „Wärmepumpe“

Im Heizungsszenario „Wärmepumpe“ wird die Entwicklung des Heizungseinbaus basierend auf der vollständigen Erreichung der von der Bundesregierung festgelegten Absatzzahlziele für Wärmepumpen bereits ab dem Jahr 2024 definiert.

Für Wärmepumpen wird angenommen, dass im Zeitraum von 2024 bis 2044 im Durchschnitt 500.000 neue Wärmepumpen pro Jahr installiert werden. Dies entspricht dem angestrebten

³ Wählt man stattdessen einen sehr schnellen Hochlauf, verändert sich der Bestand an 100%-H₂-ready Gasheizungen in der Szenariokombination „Historisch | Basis“ im Jahr 2044 von 920.000 auf 1.600.000 Heizungen.

Zielwert der Bundesregierung, der im Rahmen des virtuellen Wärmepumpengipfels 2022 verkündet wurde (BMWK, 2022). Da ebenfalls von einem quadratischen Hochlauf ausgehend vom Realdaten des BDH ausgegangen wird, werden die Absatzziele ab dem Jahr 2024 noch nicht erreicht. Die in den Anfangsjahren nicht eingebauten Wärmepumpen werden in den Jahren ab 2031 durch einen durchschnittlichen Wärmepumpeneinbau von ca. 600.000 pro Jahr überkompensiert. Dadurch werden die Ziele der Bundesregierung im Mittel erreicht. Die Ziele für Wärmenetze werden im Heizungsszenario „Wärmepumpe“ nicht erreicht.

Analog zum Heizungsszenario „Basis“ werden die Anteile für Wärmepumpen an den Heizungsinstallationen iterativ bestimmt, sodass die genannten Ziele erreicht werden. Ausgehend vom Heizungsszenario „Basis“ werden die Anteile für Wärmenetzanschlüsse und 100 % H₂-ready Gasheizungen iterativ abgesenkt, um die Wärmepumpenziele zu erreichen. Die Entwicklung für Heizungen, die mit fester Biomasse betrieben werden, wird bis auf wenige Änderungen weiterhin auf Basis historischer Werte fortgeschrieben. Das Ergebnis der Zuteilung für das Heizungsszenario „Wärmepumpe“ ab dem Jahr 2031 ist in Abbildung 11 dargestellt.

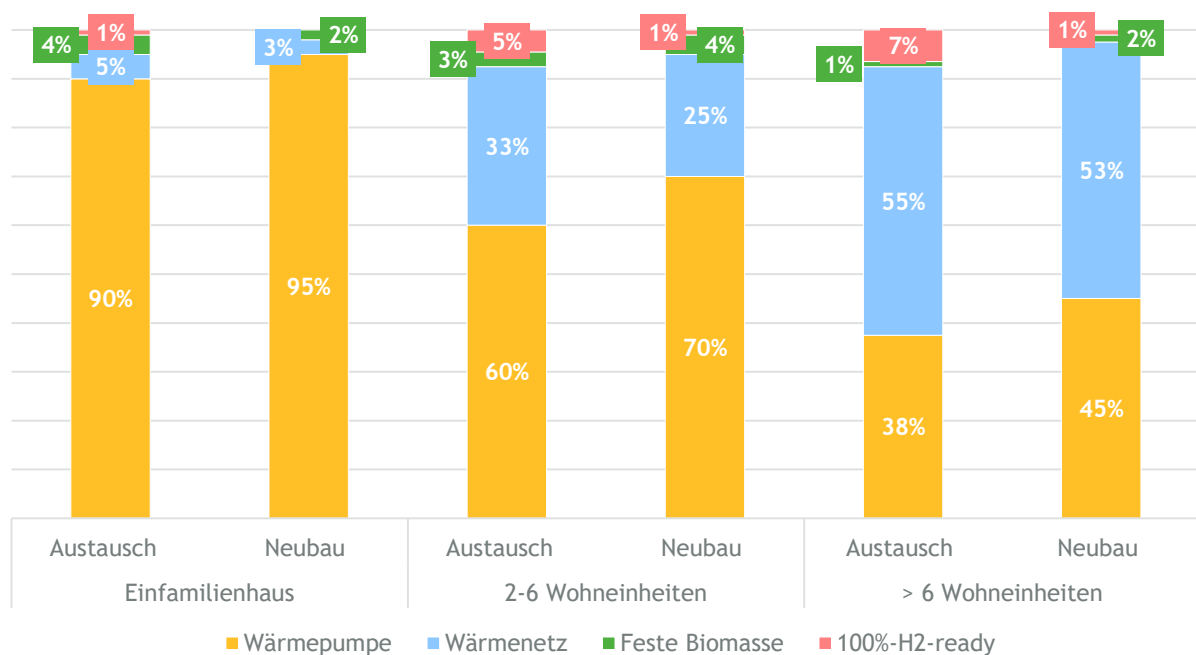


Abbildung 11: Anteile der Heizungen am Absatz im Wohngebäudebestand und Neubau pro Jahr im Jahr 2031 im Heizungsszenario „Wärmepumpe“

Entwicklung der Endenergieträger nach Heizungstechnologien

Aufgrund der Vorgaben des GEG müssen bestimmte Klassen von Heizungstechnologien ihre eingesetzten Endenergieträger bis 2044 anpassen. Dabei werden folgende Annahmen für die in Kapitel 3.2 definierten Klassen getroffen:

- Für Öl- und Gasheizungen mit schrittweiser erneuerbarer Wärme wird angenommen, dass diese in den Zieljahren 2029, 2035 und 2040 zu 15 %, 30 % bzw. 60 % mit Biobrennstoffen betrieben werden, wobei der Anteil bis zum nächsten Zieljahr konstant bleibt.
- Für Öl- und Gasheizungen mit 65 % erneuerbarer Wärme wird ab dem Heizungseinbau ein Biobrennstoffanteil von 65 % angenommen, der bis 2044 unverändert bleibt.
- Für 100 %-H₂-ready Gasheizungen wird angenommen, dass diese ab 2035 zu 10 % mit Wasserstoff betrieben werde, wobei der Anteil jährlich um 10 % steigt und im Jahr 2044 der vollständige Betrieb mit Wasserstoff erreicht wird.

Diese Annahmen gelten szenarioübergreifend im Heizungsszenario „Basis“ und im Heizungsszenario „Wärmepumpe“.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Modellergebnisse detailliert vorgestellt. Zunächst wird in Kapitel 5.1 auf Basis der Modellergebnisse und historischer Daten die kurzfristige Entwicklung des Wohngebäudesektors in Deutschland für den Zeitraum 2023 und 2024 gezeigt. Durch den Abgleich der Modellergebnisse mit aktuellen Daten wird eine Validierung der zugrunde liegenden Modellannahmen für die kurzfristige Entwicklung ermöglicht.

Aufbauend auf diesen Analysen werden die Ergebnisse der langfristigen Entwicklungspfade der verschiedenen Szenariokombinationen in Kapitel 5.2 präsentiert. Die Auswirkungen möglicher Entwicklungspfade werden hinsichtlich vier zentraler Kenngrößen untersucht: Gebäudebestand, Heizungsbestand, Heizungsabsatzmarkt und Endenergiebedarfe. Zur Reduktion der Komplexität wird nicht jede Szenariokombination einzeln dargestellt. Stattdessen wird durch ausgewählte Szenariokombinationen ein Szenariorahmen aufgespannt, in dem sich die untersuchten Entwicklungspfade bewegen.

5.1 Kurzfristige Entwicklung

Im Folgenden werden die Berechnungsergebnisse des EWI-Gebäudemodells bis zum Jahr 2024 vorgestellt. Die Ergebnisse werden mit realen Entwicklungen abgeglichen. In Kapitel 5.1.1 wird der berechnete Gebäudebestand, in Kapitel 5.1.2 der Heizungsbestand und in Kapitel 5.1.3 der Heizungsabsatz für die Jahre 2023 und 2024 vorgestellt.

5.1.1 Gebäudebestand nach Energieeffizienzklassen und Alter

Der energetische Gebäudezustand beeinflusst den Nutzenergiebedarf für Raumwärme. Mit steigender Energieeffizienzklasse sinkt der Nutzenergiebedarf, sofern alle anderen Faktoren konstant bleiben.

In Abbildung 12 ist die Anzahl der Wohngebäude in den jeweiligen Baualtersklassen im Jahr 2024 dargestellt, aufgeschlüsselt nach Energieeffizienzklassen. Der Wohngebäudebestand zeigt, dass etwa 60 % aller Wohngebäude vor 1980 errichtet wurden. In dieser ältesten Baualtersklasse sind Wohngebäude aus allen Energieeffizienzklassen - mit Ausnahme von A+ - vertreten. Die Energieeffizienzklasse H kommt dagegen ausschließlich in der ältesten Baualtersklasse vor. Für Wohngebäude, die zwischen 1980 und 1999 errichtet wurden, wird angenommen, dass durch vollständige Sanierungen auch die Energieeffizienzklasse A+ erreicht wurde. Somit sind in dieser Baualtersklasse alle Energieeffizienzklassen außer H vertreten. In neueren Wohngebäuden, die ab 2010 errichtet wurden, sind die Energieeffizienzklassen D bis A+ vertreten. Über zwei Drittel der Wohngebäude fallen in die Energieeffizienzklassen E bis C, wobei der Großteil dieser Gebäude vor 1980 gebaut wurde.

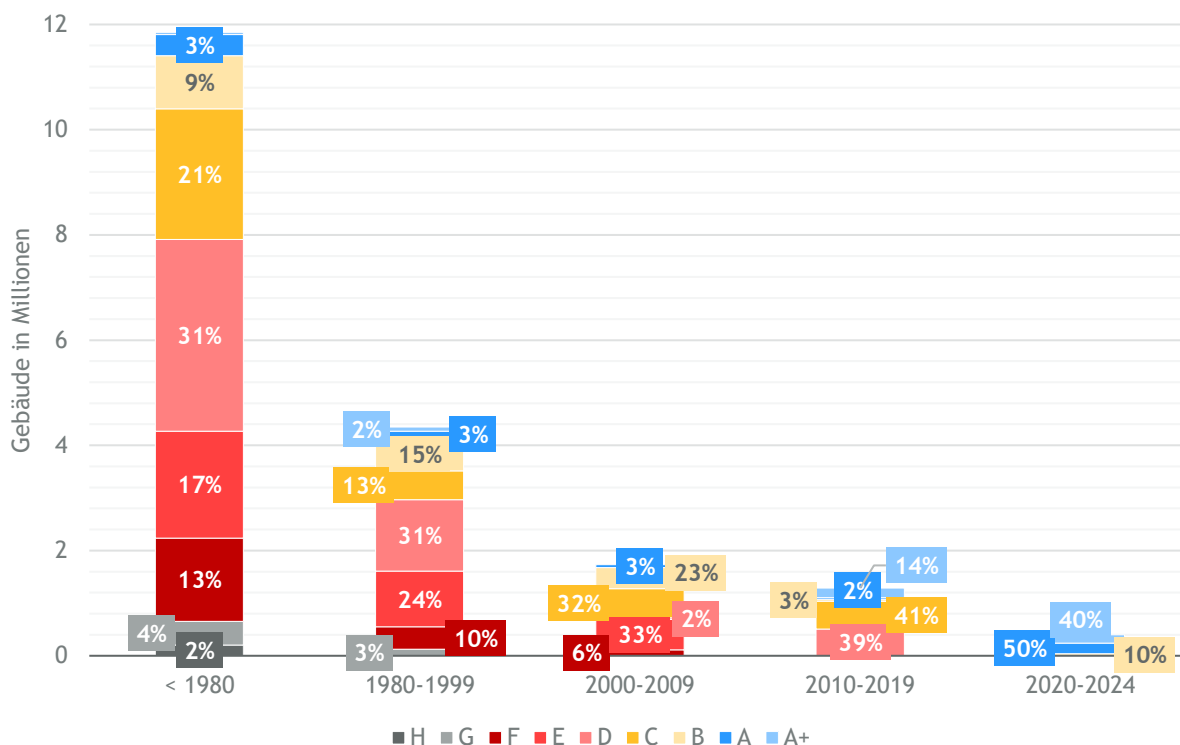


Abbildung 12: Gebäudezustand und Baualterklasse im berechneten Gebäudebestand 2024

5.1.2 Heizungsbestand nach Technologie und Alter

Die Entwicklung im Heizungsbestand geschieht maßgeblich durch den Heizungsausbauprozess. So machen bspw. in der Szenariokombination „Historisch | Basis“ neueingebaute Heizungen als Ersatz für ausgebaute Heizungen 86 % der gesamten neueingebauten Heizungen aus. Grundsätzlich gilt, je älter eine Heizungstechnologie ist, desto höher ist die Austauschwahrscheinlichkeit.

In Abbildung 13 ist die Altersstruktur der Heizungstechnologien für das Jahr 2024 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um die Anzahl an Wohngebäuden mit der jeweiligen Heizungstechnologie handelt, nicht um die Anzahl von Heizungen oder versorgter Wohneinheiten. Das durchschnittliche Alter einer Heizung beträgt im Heizungsbestand 2024 etwa 17 Jahre. Etwa 40 % der im Bestand vorhandenen Heizungstechnologien sind älter als 20 Jahre und haben damit ihre rechnerische Nutzungsdauer nach VDI (2012) überschritten. Dabei handelt es sich größtenteils um Gas- und Öl-Heizwertkessel.

Der Großteil der Gas-Brennwertkessel ist unter 20 Jahre alt. In dieser Altersklasse liegt die angenommene Austauschwahrscheinlichkeit bei maximal 23,5 % (vgl. Kapitel 4.2.1), sodass es im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Heizwertkesseln deutlich länger dauern wird, bis diese Heizungen ausgetauscht werden. Ähnliches gilt für Heizungstechnologien mit Biomasse und

Wärmepumpen, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines Austauschs aufgrund des niedrigen Alters ebenfalls gering ist.

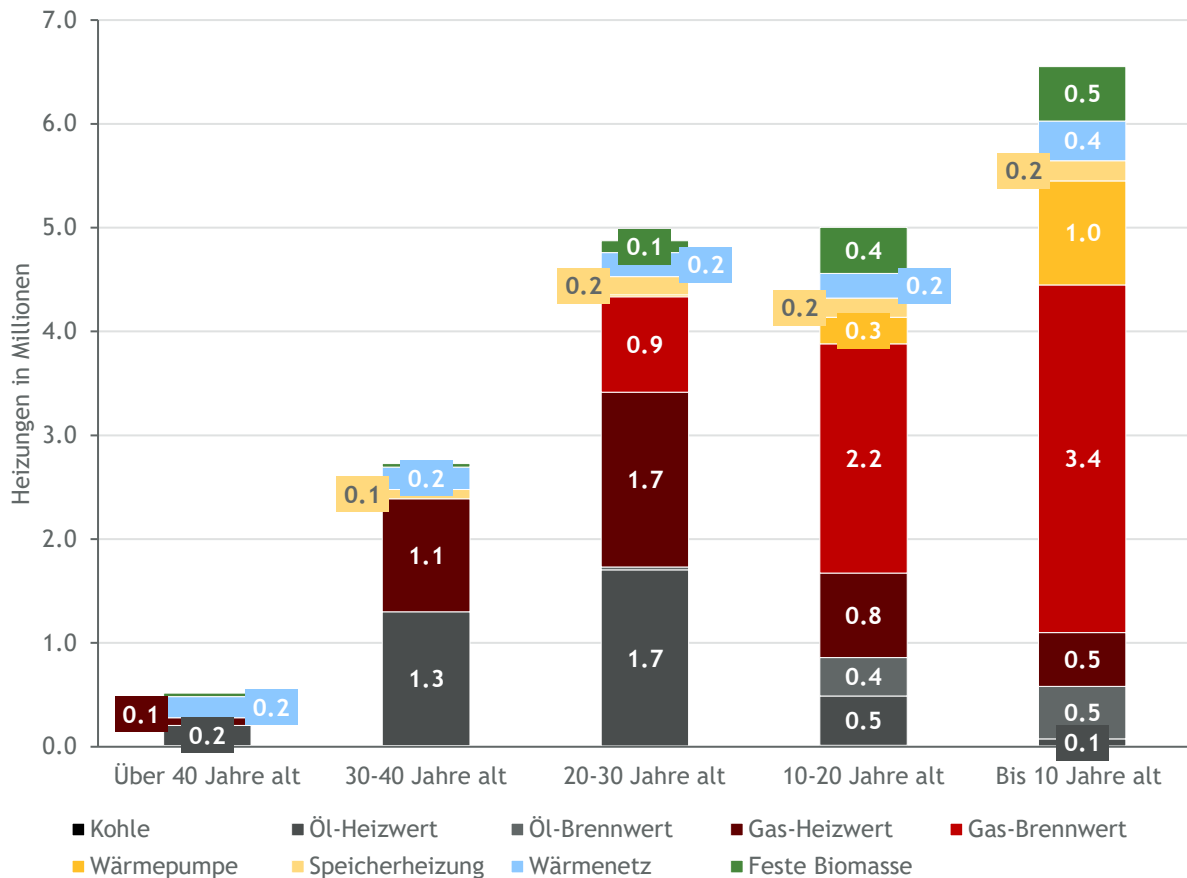


Abbildung 13: Altersstruktur der Heizungstechnologien im berechneten Gebäudebestand 2024

5.1.3 Heizungsabsatz nach Technologie

Basierend auf den angenommenen Austauschwahrscheinlichkeiten werden im Modell im Jahr 2023 ca. 713.000 und im Jahr 2024 ca. 686.000 Heizungen neu eingebaut. Im Folgenden werden die Modellergebnisse zur Gesamtzahl der neueingebauten Heizungen für die kurzfristige Entwicklung mit der realen Entwicklung verglichen sowie erste Entwicklungen im Rahmen des GEG hingewiesen.

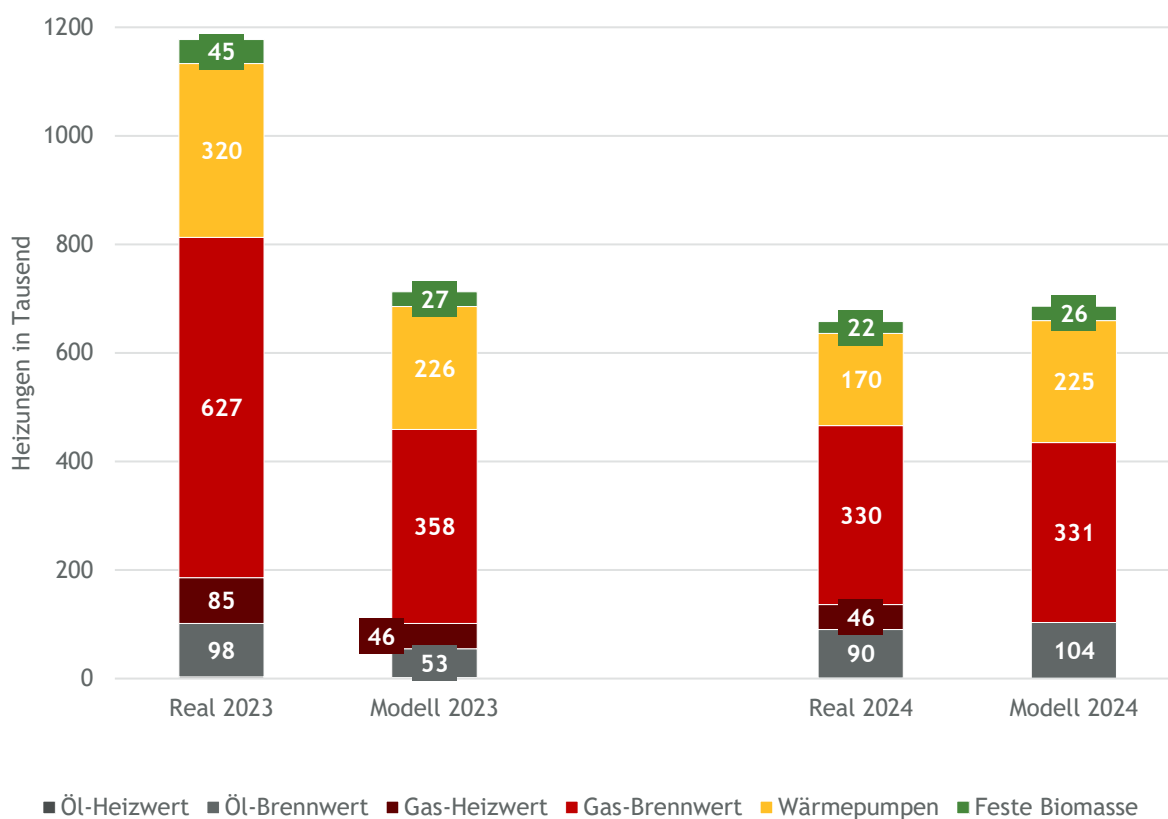


Abbildung 14: Heizungsabsatz in den Jahren 2023 und 2024 real und im Modell nach eigener Berechnung auf Basis BDH (2024) und DESTATIS (2024)

In Abbildung 14 sind die Neuinstallationen nach Heizungstechnologien im Wohngebäudesektor in der Realität und im Modell für das Jahr 2023 und 2024 dargestellt. Die realen jährlichen Absatzzahlen basieren auf der Statistik des Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH).

Für das Jahr 2023 weicht die Anzahl der Neuinstallationen im Modell stark von den Absatzzahlen des BDH ab. So wurden im Jahr 2023 real 465.000 mehr Heizungen installiert als im Modell angenommen. Zurückzuführen ist dies auf den Rekordabsatz in 2023, der laut BDH von Sonder- und Vorzieheffekten geprägt war. In der ersten Jahreshälfte in 2023 konnten hohe Absatzzahlen für Wärmepumpen erzielt werden. Dies könnte auf Sondereffekte des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine sowie die Sorge der Verbraucher vor einer möglichen Gasmangellage zurückzuführen sein, die bereits im Jahr 2022 auftraten. In der zweiten Jahreshälfte führte die Debatte um die Novelle des GEG zu möglichen Vorzieheffekten. Insbesondere die Nachfrage nach Öl- und Gasheizungen ist in der zweiten Jahreshälfte gestiegen. Die geschilderten Vorzieh- und Sondereffekte werden in dem Modell nicht berücksichtigt, da die Anzahl an Neuinstallationen von den historischen Austauschwahrscheinlichkeiten abhängen.

Vor dem Hintergrund, dass das Jahr 2023 kein „normales“ Absatzjahr widerspiegelt, eignet sich dieses Jahr nicht für einen Modellabgleich. Die Absatzzahlen im Jahr 2024⁴ (BDH 2024a) hingegen decken sich weitestgehend mit den berechneten Neuinstallationen aus dem Modell. So wird im Modell angenommen, dass 28.000 Heizungen mehr installiert wurden als in den realen Absatzzahlen ausgewiesen. Diese positive Abweichung der Absatzzahlen im Gegensatz zur Realität erscheint mit Blick auf die im Jahr 2023 verzeichneten Vorzieheffekte sinnvoll.

Ab dem Jahr 2024 greifen die neuen Vorgaben des GEG. Dadurch unterliegen Öl- und Gasheizungen, die in diesem Jahr installiert wurden, Vorgaben zur Nutzung von erneuerbaren Energien (vgl. Kapitel 2). Da diese Öl- und Gasheizungen nur mit Heizöl bzw. Methan betreibbar sind, müssen diese ab den Stichjahren 2029, 2035 und 2040 einen definierten Anteil durch biogene oder synthetische Brennstoffe decken. Im Jahr 2024 werden bei Hochrechnung der Absatzzahlen bis zum dritten Quartal noch 90.000 Öl- und 376.000 Gasheizungen eingebaut. Durch diese Heizungen ist daher ab 2029 bereits ein benötigter Endenergiebedarf für biogene oder synthetische Brennstoffe zu erwarten.

5.2 Langfristige Entwicklung

Im Folgenden wird die langfristige Entwicklung im Wohngebäudesektor vom Jahr 2025 bis zum Jahr 2044 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse stark von den angenommenen Szenarioannahmen abhängen (vgl. Kapitel 3.1.2 und 3.1.3 zur Methodik und Kapitel 4.2 für die gewählten Szenarioannahmen). In Kapitel 5.2.1 werden die Entwicklungen im Gebäudebestand, in Kapitel 5.2.2 im Heizungsbestand und in Kapitel 5.2.3 für den Endenergiebedarf illustriert.

5.2.1 Entwicklungspfade im Gebäudebestand

Die Entwicklung im Gebäudebestand wird durch den Abriss, den Neubau und die Sanierungen bestimmt (vgl. Kapitel 3.1.2). Die Ergebnisse werden im Zeitverlauf in ihrer absoluten Anzahl von Gebäuden sowie in ihrer prozentualen Aufteilung auf die Energieeffizienzklassen gezeigt.

In Abbildung 15 ist die Entwicklung des Gebäudebestands in Gebäudeszenario „Historisch“ dargestellt. Aufgrund der angenommenen Abrissrate von durchschnittlich 0,033 % und einer Neubaurate von durchschnittlich 0,56 % steigt die Gebäudeanzahl kontinuierlich an. So wächst die Zahl der Gebäude von 19,7 Millionen in 2024 auf bis zu 21,8 Millionen im Jahr 2044. Aufgrund dieser wachsenden Zahl von Gebäuden steigt grundsätzlich der absolute Nutzenergiebedarf. Dem entgegen reduzieren die Sanierungen den Nutzenergiebedarf. Mit einer angenommenen Sanierungsrate von durchschnittlich 1,0 % existieren im Jahr 2030 Gebäude der schlechtesten Energieeffizienzklassen H und G nicht mehr. Mit fortschreitender Sanierung befinden sich ab dem Jahr 2040 auch keine Gebäude mit Energieeffizienzklasse F mehr im Gebäudebestand. Im Jahr 2044 besteht eine gleichmäßige Verteilung über die Energieeffizienzklassen A+ bis E. Durch den

⁴ Die realen Absatzzahlen für 2024 stammen vom Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, wobei die Absatzzahlen für Q1 bis Q3 für das gesamte Jahr fortgeschrieben wurden. Zudem wurde ein Anteil von 10% Nichtwohngebäuden am Heizungsabsatz angenommen und für den Vergleich herausgerechnet.

Sanierungsprozess kann der durchschnittliche Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser pro Quadratmeter von 141 kWh/m² im Jahr 2024 auf 103 kWh/m² im Jahr 2044 gesenkt werden. Trotz des angenommenen Gebäudezubaues reduziert sich der absolute Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser von 547 TWh im Jahr 2024 auf 517 TWh im Jahr 2044. Dabei sinkt der Nutzenergiebedarf für Raumwärme von 501 TWh auf 457 TWh, während der Bedarf für Warmwasser von 46 TWh auf 58 TWh ansteigt. Während der Bedarf für Raumwärme durch Sanierungsmaßnahmen sinkt, wird der Anstieg des Warmwasserbedarfs durch den Neubau von Wohngebäuden getrieben.

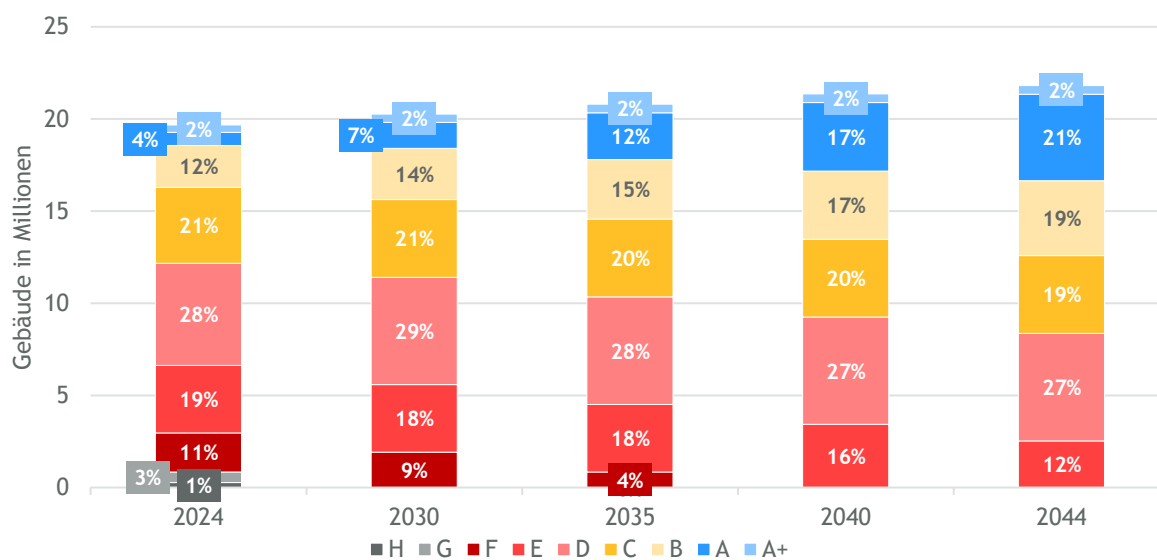


Abbildung 15: Entwicklung des Gebäudebestands im Gebäudeszenario „Historisch“

Abbildung 16 zeigt die Entwicklung im Gebäudebestand im Gebäudeszenario „dena“. Im Vergleich zum Gebäudeszenario „Historisch“, steigt die Gebäudezahl durch die deutlich höhere, durchschnittliche Abrissrate von 0,11 % und die niedrigere, durchschnittliche Neubaurate von 0,40 % in deutlich geringerem Maße an. So wächst die Zahl der Gebäude von 19,7 Millionen in 2024 auf 20,9 Millionen im Jahr 2044. Damit sind im Gebäudeszenario „dena“ gegenüber dem Gebäudeszenario „Historisch“ im Jahr 2044 ca. 900.000 Gebäude weniger im Gebäudebestand vorhanden.

Mit einer durchschnittlichen Sanierungsrate von 1,9 % werden die vorhandenen Gebäude deutlich schneller saniert als im Gebäudeszenario „Historisch“. So sind ebenfalls im Jahr 2030 bereits alle Gebäude in den schlechtesten Energieeffizienzklassen H und G saniert. Es existieren aber schon im Jahr 2035 keine Gebäude mit der Energieeffizienzkategorie F mehr. Im Jahr 2044 sind ebenfalls keine Gebäude der Energieeffizienzkategorie E mehr vorhanden. Im Jahr 2044 verbleibt damit ein Gebäudebestand von effizient sanierten Gebäuden, wovon sich fast 50% in den Energieeffizienzklassen A und A+ befinden. Die übrigen 50% sind gleichmäßig auf Energieeffizienzklassen B - D verteilt. Durch diesen Sanierungsprozess kann der durchschnittliche Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser pro Quadratmeter von 141 kWh/m² im Jahr 2024 auf 89 kWh/m² im Jahr 2044 gesenkt werden und erreicht damit deutlich geringere Nutzenergiebedarfe als im Gebäudeszenario „Historisch“. Durch die zusätzlich geringere

Gebäudeanzahl im Vergleich zum Gebäudeszenario „Historisch“ sinkt der absolute Nutzenergiebedarf von 547 TWh im Jahr 2024 auf 386 TWh im Jahr 2044. Der Nutzenergiebedarf für Raumwärme reduziert sich dabei erheblich von 501 TWh auf 337 TWh, während der Bedarf für Warmwasser nur leicht von 46 TWh auf 49 TWh ansteigt. Das Gebäudeszenario „dena“ stellt also das Gebäudeszenario mit einem deutlich geringerem Nutzenergiebedarf dar.

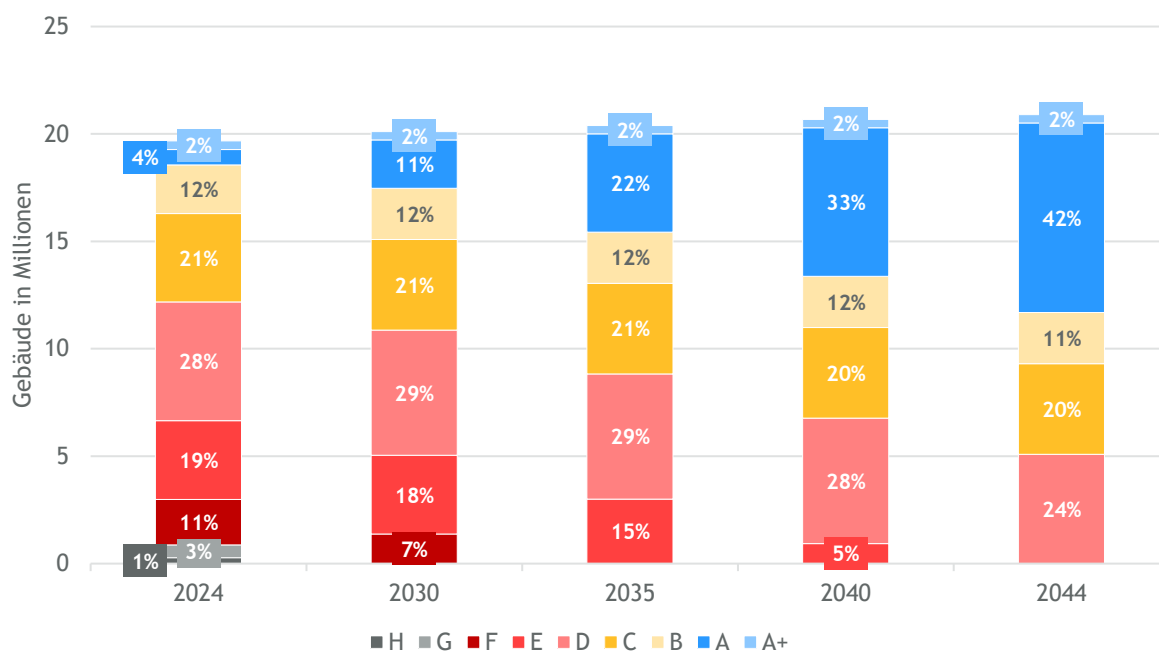


Abbildung 16: Entwicklung des Gebäudebestands im Gebäudeszenario „dena“

5.2.2 Entwicklungspfade im Heizungsbestand

Die Entwicklung im Heizungsbestand ist durch den Heizungsausbau, den Neubau und im geringen Maße den Abriss getrieben. Der Haupttreiber ist dabei der Heizungsausbau. So sind im Gebäudeszenario „Historisch“ 86 % aller neu installierten Heizungen Ersatz für ausgebaute Heizungen. Im Gebäudeszenario „dena“ ist dieser Anteil durch die geringere Neubaurate noch höher. Abhängig vom Gebäudeszenario „Historisch“ oder „dena“ werden im Neubau jährlich ca. 113.000 bzw. 83.000 neue Heizungen installiert und durch den Abriss fallen jährlich ca. 6.500 bzw. 19.000 alte Heizungen weg.

Das Heizungsszenario „Basis“ skizziert eine mögliche Entwicklung im Heizungsbestand, bei der die Ziele des BMWK zum Wärmenetzausbau im Jahr 2045 und die jährlichen Absatzziele von 500.000 Wärmepumpen ab 2031 erreicht werden (vgl. Kapitel 4.2.3.2). In Abbildung 17 ist die Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „Historisch | Basis“ gezeigt. In den Ergebnissen zeigt sich ein stetiger Zuwachs von Wärmepumpen und Wärmenetzanschlüssen. Wärmenetzanschlüsse und Wärmepumpen im Jahr 2044 machen 17 % bzw. 43 % des Heizungsbestands aus. Die entspricht im Jahr 2044 ca. 3,7 Millionen Wärmenetzanschlüssen und

9,3 Millionen Wärmepumpen. Neben Wärmenetzanschlüssen und Wärmepumpen spielen auch 100%-H₂-ready Gasheizungen eine signifikante Rolle, während der Anteil mit fester Biomasse betriebener Heizungen sowie Speicherheizungen kontinuierlich zurückgeht.

Öl-Brenn- und Heizwertheizungen sowie Gas-Brenn- und Heizwertheizungen machen bis zum Jahr 2044 einen großen Anteil des Heizungsbestands aus. Während diese Heizungstechnologien im Jahr 2024 ca. 78% des Heizungsbestands ausmachen, machen sie im Jahr 2035 noch ca. 53% und im Jahr 2044 noch ca. 31% aus. Dabei ist zu beachten, dass der Teil dieser Heizungen, der unter die Vorgaben des GEG fällt, durch die Szenarioannahmen in den Heizungsszenarien bestimmt wird (vgl. Kapitel 4.2.3.2). Im Jahr 2044 machen diese unter dem GEG eingebauten Öl-Brennwertheizungen und Gas-Brennwertheizungen 2 % bzw. 7 % des Heizungsbestands aus. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Öl-Brenn- und Heizwertheizungen sowie Gas-Brenn- und Heizwertheizungen, die im Jahr 2023 oder früher errichtet wurden, im Jahr 2044 noch 22 % des Heizungsbestands ausmachen.

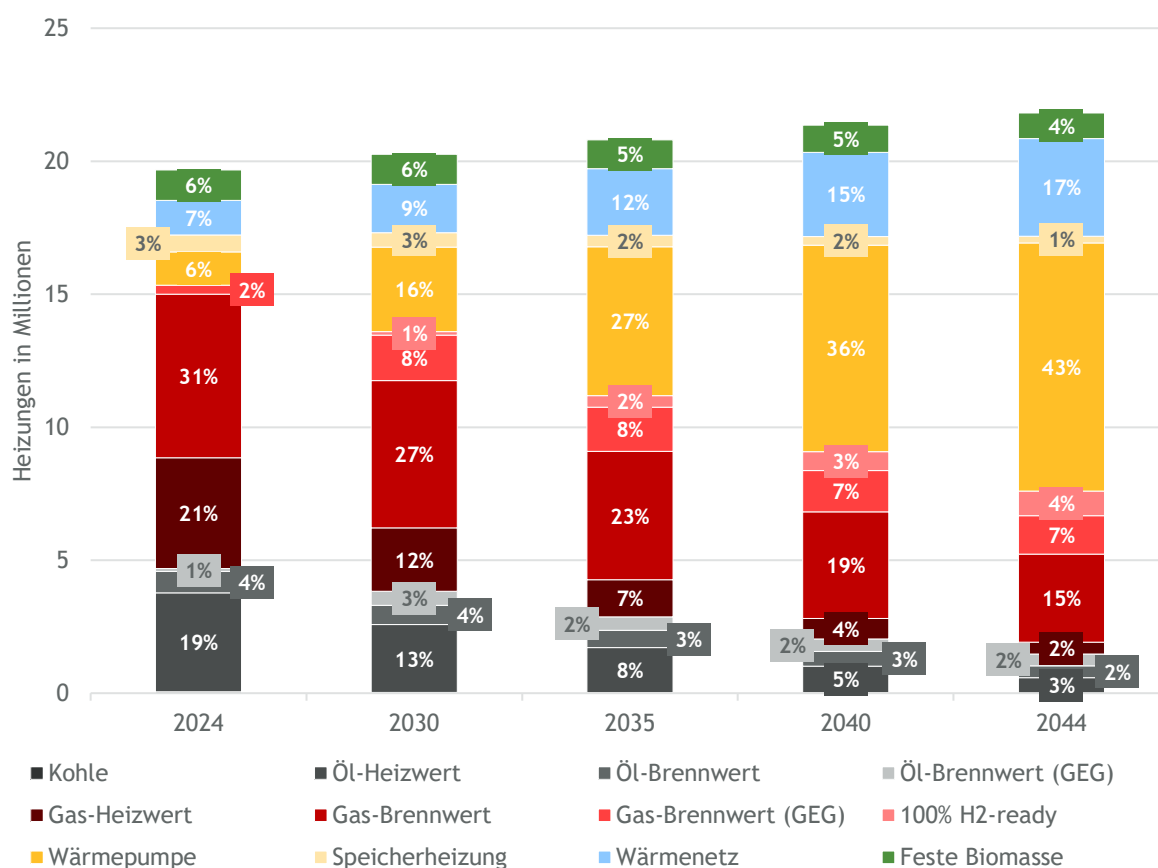


Abbildung 17: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „Historisch | Basis“

In Abbildung 18 ist der Heizungsausbau sowie -einbau für die Szenariokombination „Historisch | Basis“ dargestellt. Ab dem Jahr 2031 sind neu eingebaute Heizungen zu 65 % Wärmepumpen und zu 24 % Wärmenetzanschlüssen (vgl. Kapitel 4.2.3.2). Ab dem Jahr 2035 zeigt sich ein gesunkener absoluter Ausbau an Heizungen, da viele sehr alte Heizungen bereits ausgebaut wurden. Mit fortschreitendem Zeitverlauf steigt die absolute Zahl an ausgebauten Wärmepumpen, da immer

mehr Heizungen dieser vergleichsweise neuen Heizungstechnologie ein Alter erreicht haben, in dem ein Austausch wahrscheinlicher wird.

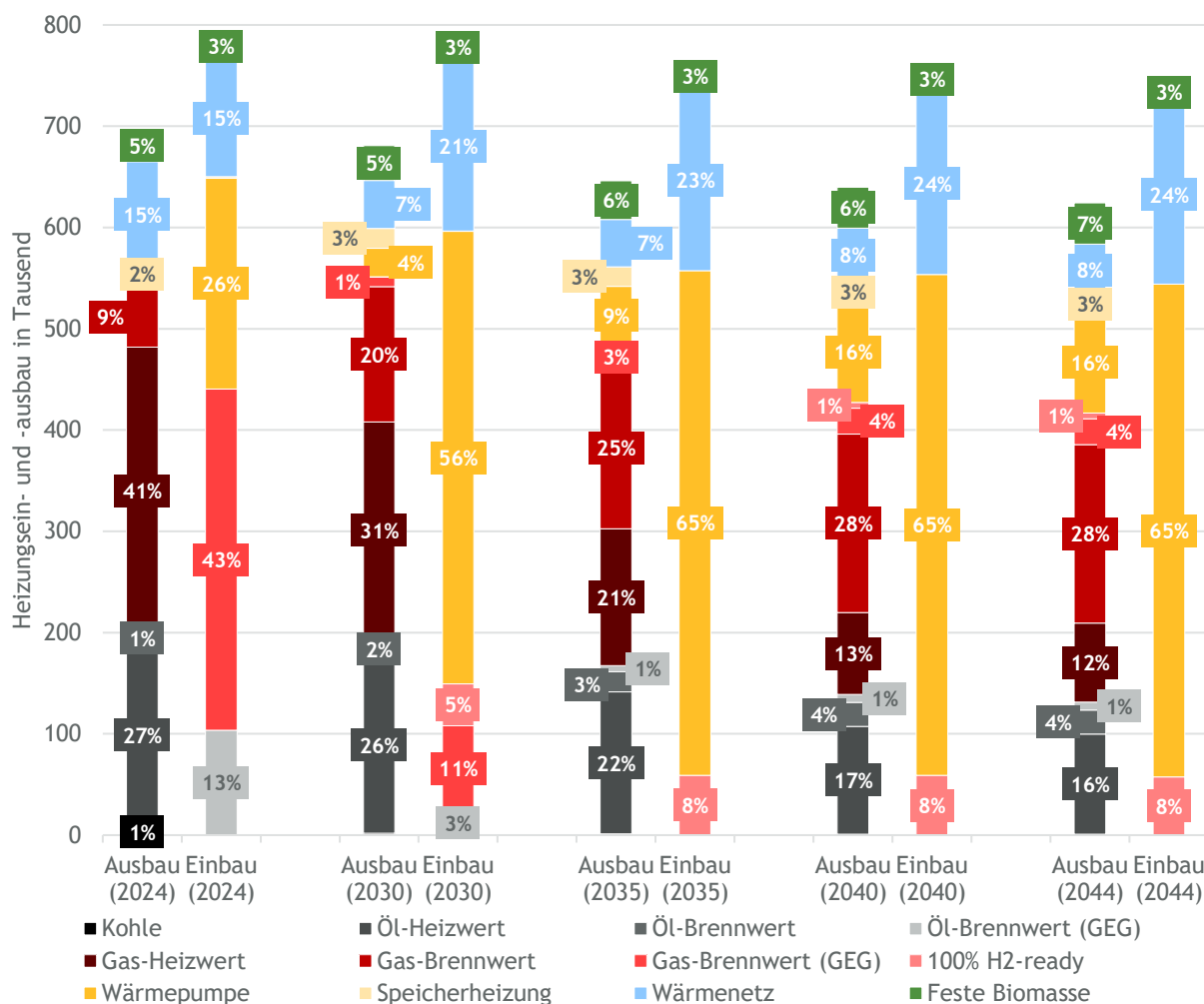


Abbildung 18: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „Historisch | Basis“

Das Heizungsszenario „Wärmepumpe“ stellt eine mögliche Entwicklung im Heizungsbestand dar, bei der die jährlichen Absatzziele von 500.000 Wärmepumpen des BMWKs im Zeitraum in den Jahren 2024 bis 2044 im Schnitt erreicht werden. Wärmepumpen, die dabei in den Jahren 2024 bis 2030 zu wenig eingebaut werden, werden ab dem Jahr 2031 zusätzlich eingebaut (vgl. Kapitel 4.2.3.2). In Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigt sich diese Entwicklung deutlich. Dort ist die Entwicklung des Heizungsbestands und der Heizungsein- und -ausbau in der Szenariokombination „Historisch | Wärmepumpe“ dargestellt. Im Jahr 2044 machen Wärmepumpen fast 50% des Heizungsbestands aus. Dies entspricht ca. 10,7 Millionen Wärmepumpen. Ab dem Jahr 2031 sind 77 % aller neu verbauten Heizungen Wärmepumpen. Im Gegensatz dazu machen Wärmenetze einen geringeren Anteil als im Heizungsszenario „Basis“ aus. 100%-H₂-ready Gasheizungen spielen nur noch eine untergeordnete Rolle. Der Anteil mit fester Biomasse betriebener Heizungen sowie Speicherheizungen geht ähnlich wie in der Szenariokombination „Historisch | Basis“ kontinuierlich zurück.

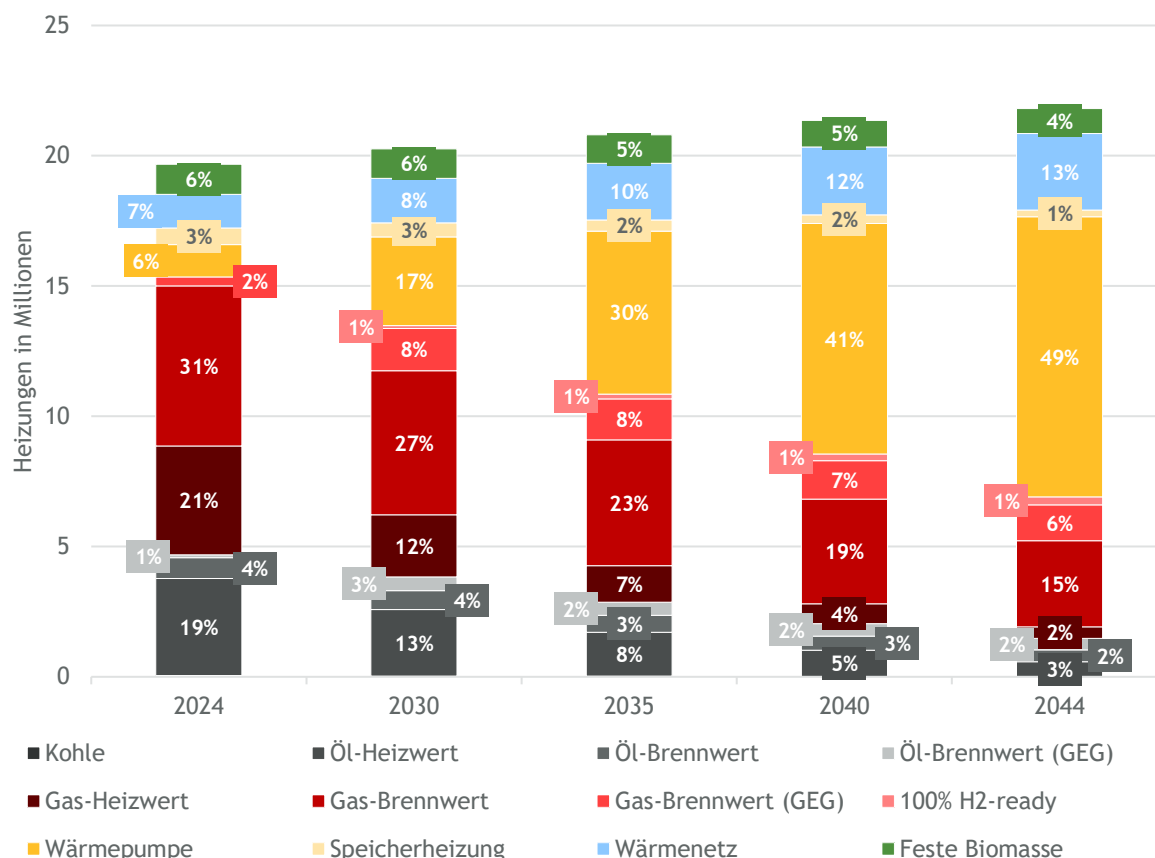


Abbildung 19: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „Historisch | Wärmepumpe“

Ebenso wie in der Szenariokombination „Historisch | Basis“, verbleibt im Jahr 2044 ein Anteil von mehr als 30% des Heizungsbestands an Öl-Brenn- und Heizwertheizungen sowie Gas-Brenn- und Heizwertheizungen. Davon sind 2% bzw. 6% unter den Vorgaben des GEG eingebaute Öl-Brennwertheizungen und Gas-Brennwertheizungen. Wie in der Szenariokombination „Historisch | Basis“ machen Öl-Brenn- und Heizwertheizungen sowie Gas-Brenn- und Heizwertheizungen, die im Jahr 2023 oder früher aufgestellt wurden, im Jahr 2044 noch 22% des Heizungsbestands aus. Dieser Anteil wird durch die Austauschwahrscheinlichkeiten bestimmt und ist daher unabhängig von den Szenarioannahmen im Heizungsszenario.

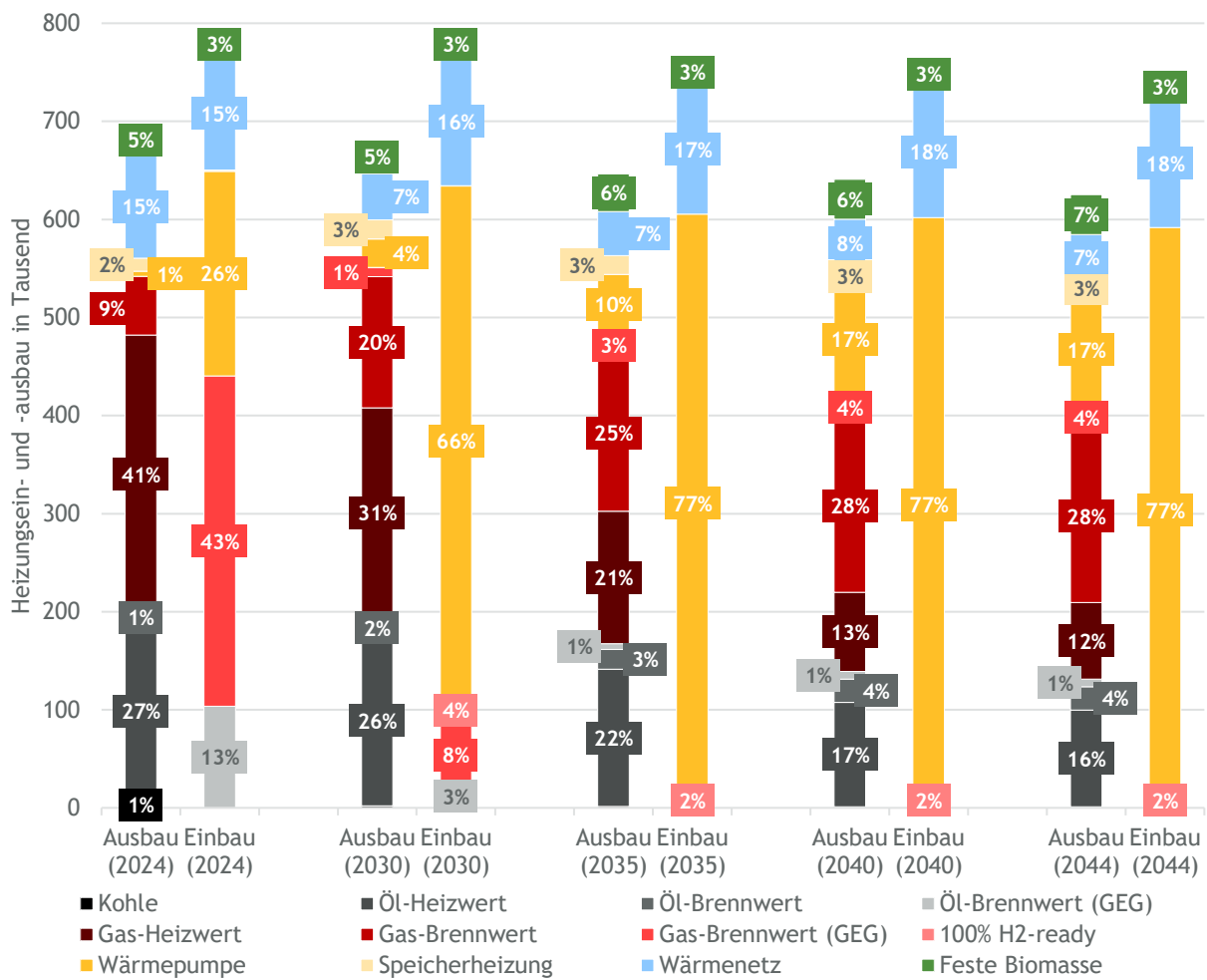


Abbildung 20: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „Historisch | Wärmepumpe“

Die Entwicklung des Heizungsbestands ist überwiegend abhängig vom Heizungsszenario. Obwohl die Anzahl der abgerissenen und neugebauten Gebäude den Heizungsbestand verändert, sind die Auswirkungen im betrachteten Szenariobereich der beiden Gebäudeszenarien gering. Das Gebäudeszenario spielt in dieser Analyse für die Entwicklung des Heizungsbestands daher nur eine untergeordnete Rolle. Die Abbildungen zur Entwicklung des Heizungsbestands sowie zum Heizungsausbau und -einbau für die Szenariokombinationen „dena | Basis“ und „dena | Wärmepumpe“ sind daher im Anhang aufgeführt.

5.2.3 Entwicklung der Endenergiebedarfe

Aus den beschriebenen Entwicklungen im Gebäude- und Heizungsbestand lassen sich die benötigten Endenergiebedarfe ableiten. Im Folgenden werden die Szenariokombinationen mit den geringsten und den höchsten Endenergiebedarfen betrachtet. Aufgrund der geringeren Gebäudezahl und den höheren Sanierungsstand ist der absolute Nutzenergiebedarf im Gebäudeszenario „dena“ niedriger als im Gebäudeszenario „Historisch“ (vgl. Kapitel 4.2.3.1). Aufgrund des höheren Anteils von Wärmepumpen und den durch die höheren Effizienzen

geringeren Energiebedarfs zur Deckung des Nutzenergiebedarf weist das Heizungsszenario „Wärmepumpe“ einen geringeren Endenergiebedarf als das Heizungsszenario „Basis“ auf. Folglich weist die Szenariokombination „dena | Wärmepumpe“ den geringsten und die Szenariokombination „Historisch | Basis“ den höchsten Endenergiebedarf auf. Durch Betrachtung dieser beiden Szenariokombinationen wird somit der gesamte Betrachtungsraum für die Endenergiebedarfe aufgespannt.⁵

Abbildung 21 zeigt die Entwicklung der Endenergiebedarfe für die Szenariokombination „Historisch | Basis“. Unter den getroffenen Annahmen liegt ein kontinuierlicher Rückgang im Endenergiebedarf von 567 TWh im Jahr 2024 auf 398 TWh im Jahr 2044 vor. Dies ist auf die Verbesserung der Energieeffizienzklassen der Gebäude sowie eine Verbesserung der Effizienzen neu eingebauter Heizungssysteme, allen voran von Wärmepumpen, zurückzuführen. Die Energieträgeranteile am Endenergiebedarf von Strom und Wärme steigen stark an. Trotz des Wachstums des Wärmepumpenanteils am Heizungsbestand von 6% im Jahr 2024 auf 42% im Jahr 2044 wird nur ca. doppelt so viel Strom zur Deckung des Nutzenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in 2044 benötigt. Dies ist durch den Rückgang von Speicherheizungen, die hohen Effizienzen von Wärmepumpen, die fortschreitende Sanierung sowie den ausschließlichen Einbau von Wärmepumpen in Gebäude mit Energieeffizienzklassen E und höher (vgl. Kapitel 3.1.3) begründet.

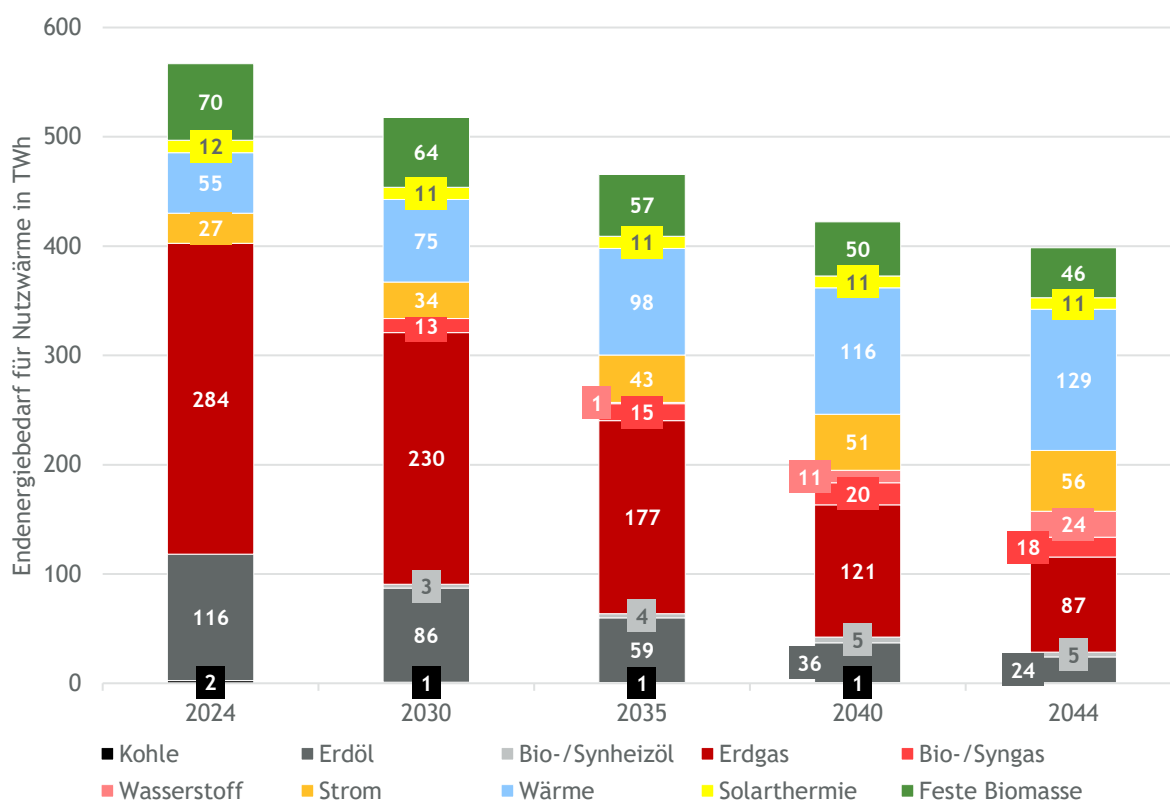


Abbildung 21: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „Historisch | Basis“

⁵ Die Entwicklungen der Endenergiebedarfe in den Szenariokombinationen „Historisch | Wärmepumpe“ und „dena | Basis“ sind im Anhang als Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt.

In der Szenariokombination „Historisch | Basis“ ist ein starker Rückgang der Endenergiebedarfe für Erdöl und Erdgas vom Jahr 2024 bis 2044 zu beobachten. Dies ist durch effizientere Gebäude, einen allgemeinen Rückgang der Anzahl von Öl- und Gasheizungen sowie die besonders stark sinkende Zahl von Öl- und Gas-Heizwertkesseln mit geringerer Effizienz begründet. Der Endenergiebedarf für Erdöl und Erdgas sinkt von 116 TWh und 284 TWh im Jahr 2024 auf 24 TWh und 87 TWh im Jahr 2044. Damit liegt im Jahr 2044 noch ein fossiler Endenergiebedarf von 111 TWh vor. Die Endenergiebedarfe für Erdöl und Erdgas sind neben der Anzahl an Öl- und Gasheizungen auch abhängig von den Szenarioannahmen zum Einsatz der Energieträger dieser Heizungen (vgl. Kapitel 4.2.3.2). Bei der Berechnung der Endenergiebedarfe wird davon ausgegangen, dass alle Heizungen nur so viel CO₂-neutrale Energieträger nutzen, wie sie durch die Vorgaben des GEG müssen (vgl. Kapitel 3.2). Dadurch ergibt sich für den Endenergiebedarf der gezeigte Verlauf mit langsam steigenden Anteile von Bio-/Synheizöl, Bio-/Syngas und Wasserstoff. Unter den gewählten Szenarioannahmen werden bereits im Jahr 2030 3 TWh Bio-/Synheizöl und 13 TWh Bio-/Syngas benötigt. Mit 5 TWh Bio-/Synheizöl und 20 TWh Bio-/Syngas erreicht der Endenergiebedarf dieser Energieträger im Jahr 2040 den höchsten Stand im betrachteten Zeitrahmen. Im Jahr 2044 liegt der Endenergiebedarf von Bio-/Synheizöl und Bio-/Syngas noch bei 5 TWh und 18 TWh. Ab dem Jahr 2035 ist ein Endenergiebedarf für Wasserstoff von 1 TWh zu verzeichnen. Dieser Endenergiebedarf steigt bis zum Jahr 2044 auf 24 TWh an.

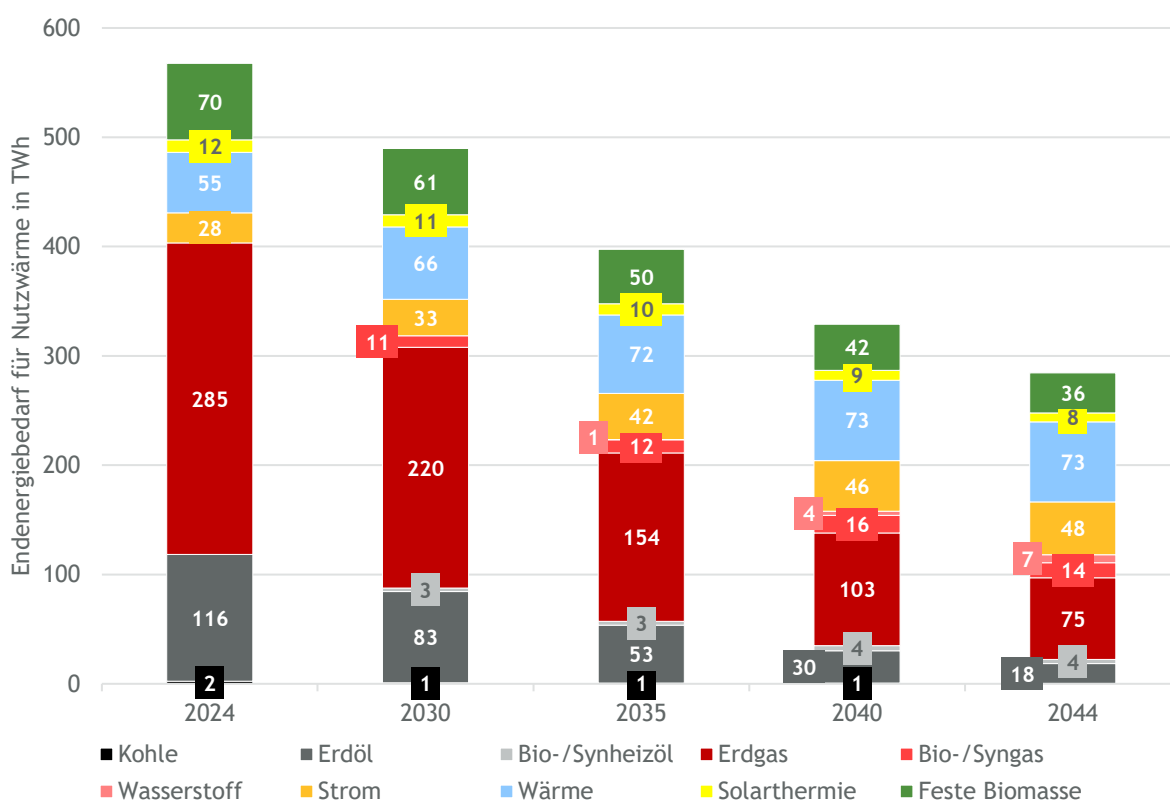


Abbildung 22: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „dena | Wärmepumpe“

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der Endenergiebedarfe in der Szenariokombination „dena | Wärmepumpe“. Die gezeigten Trends ähneln den oben beschriebenen Trends für die Szenariokombination „Historisch | Basis“, sind dabei aber stärker ausgeprägt. So geht bspw. der gesamte Endenergiebedarf durch weniger und besser sanierte Gebäude sowie mehr installierte Wärmepumpen um weitere 114 TWh von 567 TWh im Jahr 2024 auf 284 TWh im Jahr 2044 zurück. Im Endenergiebedarf im Jahr 2044 nimmt Strom mit 17 % einen größeren Anteil ein als mit 14 % in der Szenariokombination „Historisch | Basis“, ist aber absolut geringer mit 48 TWh im Vergleich zu 56 TWh. Im Jahr 2044 liegt noch ein Endenergiebedarf für Erdöl und Erdgas in Höhe von 18 TWh und 75 TWh vor. Damit liegt im Jahr 2044 noch ein fossiler Endenergiebedarf von 93 TWh vor, der damit ca. 16 % geringer ist als in der Szenariokombination „Historisch | Basis“. Der Endenergiebedarf für Wasserstoff beträgt im Jahr 2044 mit 7 TWh weniger als ein Drittel des Endenergiebedarfs für Wasserstoff in der Szenariokombination „Historisch | Basis“.

Insgesamt zeigt sich im Jahr 2044 in allen Szenariokombinationen ein deutlich geringerer Endenergiebedarf zur Deckung des Nutzenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser. Strom und Wärme zeigen im Zeitverlauf wachsende Anteile während die Anteile und auch die absoluten, aggregierten Endenergiebedarfe für Erdöl, Bio-/Synheizöl, Erdgas, Bio-/Syngas und Wasserstoff stark abnehmen. Trotz dieser starken Abnahme machen Heizöl und Methan im Jahr 2044 in den Szenariokombinationen 33 % bis 39 % des Endenergiebedarfs bzw. 110 - 133 TWh absoluten Endenergiebedarf aus. Davon entfallen 22 - 28 TWh auf Heizöl und 90 - 105 TWh auf Methan.

6 Zusammenfassung und Diskussion

Das Ziel dieser Analyse ist es, potenzielle Entwicklungspfade des Gebäude- und Heizungsbestands im Rahmen der aktuellen Gesetzgebung bis ins Jahr 2044 aufzuzeigen und umfangreich und transparent zu illustrieren. Dazu wurde in den Gebäudeszenarien „Historisch“ und „dena“ ein Entwicklungsraum aufgespannt, der zwischen beobachteten historischen und in der dena-Leitstudie normativ definierten Annahmen liegt. Mit den beiden Heizungsszenarien „Basis“ und „Wärmepumpe“, die an den Zielen der Bundesregierung zum Wärmenetzausbau und Wärmepumpenabsatz orientiert sind, wurden zusätzlich zwei potenzielle Entwicklungspfade im Heizungsbestand aufgezeigt. Die dargestellten Auswertungen illustrieren transparent, wie eine potenzielle Entwicklung des Gebäude- und Heizungsbestands sowie der Endenergiebedarfe aussehen könnte. Durch die Berücksichtigung historischer Austauschwahrscheinlichkeiten wird gezeigt, in welcher Geschwindigkeit der Austausch bestehender Heizungen stattfinden könnte.

Kurzfristig bis zum Jahr 2024 können die beobachteten realen Entwicklungen durch die Ergebnisse dieser Analyse eingeordnet werden. So zeigt diese Analyse, dass im Jahr 2023 real 465.000 mehr Heizungen abgesetzt wurden als im Modell berechnet. Dies könnte auf Vorzieh- und Sondereffekte durch die Energiekrise und das Inkrafttreten der zweiten GEG-Novellierung ab 2024 zurückzuführen sein. Zudem zeigt sich, dass im Jahr 2024 trotz der geltenden Vorgaben des GEG ca. 90.000 Öl- und 376.000 Gasheizungen installiert werden. Durch eine bisher geringe Verfügbarkeit von 100%-H₂-ready Gasheizungen sowie unklaren Preisen dieser Heizungen könnte die Anzahl von Öl- und Gas-Brennwertheizungen unter den Vorgaben des GEG weiter steigen. Ab dem Jahr 2024, und damit unter der Gesetzgebung des GEG, installierte Öl- und Gas-Heizungen müssen zu definierten Stichjahren einen Teil ihres Brennstoffs über biogenes oder synthetisches Heizöl und Methan decken (vgl. Kapitel 2). Daher ist bereits ab 2029 ein Bedarf an biogenem und synthetischem Heizöl zu erwarten.

Langfristig bis zum Jahr 2044 wird in den beiden Gebäudeszenarien für den absoluten Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser im Gebäudebestand ein Bereich zwischen 386 bis 517 TWh aufgespannt. Wärmepumpen würden im Jahr 2044 bei teilweise oder vollständiger Zielerreichung der Wärmepumpenabsatzzahlen in den Heizungsszenarien „Basis“ und „Wärmepumpe“ 43% und 50% des Heizungsbestands ausmachen. Dies entspräche abhängig von der Szenariokombination 9,3 bis 10,7 Millionen Wärmepumpen. Der Heizungsbestand zeigt in allen Szenariokombination im Jahr 2044 zwischen 30 % bis 31 % Heizungen, die nur über Methan und Heizöl betreibbar sind. Dies entspricht 6,6 bis 6,7 Millionen Heizungen. Öl- und Gasheizungen, die bereits im Jahr 2023 oder früher eingebaut wurden, machen im Jahr 2044 noch ca. 22 % bis 23 % des Heizungsbestands bzw. 4,7 bis 4,8 Millionen Heizungen aus. Die diskutierten Vorzieh- und Sondereffekte im Jahr 2023 sind in den genannten Heizungsbeständen dabei nicht berücksichtigt. Im Jahr 2044 ergibt sich in den betrachteten Szenarien ein Endenergiebedarf von 22 bis 28 TWh für Heizöl und 90 bis 105 TWh für Methan. Die Ergebnisse sind von den gewählten Szenarioannahmen abhängig (vgl. Kapitel 4.2), bilden aber auf Grundlage der angenommenen historischen Austauschwahrscheinlichkeiten insbesondere für den Heizungsaustausch einen realistischen Überblick über mögliche Entwicklungen ab (vgl. Kapitel 3.1.3).

Der im Jahr 2044 verbleibende Bestand von Heizungen, die nur mit Methan und Heizöl betrieben werden können, ist relevant für die Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2045. Um Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 zu erreichen, müssten diese Heizungen mit biogenem oder synthetischem Methan und Heizöl betrieben werden. Die Anzahl dieser Heizungen beträgt bei historisch beobachteten Austauschwahrscheinlichkeiten im Jahr 2044 mindestens 4,7 Millionen. Darüber hinaus ist erwartbar, dass weitere Öl- und Gasheizungen unter den Vorgaben des GEG installiert werden und diese Anzahl weiter erhöhen, wie sich durch die 466.000 im Jahr 2024 installierten Öl- und Gasheizungen zeigt. Um diese Heizungen im Jahr 2045 treibhausgasneutral zu betreiben, wären größere Mengen von biogenem oder synthetischem Heizöl und Methan nötig. Alternativ müssten diese Heizungen früher ausgetauscht werden als dies historisch zu beobachten war. Ob sich basierend auf den Entwicklungen bspw. im Bereich der Brennstoff- und Emissionskosten für Methan und Heizöl oder der Netzentgelte höhere Austauschraten als historisch einstellen werden, kann die vorliegende Analyse nicht beantworten.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Gesetzliche Vorgaben erneuerbarer Energien an Wärmenetzbetreiber | 6 |
| Abbildung 2: Anforderungen an neue Heizungssysteme mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen in Bestandsgebäuden oder Neubauten in Bestandsgebieten | 7 |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung des EWI-Gebäudemodells | 11 |
| Abbildung 4: Vergleich des Endenergieverbrauchs im Jahr 2022 für AGEB und das EWI-Gebäudemodell in TWh | 22 |
| Abbildung 5: Austauschwahrscheinlichkeiten je Heizungstyp (in 5-Jahres-Intervallen)..... | 24 |
| Abbildung 6: Historische Entwicklung der Heizungsabsatzzahlen im Wohngebäudesektor in Tsd. basierend auf BDH (2019-2024) | 25 |
| Abbildung 7: Szenariokombinationen unter Berücksichtigung der Gebäude- und Heizungsszenarien | 26 |
| Abbildung 8: Annahmen in den Gebäudeszenarien „Historisch“ und „dena“ | 28 |
| Abbildung 9: Anteile der Heizungen am Absatz im Wohngebäudebestand und Neubau im Jahr 2031 im Heizungsszenario „Basis“ | 29 |
| Abbildung 10: Beispielhafter Hochlauf der Anteile der Heizungstechnologien an den neueingebauten Heizungen im Heizungsszenario "Basis" für den Heizungsaustauschprozess für Einfamilienhäuser | 30 |
| Abbildung 11: Anteile der Heizungen am Absatz im Wohngebäudebestand und Neubau pro Jahr im Jahr 2031 im Heizungsszenario „Wärmepumpe“ | 31 |
| Abbildung 12: Gebäudezustand und Baualterklasse im berechneten Gebäudebestand 2024 | 34 |
| Abbildung 13: Altersstruktur der Heizungstechnologien im berechneten Gebäudebestand 2024 | 35 |
| Abbildung 14: Heizungsabsatz in den Jahren 2023 und 2024 real und im Modell nach eigener Berechnung auf Basis BDH (2024) und DESTATIS (2024) | 36 |
| Abbildung 15: Entwicklung des Gebäudebestands im Gebäudeszenario „Historisch“ | 38 |
| Abbildung 16: Entwicklung des Gebäudebestands im Gebäudeszenario „dena“ | 39 |
| Abbildung 17: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „Historisch Basis“ | 40 |
| Abbildung 18: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „Historisch Basis“ | 41 |
| Abbildung 19: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „Historisch Wärmepumpe“ | 42 |
| Abbildung 20: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „Historisch Wärmepumpe“ | 43 |
| Abbildung 21: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „Historisch Basis“ | 44 |
| Abbildung 22: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „dena Wärmepumpe“ | 45 |
| Abbildung 23: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „dena Basis“ | 51 |
| Abbildung 24: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „dena Wärmepumpe“ | 51 |
| Abbildung 25: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „dena Basis“ | 52 |
| Abbildung 26: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „dena Wärmepumpe“ | 52 |
| Abbildung 27: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „Historisch Wärmepumpe“ | 53 |
| Abbildung 28: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „dena Basis“ | 53 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Gebäudekategorien und energetischen Kennwerten..... | 13 |
| Tabelle 2: Quellen für die Verteilung innerhalb der Gebäudekategorien | 19 |
| Tabelle 3: Zielverteilung für die Kombination der Gebäudekategorien Gebäudegröße und Gebäudealter..... | 20 |
| Tabelle 4: Anteil der 100%-H ₂ -ready Heizungen an Gasheizungen | 30 |

Anhang

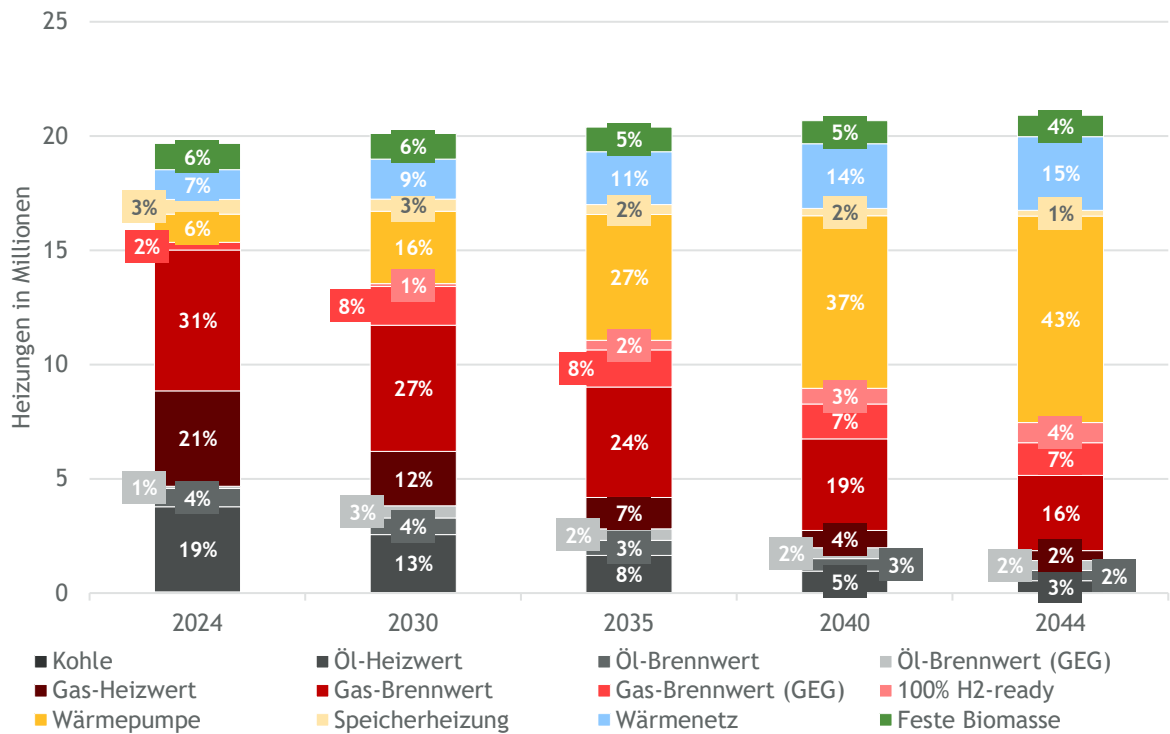


Abbildung 23: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „dena | Basis“

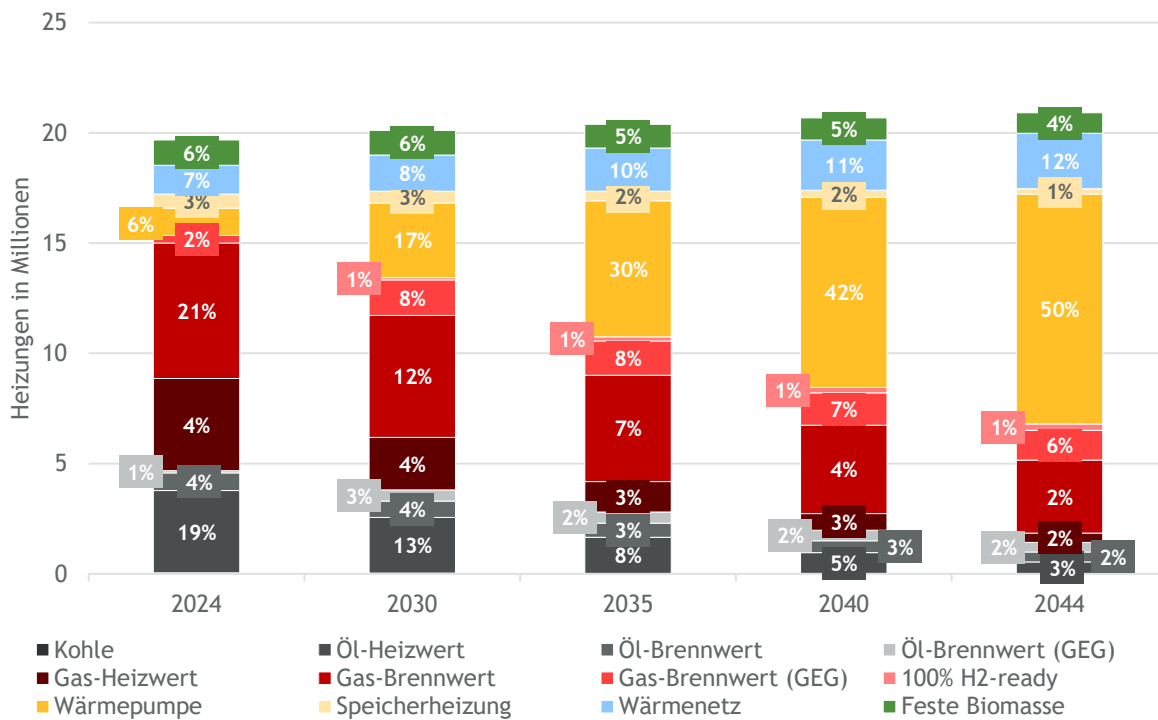


Abbildung 24: Entwicklung des Heizungsbestands in der Szenariokombination „dena | Wärmepumpe“

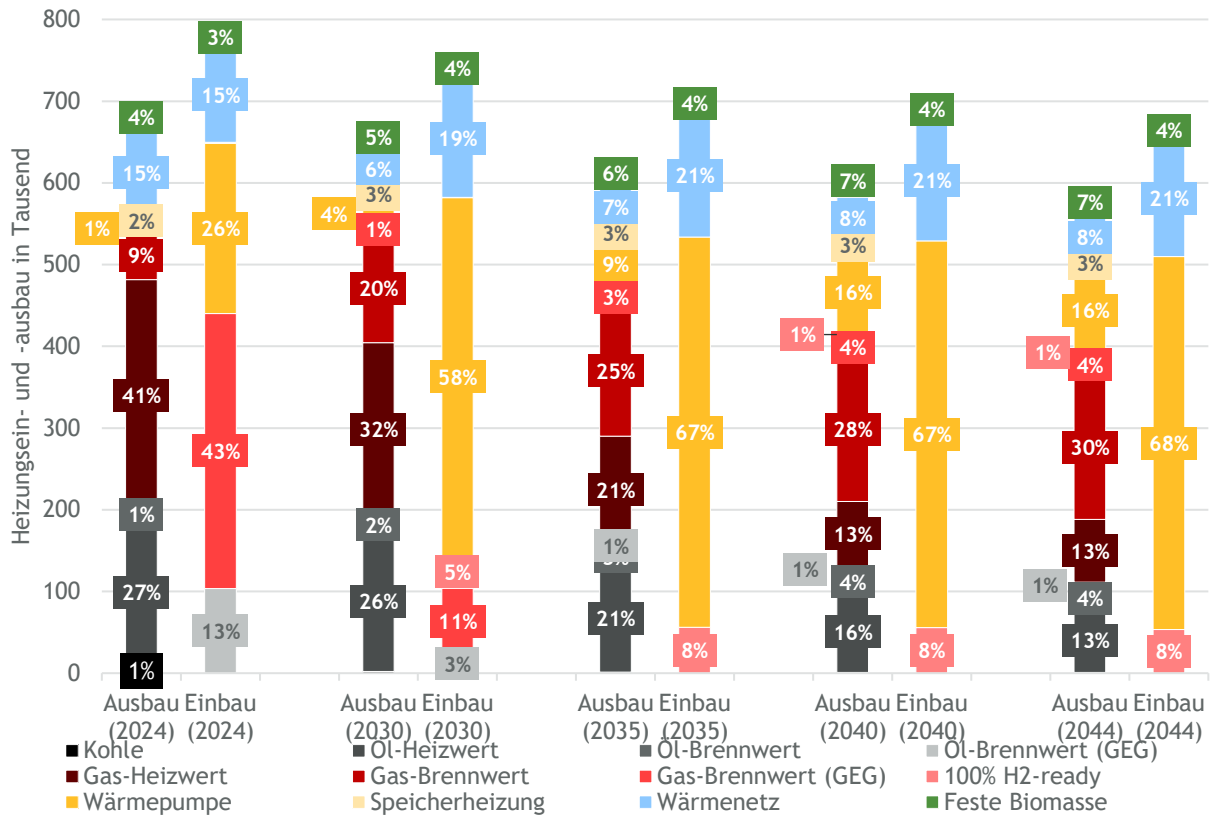


Abbildung 26: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „dena | Basis“

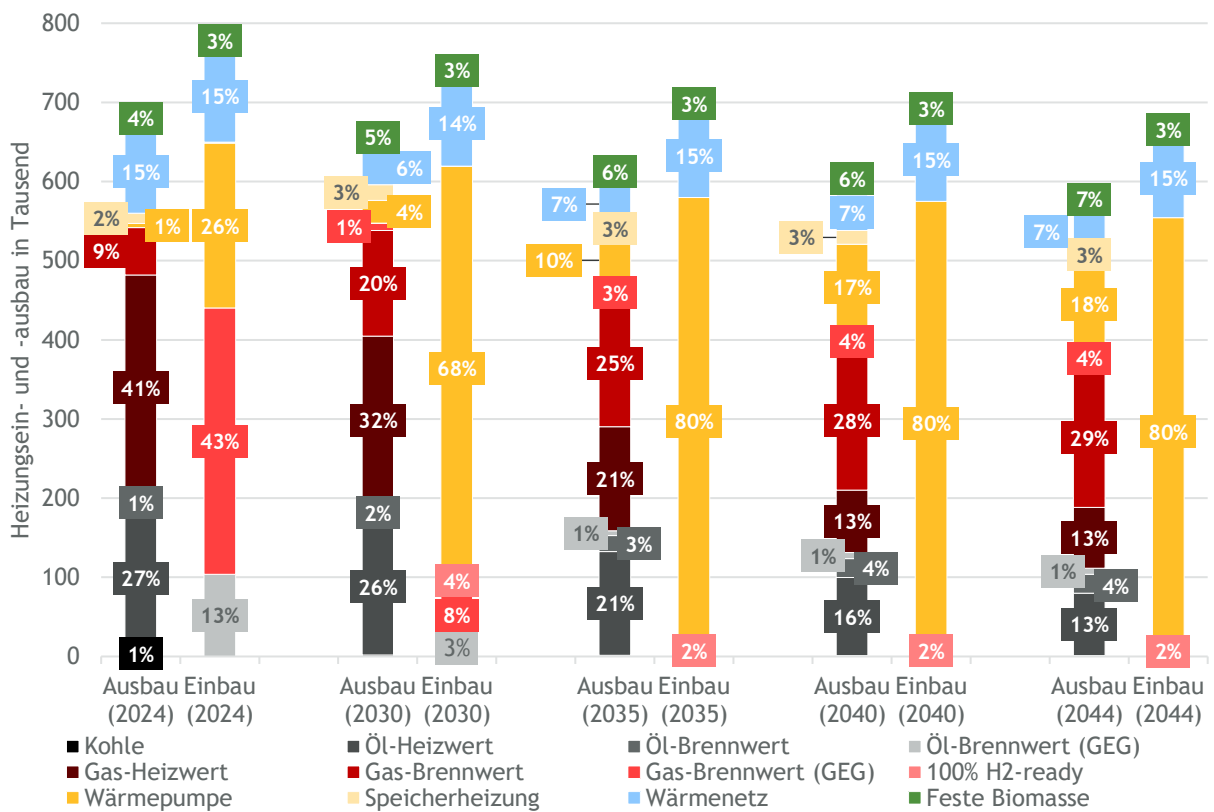


Abbildung 25: Heizungsausbau und -einbau in der Szenariokombination „dena | Wärmepumpe“

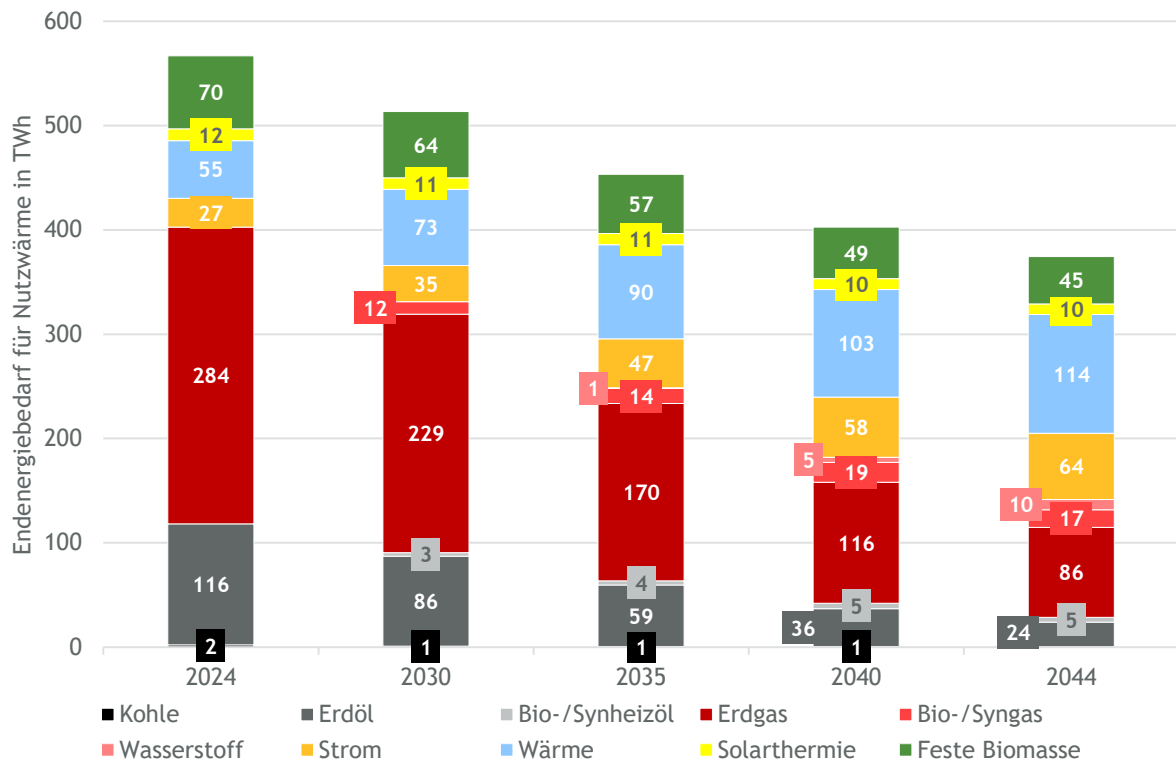


Abbildung 27: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „Historisch | Wärmepumpe“

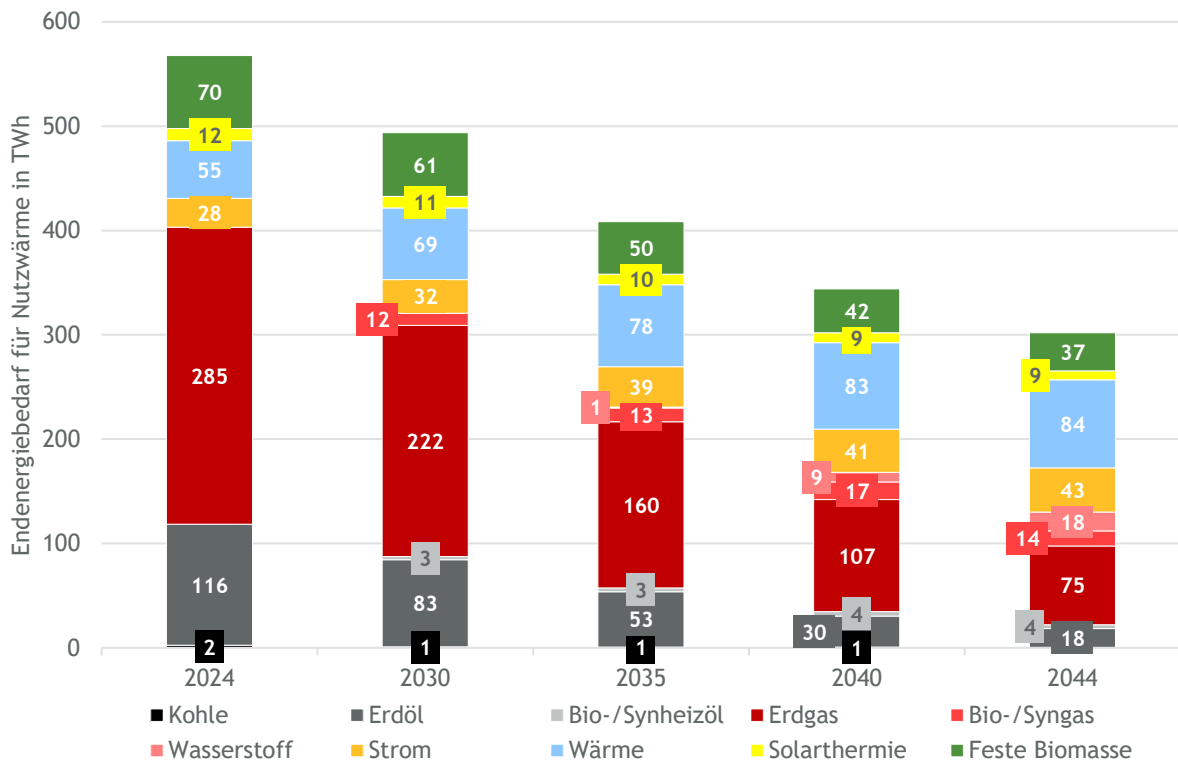


Abbildung 28: Entwicklung des Endenergiebedarf in der Szenariokombination „dena | Basis“

Literaturverzeichnis

AGFW (2024). Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/strategien-der-waermewende/perspektive-der-fw-7070-4040>, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

BDH (2024a): Absatz Wärmeerzeuger in Deutschland Januar-September 2024. e.V., Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie. Online verfügbar unter [file:///Users/moritzniklas/Downloads/Infografik_Marktentwicklung_2024_01-09_102024_CMYK%20\(2\).pdf](file:///Users/moritzniklas/Downloads/Infografik_Marktentwicklung_2024_01-09_102024_CMYK%20(2).pdf).

BDH (2024b): Heizungen: Absatz bricht im ersten Quartal 2024 ein. e.V., Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

BMJ (2019): § 3 KSG - Einzelnorm. Bundesministerium für Justiz. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/_3.html, zuletzt aktualisiert am 22.11.2024, zuletzt geprüft am 22.11.2024.

BMWK (2022): Breites Bündnis will mindestens 500.000 neue Wärmepumpen pro Jahr. Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK - Bundesministerium für. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/06/20220629-breites-buendnis-will-mindestens-500000-neue-waermepumpen-pro-jahr.html>, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

BMWK (2023): 0612-erklaerung-fernwaeme-gipfel.pdf. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0612-erklaerung-fernwaeme-gipfel.pdf?__blob=publicationFile&v=10.

BMWSB (2024): Welchen Zusammenhang haben Wärmeplanungsgesetz und Gebäudeenergiegesetz? In: *Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen*, 04.05.2024. Online verfügbar unter <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/faqs/Webs/BMWSB/DE/kwp/10-zusammenhang-wpg-und-geg.html>, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

BuVEG (2024): Sanierungsquote im Sinkflug - Prognose für 2024: weiter schwach - BuVEG. BuVEG - Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle e.V. Online verfügbar unter <https://buveg.de/pressemitteilungen/sanierungsquote-im-sinkflug-prognose-2024-schwach/>, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

DIN Media (2003): DIN V 4701-10:2003-08, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen_ Teil_10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/vornorm/din-v-4701-10/64443135>.

DIN Media (2018): DIN V 18599-8 - 2018-09 - DIN Media. Online verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/en/pre-standard/din-v-18599-8/294063421>, zuletzt aktualisiert am 22.11.2024, zuletzt geprüft am 22.11.2024.

EWI (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Online verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/03/211005_EWI-Gutachterbericht_dena-Leitstudie-Aufbruch-Klimaneutralitaet.pdf.

EWI (2023): Auswirkungen des Gebäudeenergiegesetzes auf Wohngebäude - Mögliche Entwicklungen und kritische Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung. Online verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/06/230613_EWI_Analyse_Gebaeudeenergiegesetzentwurf.pdf.

EY (2024): EY_Parthenon_Hochbauprognose_2024. Online verfügbar unter https://www.metallbau-magazin.de/download/2121874/2024-EY_Parthenon_Hochbauprognose_2024_Juli_Final_compressed.pdf.

Heitkoetter, Wilko; Medjroubi, Wided; Vogt, Thomas; Agert, Carsten (2020): Regionalised heat demand and power-to-heat capacities in Germany - An open dataset for assessing renewable energy integration. In: *Applied Energy* 259, S. 114161. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114161.

Hendrik Scharf; Carl-Philipp Anke; Philipp Hauser; Dominik Möst; Louisa Rändler; Fabian Arnold et al. (2020): Data Documentation Erdgas-BRidGE - Input data for modeling the power, building, and gas sector: Zenodo. Online verfügbar unter <https://zenodo.org/records/3923862>.

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (2022): Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Energiebilanzen für Gebäude. Online verfügbar unter <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205>, zuletzt aktualisiert am 25.11.2024, zuletzt geprüft am 25.11.2024.

Öko-Institut e.V. (2022): Mindestvorgaben für die Gesamteffizienz von Bestandsgebäuden. Institut für angewandte Ökologie. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikation/mindestvorgaben-fuer-die-gesamteffizienz-von-bestandsgebaeuden/>, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

Ruhnau, Oliver; Stiewe, Clemens; Muessel, Jarusch; Hirth, Lion (2023): Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis. In: *Nat Energy* 8 (6), S. 621-628. DOI: 10.1038/s41560-023-01260-5.

Schornsteinfegerhandwerk (2019): sonderdruck-2019pdfx. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2019.pdf?forced=true&forced=true>.

Schornsteinfegerhandwerk (2020): Schornsteinfegerhandwerk 2020. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2020.pdf?forced=true>.

Schornsteinfegerhandwerk (2021): Schornsteinfegerhandwerk. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen-2021.pdf?forced=true>.

Schornsteinfegerhandwerk (2022): Schornsteinfegerhandwerk 2022. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen-2022.pdf>.

Schornsteinfegerhandwerk (2023): Schornsteinfegerhandwerk 2023. Online verfügbar unter <https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen-2023-rgb-low.pdf>.

Statistisches Bundesamt (2021): Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden - Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden - Lange Reihen ab 1969 - 2021. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf?__blob=publicationFile.

Statistisches Bundesamt (2023): Seit 1950 wurden in der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich 405 000 neue Wohnungen pro Jahr fertiggestellt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_N041_31.html, zuletzt aktualisiert am 29.06.2023, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

Statistisches Bundesamt (2024a): Abgang von Gebäuden/Gebäudeteilen im Hochbau: Deutschland, Jahre, Gebäudeart. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/31141/table/31141-0002>, zuletzt aktualisiert am 21.11.2024, zuletzt geprüft am 22.11.2024.

Statistisches Bundesamt (2024b): Baufertigstellungen neuer Gebäude: Deutschland, Jahre, Gebäudeart, Energieverwendung, Energieart. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/31121/table/31121-0005/search/s/QmF1ZmVydGlnc3RlbGx1bmdlbiUyMG5ldWVyJTlwr2ViJUMzJUE0dWRI>, zuletzt aktualisiert am 05.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

Statistisches Bundesamt (2024c): Ergebnisse. Online verfügbar unter https://www.zensus2022.de/DE/Ergebnisse-des-Zensus/_inhalt.html#_rdv1sjrxz, zuletzt aktualisiert am 25.06.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.

Umweltbundesamt (2024): Treibhausgas-Projektionen 2024 - Ergebnisse kompakt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/thg-projektionen_2024_ergebnisse_kompakt.pdf.

VDI (2012): VDI 2067 Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2067-blatt-1-wirtschaftlichkeit-gebaeudetechnischer-anlagen-grundlagen-und-kostenberechnung-1>, zuletzt aktualisiert am 15.11.2024, zuletzt geprüft am 15.11.2024.