

# Regionalisierung Gebäudewärme

Projektion und Regionalisierung von Technologien zur  
Bereitstellung von Gebäudewärme in Deutschland

# Regionalisierung Gebäudewärme

Projektion und Regionalisierung von Technologien zur  
Bereitstellung von Gebäudewärme in Deutschland



# Impressum

## Herausgeber



Am Blütenanger 71  
80995 München  
+49 (0)89 158121-0  
info@ffe.de  
www.ffe.de

## Abschlussbericht zum Projekt

Projektion und Regionalisierung von Technologien zur  
Bereitstellung von Gebäudewärme in Deutschland

## Veröffentlicht am

31.07.2025

## Projektleitung

Timo Limmer  
Veronika Engwerth

## Bearbeiter:innen

Niklas Wettberg  
Hans Stadlbauer  
Irène Apra

## Stellv. wissenschaftlicher Leiter

Dr.-Ing. Serafin von Roon

## Geschäftsleitung

Dr.-Ing. Serafin von Roon  
Dr.-Ing. Christoph Pellingner  
Dr.-Ing. Anna Gruber  
Dr.-Ing. Andrej Guminski

## Auftraggeber

50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH,  
TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH

Versionsnummer Vorlage: TL20230613

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>7</b>
1.1	Status Quo der Wärmenachfrage und Wärmebereitstellung in Deutschland	7
1.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen und Förderungen	9
1.2.1	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze	9
1.2.2	Gebäudeenergiegesetz	10
1.2.3	Förderungen	11
1.3	Künftig zulässige Heizoptionen	12
1.4	Potenziale für Wärmenetze und Wärmepumpen	12
1.4.1	Wärmenetze	12
1.4.2	Wärmepumpen	13
<b>2</b>	<b>Transformationspfade für die Gebäudewärmenachfrage</b>	<b>15</b>
2.1	Ausprägungen der Transformationspfade	15
2.2	Modelle und Parametrierung	16
2.2.1	Fortschreibung des Energiebedarfs	16
2.2.2	Effizienzmaßnahmen	17
2.2.3	Transformation der Heizsysteme	17
<b>3</b>	<b>Regionalisierung von Status quo und Transformation</b>	<b>20</b>
3.1	Endenergieverbrauch	20
3.1.1	Status quo	20
3.1.2	Zukunft	22
3.2	Wärmepumpenanzahl	23
3.3	Fernwärmebereitstellung	24
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Gebäudewärmeregionalisierung</b>	<b>26</b>
4.1	Endenergieverbrauch	26
4.2	Wärmepumpenanzahl	27
4.3	Bereitstellung der Fernwärme	28
<b>5</b>	<b>Exkurs: Klimakälte</b>	<b>31</b>
5.1	Historische Entwicklung	31
5.2	Entwicklungspfade	32
5.3	Regionalisierung	33
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>35</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>40</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>41</b>

<b>Anhang</b>	<b>42</b>
Kennwerte zur Abschätzung der Wärmepumpenanzahl	42
Endenergieverbrauch nach Energieträger in den Szenarien	43
Technologiesteckbriefe	45
Elektro-Wärmepumpen	46
Anschluss an Wärmenetz (Hausübergabestation)	47
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	49
Stromdirektheizung	51
Elektrospeicherheizung	52
Heizungsanlage zur Nutzung fester Biomasse	53
Heizungsanlage zur Nutzung grüner Gase, Öle und Wasserstoff	54
Wärmepumpen-Hybridheizung	56
Solarthermie(-Hybridheizung)	58



# Einführung

# 1 Einführung

Die vier Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) 50Hertz, Amprion, TenneT und TransnetBW sind nach §12b Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) dazu verpflichtet, im Zweijahresturnus einen Netzentwicklungsplan (NEP) Strom zu erarbeiten. Der Gegenstand des NEP ist eine bedarfsgerechte Ausbauplanung des deutschen Höchstspannungsnetzes. Die Elektrifizierung im Wärmebereich durch Schlüsseltechnologien der Wärmewende wie Wärmepumpen kann darauf erhebliche Auswirkungen haben. Für den NEP 2025 findet im Auftrag der Übertragungsnetzbetreiber im Rahmen dieser Studie erstmalig eine umfassende regional aufgelöste Betrachtung der Gebäudewärmeentwicklung in Deutschland statt.

Das Ziel der Studie ist es, eine Methodik zu entwickeln und durchzuführen, mit der die Gebäudewärmenachfrage und die entsprechende Verbreitung von Wärmetechnologien innerhalb von Deutschland projiziert und regionalisiert werden können. Der Fokus liegt dabei auf Technologien, die mit der Strominfrastruktur verbunden sind, sowie auf den Sektoren private Haushalte (pHH) und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD). Im Zuge der Untersuchung sollen die Auswirkungen aktueller gesetzlicher Rahmenbedingungen berücksichtigt, verschiedene Entwicklungspfade (Szenarien) entworfen sowie relevante Kennzahlen und Parameter in technologischer, räumlicher und jährlicher Auflösung ausgewiesen werden. Die räumliche Auflösung auf Ebene der Kommunen wird mithilfe umfangreicher Regionalisierungslogiken erzielt. Neben der Gebäudewärmenachfrage soll auch eine Abschätzung zur regionalen Entwicklung von Klimatisierungsbedarfen getroffen werden.

Das nachfolgende, in die Studie einführende Kapitel thematisiert in Abschnitt 1.1 den Status quo der Gebäudewärme in Deutschland. Abschnitt 1.2 führt in gesetzliche Rahmenbedingungen und Förderungen im Rahmen der Transformation der Gebäudewärme ein und die abschließenden Abschnitte 1.3 und 1.4 informieren über künftig zulässige Heizoptionen sowie Potenziale für Wärmenetze und Wärmepumpen.

Die Modellierung bzw. Umsetzung der Regionalisierung der Gebäudewärme wird in den Kapiteln 2 *Transformationspfade für die Gebäudewärmenachfrage*, 3 *Regionalisierung von Status quo und Transformation* sowie 4 *Ergebnisse der*

*Gebäudewärmerregionalisierung* beschrieben. Zum Ende der Studie erfolgt in Kapitel 5 ein Exkurs zur Klimakälte.

## 1.1 Status Quo der Wärmenachfrage und Wärmebereitstellung in Deutschland

Um dem fortschreitenden Klimawandel entgegenzuwirken, hat die Bundesregierung im Jahr 2021 das Klimaschutzgesetz verabschiedet. Dieses Gesetz soll insbesondere Ziele zur Treibhausgasminde rung für ausgewählte zukünftige Jahre vorgeben. Laut der Gesetzesänderung vom 15. Juli 2024 sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen über alle Sektoren hinweg bis 2030 um 65 % gegenüber dem Jahr 1990 sinken und im Jahr 2045 Treibhausgasneutralität in Deutschland erreicht werden /BMWK-16 24/. Aufgrund seines Anteils von rund 40 % an den bundesweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und von circa 56 % am nationalen Endenergieverbrauch (EEV) ist die Transformation des Wärmebereichs für die Erreichung der Klimaziele entscheidend /BDEW-08 21/, /UBA-01 24/.

Die Wärmenachfrage setzt sich im Allgemeinen aus den Anwendungen Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme zusammen. Im Jahr 2019 lag die Wärmenachfrage im Sektor pHH bei 603 TWh, im Sektor GHD bei 207 TWh sowie im Industriesektor bei 511 TWh. Während im Industriesektor 91 % der Wärmenachfrage auf Prozesswärme zurückzuführen sind, dominiert in pHH und GHD die Raumwärme mit 76 % bzw. 88 % /RWI-01 20/, /ISI-05 21/. Fokus dieser Studie ist die Gebäudewärme und somit insbesondere die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser. Demzufolge wird nachfolgend ausschließlich auf die Sektoren pHH und GHD eingegangen. Über diese beiden Anwendungen hinaus, ist im erweiterten Sinne auch die Klimakälte bzw. Gebäudeklimatisierung Teil der Gebäudewärme, die im Rahmen dieser Studie in einem Exkurs in Kapitel 5 thematisiert wird.

Abbildung 1-1 zeigt die Anteile der Wärmeanwendungen am gesamten EEV der Sektoren pHH und GHD. Der EEV im Sektor pHH ist im Jahr 2019 mit 677 TWh beinahe doppelt so hoch wie in GHD mit 365 TWh. In pHH entfallen 68 % des EEV auf

Raumwärme und 16 % auf Warmwasser. In GHD sind es entsprechend 49 % und 3 % /RWI-01 20/, /ISI-05 21/.

**Anteil der Wärmeanwendungen am EEV**  
in % | 2019 | pHH & GHD | Wetterjahr 2019

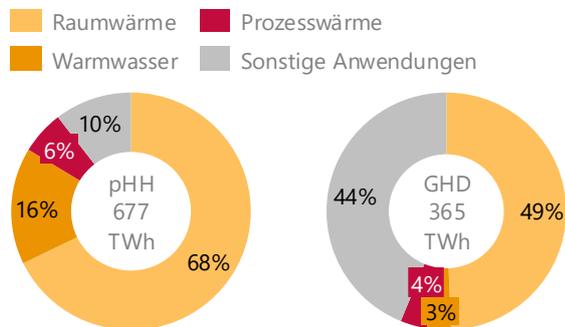


Abbildung 1-1: Anteile der Wärmeanwendungen am Endenergieverbrauch in den Sektoren pHH und GHD im Jahr 2019 /RWI 01 20/, /ISI 05 21/

**Prozesswärme in pHH und GHD**

In pHH beinhaltet die Anwendung Prozesswärme insbesondere das Kochen, Backen und Waschen. Dazu wurden im Jahr 2019 ca. 40 TWh Endenergie verbraucht, wovon 38 TWh auf den Energieträger Strom zurückzuführen sind. Der übrige EEV wird durch den Energieträger Gas (z.B. Gasherde) gedeckt /RWI-01 20/. Im Sektor GHD lag die Prozesswärmefrage 2019 bei ca. 14 TWh, wovon 8 TWh dem Energieträger Strom zuzuordnen sind. Ca. 5 TWh der Nachfrage werden mit Gas gedeckt sowie die restliche Nachfrage mit Öl, Erneuerbaren und Fernwärme /ISI-05 24/. Den größten Anteil an der Prozesswärmefrage hat der Wirtschaftszweig Beherbergung, Gaststätten, Heime. Weitere Wirtschaftszweige mit Nachfrage nach nicht durch den Energieträger Strom erzeugter Prozesswärme sind Textil, Bekleidung, Spedition sowie Flughäfen, Landwirtschaft und Wäschereien /ISI-06 23/.

Neben der Höhe der Gebäudewärmefrage ist es bedeutend, welche Energieträger nachgefragt werden. Die Energieträgeraufteilung der Raumwärme- und Warmwassernachfrage in den Sektoren pHH und

GHD für die Jahre 2019 bis 2022 mit Wetterjahr 2019 ist in Abbildung 1-2 dargestellt. Die Nachfrage nach den fossilen Energieträgern Öl, Kohle und Gas sinkt in diesem Zeitraum moderat, wohingegen jene nach Strom, Nah-/Fernwärme und Erneuerbaren konstant bleibt bzw. steigt. Erneuerbare Energieträger umfassen feste und flüssige Biomasse sowie Solarthermie /RWI-01 20/, /ISI-05 21/, /CCCS-01 21/. Energieträger zur Bereitstellung von Fernwärme der Allgemeinen Versorgung im Status quo sind nach /PROG-01 21/ Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Bioenergie, Abfall (biogen und fossil), Großwärmepumpen, Elektrokessel, Geothermie, Solarthermie und industrielle Abwärme.

**Raumwärme und Warmwasser nach Energieträger**  
in TWh | pHH & GHD | Wetterjahr 2019

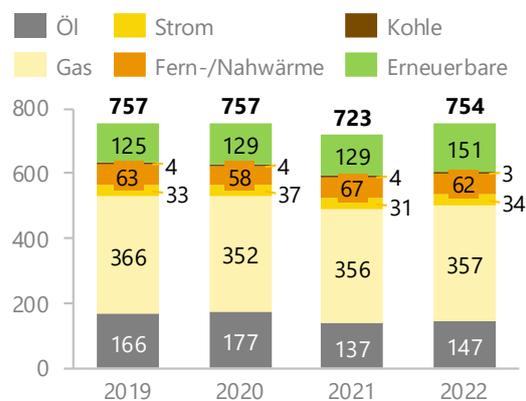


Abbildung 1-2: Endenergieverbrauch für Raumwärme- und Warmwasser nach Energieträger für den Zeitraum von 2019 bis 2022 mit Wetterjahr 2019 /RWI-01 20/, /ISI-05 21/, /CCCS-01 21/

Diese Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Anwendungen Raumwärme und Warmwasser nach Energieträger geht auch aus der Entwicklung der Heizungsstruktur des Wohnungsbestandes hervor. Sie ist für die Jahre 1998 bis 2024 in Abbildung 1-3 dargestellt und weist über den gesamten Zeitraum nur moderate Veränderungen auf. Der Anteil fossiler Heizungen, insbesondere Öl und Gas, war über den gesamten Zeitraum bei circa 75 % näherungsweise konstant. Dabei stieg der Anteil der Gasheizungen am gesamten Heizungsbestand von circa 40 % im Jahr 1998 auf circa 56 % im Jahr 2024. Darüber hinaus nahmen die Anteile der Wärmepumpen und Biomasseheizungen zu. Der Anteil der Wärmepumpen stieg von 0,2 % im Jahr 1998 auf 4,4 % im Jahr 2024. Der Anteil der Biomasseheizungen erhöhte sich im gleichen Zeitraum von 2,6 % auf 4,1 % /BDEW-08 24/.

### Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in % | Deutschland | 1998- 2024

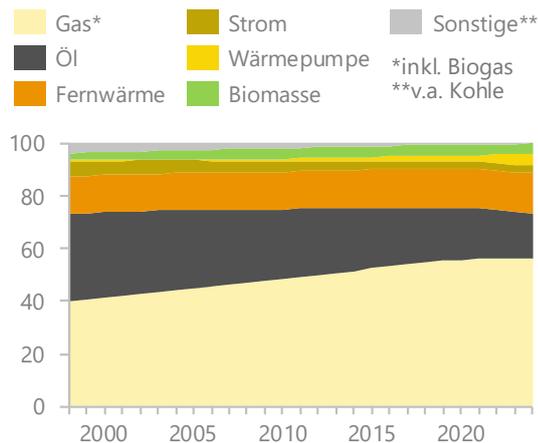


Abbildung 1-3: Entwicklung der Beheizungsstruktur in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden /BDEW-08 24/

Die Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau ist Abbildung 1-4 zu entnehmen. Auffällig ist der Anstieg des Anteils der Wärmepumpen von circa 20 % im Jahr 2014 auf knapp 65 % im Jahr 2024, dem ein starker Rückgang des Anteils der Gasheizungen gegenüber steht. Darüber hinaus ist der Anteil an Neubauwohnungen, die an das Fernwärmenetz angeschlossen oder durch Stromheizungen (Wärmepumpen ausgenommen) versorgt werden, leicht gestiegen. Im Gegensatz dazu verzeichnet der Anteil der Biomasseheizungen einen moderaten Rückgang.

### Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in % | Deutschland | 2014 - 2024

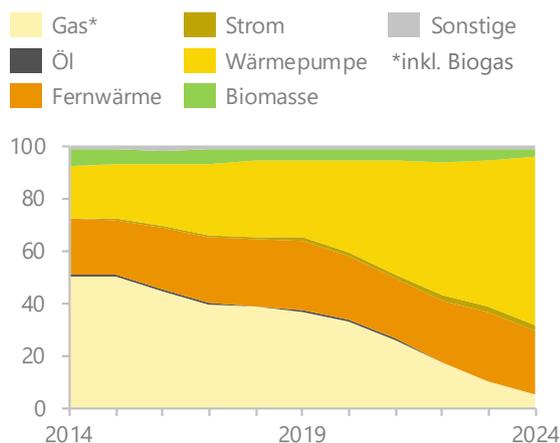


Abbildung 1-4: Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau /BDEW-03 25/

## 1.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Förderungen

Dieses Kapitel wurde im Jahr 2024 verfasst und vor Veröffentlichung dieses Berichts auf Gültigkeit überprüft. Mögliche Änderungen bzgl. Gesetzgebung oder Förderung durch die neue Bundesregierung, die nach dem 30. Juni 2025, beschlossen wurden, konnten nicht berücksichtigt werden.

Im Folgenden werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb und die In- und Außerbetriebnahme von Technologien zur Bereitstellung von Gebäudewärme auf Basis der am 01.01.2024 in Kraft tretenden Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), und des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) zusammengefasst. Die Ausführungen basieren auf den Gesetzestexten des GEG, des WPG und den relevanten Förderrichtlinien sowie deren Kommentierungen durch die verantwortlichen Stellen. /BMWK-18 23/, /BMWK-25 23/, /BMWK-06 24/, /BMWK-07 24/, /BMWK-26 23/, /DENA-03 24/

### 1.2.1 Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze

Das Gesetz schafft die Grundlagen für eine verbindliche und flächendeckende Wärmeplanung in Deutschland. Ziel ist es, die Wärmeversorgung bis 2045 treibhausgasneutral zu gestalten und somit zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung beizutragen. Ein wichtiger Aspekt der Wärmeplanung ist die Ermittlung des vor Ort besten und kosteneffizientesten Weges zu einer klimafreundlichen und fortschrittlichen Wärmeversorgung. So soll für alle Beteiligten Planungs- und Investitionssicherheit geschaffen werden. Dadurch können langfristig die notwendigen personellen und technischen Kapazitäten aufgebaut werden, um bis zum Jahr 2045 eine kosteneffiziente und klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen.

Das WPG verpflichtet die Länder sicherzustellen, dass auf ihrem Hoheitsgebiet bis zum 30.06.2026 für Gemeindegebiete mit über 100.000 Einwohnern bzw. bis zum 30.06.2028 für Gemeindegebiete mit weniger als 100.000 Einwohner:innen Wärmepläne als Ergebnis einer kommunalen Wärmeplanung erstellt werden. Für Gemeinden mit bis zu 10.000 Einwohnern ist ein vereinfachtes Verfahren der Wärmeplanung möglich.

Das Gesetz legt neben der Verpflichtung zur Wärmeplanung das Ziel fest, Wärmenetze auszubauen und die Anzahl der Gebäude, die mit leitungsgebundener Wärme versorgt werden, signifikant zu steigern. Darüber hinaus soll bis zum Jahr 2030 im bundesweiten Mittel die Hälfte der leitungsgebundenen Wärme

klimaneutral erzeugt werden. Ziel ist die Einspeisung von Wärme aus Erneuerbaren Energien oder aus nicht vermeidbarer Abwärme in bestehende Wärmenetze in Höhe von 30 % bis zum Jahr 2030 und in Höhe von 80 % bis zum Jahr 2040. Angestrebt wird ein vollständig fossilfreies Wärmenetz bis 2045. Neue Wärmenetze müssen ab 2024 zu mindestens 65 % aus Erneuerbaren Energien, nicht vermeidbarer Abwärme oder einer Kombination aus beidem gespeist werden.

### 1.2.2 Gebäudeenergiegesetz

Im November 2020 ist das GEG in Deutschland in Kraft getreten. Es legt die energetischen Anforderungen an all jene Gebäude fest, die entweder beheizt oder klimatisiert werden. Im Mittelpunkt steht, den Energiebedarf von Gebäuden zu reduzieren, den Austausch fossiler Heizungen zu beschleunigen und erneuerbare Energien stärker im Gebäudesektor zu nutzen.

Die zweite Novelle des GEG ist gemeinsam mit dem WPG Anfang 2024 in Kraft getreten und eng mit diesem verzahnt. Dieses Gesetz verfolgt das zentrale Ziel, einen bedeutenden Beitrag zur Umsetzung der nationalen Klimaschutzziele zu leisten. Dies soll durch die Implementierung von wirtschaftlich vertretbaren, sozialverträglichen und effizienzsteigernden Maßnahmen erfolgen, die darauf abzielen, Treibhausgasemissionen einzusparen. Gleichzeitig soll vermehrt auf Erneuerbare Energien oder unvermeidbare Abwärme als Energiequelle für Gebäude zurückgegriffen werden.

Im Rahmen des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit verfolgt dieses Gesetz das übergeordnete Ziel, im Sinne des Klimaschutzes einen kontinuierlichen Rückgang des Verbrauchs fossiler Ressourcen zu erreichen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffimporten zu verringern. Hierbei sollen die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung unterstützt und der Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte weiter gesteigert werden. Das Gesetz strebt somit eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung an.

Kern des novellierten Gebäudeenergiegesetzes ist der § 71 GEG. Darin wird geregelt, dass ab 2024 grundsätzlich jede neu eingebaute Heizungsanlage mindestens 65 % erneuerbare Energie nutzen muss. Bestehende Heizungen dürfen weiter betrieben und auch repariert werden. Entsprechend der GEG-Novelle gelten die Vorgaben für folgende Anlagen einzeln oder in Kombination miteinander als erfüllt, wenn sie den Wärmebedarf des Gebäudes oder des Gebäudenetzes vollständig decken oder eine Bestandsanlage ergänzen:

- Anschluss an ein Wärmenetz
- Elektrisch angetriebene Wärmepumpe
- Stromdirektheizung
- Solarthermie
- Heizungsanlage zur Nutzung von Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate
- Wärmepumpen-Hybridheizung
- Solarthermie-Hybridheizung

Für die Auslegung dieser pauschalen Erfüllungsoptionen sind die Anforderungen in den jeweiligen §§ 71b – 71h GEG zu beachten. Alternativ sind aufgrund der technologieoffenen Auslegung des Gesetzes alle anderen Technologien und Kombinationen zulässig, bei welchen die Einhaltung des Anteils Erneuerbarer Energie auf Grundlage von Berechnungen nach DIN V 18599:2018-09 erbracht wird.

Das Eintreten der Regelungen ist gestaffelt nach Neubau und Bestandsgebäuden sowie eng verzahnt mit dem Wärmeplanungsgesetz. Ebenfalls existieren einige Übergangs- und Ausnahmeregelungen, um einen verträglichen Umstieg zu ermöglichen:

- In Neubauten (in Neubaugebieten) gelten die Regelungen ab 01.01.2024.
- Für bestehende Gebäude und Neubauten in Baulücken sind längere Übergangfristen vorgesehen und direkt mit dem Wärmeplanungsgesetz verzahnt, wodurch eine bessere Abstimmung der Investitionsentscheidung basierend auf der kommunalen Wärmeplanung ermöglicht wird.
- Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohnern: Inkrafttreten der 65 %-Anforderung spätestens ab 01.07.2026 oder einen Monat nach der Gebietsweisung auf Grundlage eines Wärmeplans
- Kommunen bis 100.000 Einwohner: Inkrafttreten der 65 %-Anforderung spätestens ab 01.07.2028 oder einen Monat nach der Gebietsweisung auf Grundlage eines Wärmeplans
- Der Wärmeplan allein reicht für die Wirksamkeit der 65 %-Anforderung nicht aus. Hierzu muss zusätzlich eine Entscheidung der Kommune über die Gebietsausweisung vorliegen.
- In dieser Übergangsfrist ist der Einbau einer mit fossilen flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten Heizungsanlage (Gas- oder Öl-Heizung) weiterhin möglich. Diese müssen ab 2029 allerdings mindestens 15 %, ab 2035 mindestens 30 % und ab 2040 mindestens 60 % der bereitgestellten Wärme aus Erneuerbaren Energien (z. B. Biomethan, biogenes Flüssiggas oder Wasserstoff) erzeugen. Die Verwendung dieser grünen Brennstoffe ist mit entsprechenden Lieferverträgen des Versorgers nachzuweisen

- Nach Inkrafttreten der 65 %-Anforderung kann im Fall eines Heizungsaustauschs im Rahmen der allgemeinen Übergangsfrist einmalig für fünf Jahre eine Heizungsanlage aufgestellt und betrieben werden, welche nicht mindestens 65 % der bereitgestellten Wärme aus erneuerbarer Energie erzeugt
- Weitere Übergangsfristen existieren gemäß §§ 71j – 71m GEG für den Anschluss an ein neues Wärmenetz, den Anschluss an ein geplantes Wasserstoffnetz, die Umstellung von Etagenheizungen und Einzelraumfeuerungsanlagen sowie für den Austausch von Hallenheizungen

Ab 01.01.2045 tritt das allgemeine Betriebsverbot für mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizungsanlagen in Kraft.

Wenn eine Heizungsanlage zum Betrieb mit festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen eingesetzt werden soll, muss gemäß GEG vor dem Einbau eine Beratung durch eine fachkundige Person stattfinden. Hierbei soll auf die Grüne-Brennstoff-Quote ab 2029 und auf die Kostenrisiken der CO<sub>2</sub>-Preise und der Brennstoffpreise eingegangen werden. Mit dem Beratungsgespräch wird sichergestellt, dass Eigentümer:innen sämtliche Alternativen und Kostenszenarien kennen.

Ob biogene Brennstoffe (z. B. Biomethan oder biogenes Flüssiggas) dem Wärmemarkt in den kommenden Jahren und Jahrzehnten in großem Maßstab zur Verfügung stehen werden, ist nicht absehbar, da deren Markt aktuell deutlich kleiner ist und eine Nutzungskonkurrenz mit den Sektoren Industrie und Verkehr bestehen wird. Deswegen sind hier bei steigender Nachfrage, ebenso wie bei holzartiger Biomasse, deutlich teurere Preise und Lieferverträge wahrscheinlich. Ebenso sind die Verfügbarkeit und die Preisentwicklung von klimaneutral hergestelltem Wasserstoff kontrovers diskutierte Fragen. Aufgrund der dringenderen Notwendigkeit von Wasserstoff zur Dekarbonisierung anderer Sektoren, sollte dessen Einsatz im Wärmebereich eher untergeordneter Bedeutung sein und andere Wärmeversorgungsmöglichkeiten, wenn möglich, bevorzugt werden. /BMWK-05 24/, /UBA-03 24/, /UBA-13 23/.

### 1.2.3 Förderungen

Um den Umstieg auf das Heizen mit Erneuerbaren Energien sozialverträglich zu gestalten, wird der Einbau der oben genannten Erfüllungsoptionen im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude

<sup>1</sup> Für Biomasseheizungen mit Staubemissionen von max. 2,5 mg/m<sup>3</sup> wird ein Emissionsminderungs-Zuschlag von pauschal 2.500 €

(BEG) finanziell gefördert. Der Austausch von Heizungen wird auch über Landesprogramme sowie von einigen Kommunen und Energie-Versorgungsunternehmen gefördert. Einzelne Förderprogramme können, je nach Vorgabe der Richtlinien, kombiniert werden.

Für den Austausch von Wärmeerzeugern ist die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) maßgeblich. Im Rahmen der BEG EM werden auch andere Einzelmaßnahmen wie die Dämmung der Gebäudehülle oder die Heizungsoptimierung gefördert. Für die systemische Maßnahmen wie die Sanierung von Gebäuden zu Effizienzhäusern können die BEG Wohngebäude (BEG WG) und die BEG Nichtwohngebäude (BEG NWG) herangezogen werden. Für den Neubau ist die BEG Klimafreundlicher Neubau (BEG KfN) relevant.

Aufgrund der Relevanz für den Austausch alter Heizungen wird im Folgenden die BEG EM vorgestellt. Im Rahmen dieser Förderung wird der Heizungsaustausch über folgende Investitionszuschüsse unterstützt:

- Grundförderung: 30 % für alle Wohn- und Nichtwohngebäude sowie alle Antragstellergruppen
- Effizienz-Bonus: 5 % für Wärmepumpen, die als Wärmequelle Wasser, Erdreich oder Abwasser nutzen oder ein natürliches Kältemittel einsetzen<sup>1</sup>
- Klimageschwindigkeits-Bonus: 20 % für alle selbstnutzenden Wohneigentümer:innen bei frühzeitigem Austausch von Gas- oder Biomasseheizung (mind. 20 Jahre alt) oder Öl-, Kohle-, Gasetagen- oder Nachtspeicherheizung. Ab 2028 Abschmelzen der Förderung um 3 Prozentpunkte alle 2 Jahre. Ab 01.01.2037 entfällt diese Bonuskomponente
- Einkommens-Bonus: 30 % für alle selbstnutzenden Wohneigentümer:innen mit zu versteuerndem Haushaltseinkommen bis zu 40.000€

Die Boni sind für selbstnutzende Eigentümer:innen bis zu einem maximalen Fördersatz von 70 % kumulierbar. Für nicht selbstnutzende Wohneigentümer:innen sind maximal 35 % erreichbar. Nahezu alle im Bestand möglichen und dem neuen § 71 GEG entsprechenden Heizungsanlagen sind für diese Boni grundsätzlich berechtigt. Für Gas- und Ölheizungen, mit Ausnahme der Mehrkosten für Wasserstoff-Readiness, und Stromdirektheizungen sind keine Förderungen vorgesehen. Dies gilt auch für solche Gas- und Ölheizungen, welche mit grünen Gasen oder Ölen betrieben werden. Brennstoffzellen, welche mit grünem und

gewährt. Dieser Zuschlag wird unabhängig von der Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben gewährt

blauem Wasserstoff oder Biomethan betrieben werden, sind hingegen förderfähig. Bei Hybrid-Heizungen ist nur der erneuerbare Anteil förderfähig. Die technischen Anforderungen zur Förderfähigkeit der einzelnen Wärmeerzeuger sind der entsprechenden Richtlinie zu entnehmen /BMWK-26 23/.

Als förderfähige Investitionskosten gelten die Anschaffungskosten des geförderten Wärmeerzeugers, die Kosten für Installation und Inbetriebnahme sowie die Kosten für erforderliche Umfeldmaßnahmen. Die maximal förderfähigen Ausgaben (für Anlagen zur Wärmeerzeugung) betragen 30.000 € im Einfamilienhaus bzw. für die erste Wohneinheit in einem Mehrfamilienhaus. Die förderfähigen Ausgaben erhöhen sich im Mehrfamilienhaus um je 15.000 € für die zweite bis sechste und um je 8.000 € ab der siebten Wohneinheit. Bei Nichtwohngebäuden sind die förderfähigen Ausgaben von der Nettogrundfläche abhängig. Für einen selbstnutzenden Eigentümer eines Einfamilienhauses sind bei dem Förderhöchstsatz von 70 % somit maximal 21.000 € Investitionszuschuss möglich.

Zusätzlich zu den Investitionszuschüssen existiert ein ergänzendes Kreditangebot – zinsvergünstigt für Antragstellende bis zu einem zu versteuernden Haushaltseinkommen von 90.000 € pro Jahr – für den Heizungsaustausch oder die Effizienzmaßnahmen. Dieses Angebot soll dabei helfen, die finanzielle Belastung durch einen Heizungsaustausch zeitlich zu strecken und zu verringern.

Für weitere Effizienzmaßnahmen sowie bei Vorliegen eines individuellen Sanierungsfahrplans können andere Fördersätze und Obergrenzen gelten. Diese sind den entsprechenden Richtlinien zu entnehmen /BMWK-26 23/.

### 1.3 Künftig zulässige Heizoptionen

Im Anhang sind Technologiesteckbriefe zu folgenden Heizoptionen zu finden. Der Fokus lag hierbei auf den zukünftig zulässigen Heizoptionen gemäß GEG.

- Elektro-Wärmepumpen
- Anschluss an Wärmenetz (Hausübergabestation)
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Stromdirektheizung
- Elektrospeicherheizung
- Heizungsanlagen zur Nutzung fester Biomasse
- Heizungsanlagen zur Nutzung grüner Gase, Öle oder Wasserstoff
- Wärmepumpen-Hybridheizung
- Solarthermie(-Hybridheizung)

Folgende Kriterien werden in den jeweiligen Steckbriefen beschrieben:

- Kurzbeschreibung
- Kenndaten (z. B. Leistungsbereich, Effizienz und Kostenstruktur)
- Voraussetzungen für die Eignung
- Vorteile
- Nachteile
- Einsatzgebiet

## 1.4 Potenziale für Wärmenetze und Wärmepumpen

Die Technologien, denen bei der Transformation des Gebäudesektors der größte Stellenwert zugeschrieben wird, sind Wärmenetze und dezentrale Wärmepumpen. Die Potenziale der Technologien sind stark abhängig von lokalen Gegebenheiten. Eine Abschätzung erfordert daher kleinräumige Betrachtungen. In diesem Kapitel werden Ergebnisse vorangegangener Studien zusammengefasst.

### 1.4.1 Wärmenetze

In diesem Abschnitt wird eine kurze Potenzialabschätzung vorgenommen, welche Anteile der Wärmenachfrage sich für den leitungsgebundenen Transport in Wärmenetzen eignen.

In dem für den NEP 2023 durchgeführten Wärmenetzgutachten /FFE-51 22/ wird das Potenzial für Wärmenetze auf einem 100x100-Meter-Raster bestimmt. Hierfür wird der Wärmebedarf je Rasterzelle auf Basis verschiedener (Statistik-)Daten abgeschätzt und anhand von Schwellwerten für die Bedarfsdichte als potenzielles Wärmenetzgebiet ausgewiesen. Eine konkrete Betrachtung der benötigten Leitungslängen oder eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt nicht. Der Schwellwert wurde im Zuge der Untersuchung auf 400 MWh/ha festgelegt. Unter Berücksichtigung dieses Schwellwertes beträgt das gesamte Potenzial für Wärmenetze in Deutschland 340 TWh und befindet sich damit in guter Übereinstimmung mit weiteren in der Studie verglichenen Untersuchungen. Als Basis dient dabei der Wärmeabsatz aus dem Jahr 2019. Bei angenommenen Sanierungen und damit verbundenen Reduktionen des Wärmebedarfs müsste der Schwellwert entsprechend nach unten angepasst werden, um das Potenzial konstant zu halten oder zu erhöhen. Eine entsprechende Übersicht ist in dem Gutachten enthalten. /FFE-51 22/

Für die Berechnung des Potenzials für Wärmenetze ist die Wärmelinien-dichte je Straßenabschnitt grundsätzlich die genauere Größe als die Wärmebedarfsdichte

je Hektar. Im Rahmen des FfE-Projekts *VALUES Wärme* /FFE-05 25/ wurde eine deutschlandweite Analyse von straßenabschnittsscharfen Wärmenetzpotenzialgebieten auf Basis der Wärmelinienichte durchgeführt. Diese basiert wiederum auf einem geometrischen Einzelgebäudemodell. Dabei wurden Szenarien berechnet, die sich hinsichtlich der Anschlusswahrscheinlichkeiten der einzelnen Gebäude, differenziert nach Wärmepumpeneignung und Gebäudegröße, unterscheiden. Im Szenario *Mix* liegen rund 44 % des Gebäudewärmebedarfs von pHH und GHD innerhalb potenzieller Wärmenetze. Bezogen auf die 757 TWh Endenergieverbrauch für Gebäudewärme bzw. Raumwärme und Warmwasser in 2019 (siehe Abbildung 1-2) läge das Potenzial für pHH und GHD somit bei 333 TWh und damit in der gleichen Größenordnung wie die zuvor genannte Studie. Laut aktuellen Studien wird in Szenarien mit ambitioniertem Wärmenetzausbau weniger als die Hälfte dieses Potenzials erschlossen.

#### **Fernwärmepotenzial für Prozesswärme**

In einer weiteren Analyse der FfE /FFE-53 19/ wurde das Wärmenetzpotenzial im Industrie-Sektor untersucht. Ausschlaggebend für die Klassifizierung als mögliches Wärmenetz ist hier das notwendige Temperaturniveau der Wärmenachfrage. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass der gesamte Wärmebedarf von Temperaturen bis 240 °C durch Wärmenetze gedeckt werden kann. Die Untersuchungen zeigen, dass 24 % oder 110 TWh der gesamten Prozesswärme der Industrie aus dem Jahr 2017 theoretisches Potenzial für eine netzbasierte Wärmeversorgung aufweisen.

#### **1.4.2 Wärmepumpen**

Mit der *Wärmepumpen-Ampel* /FFE-67 22/ und /GREIF-01 23/ wurde ein deutschlandweites Potenzial für Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden auf Basis kleinräumiger Geodatenanalysen ermittelt. Im Ergebnis sind in etwa 75 % der Bestandswohngebäude in Deutschland mit Wärmepumpen versorgbar. Dabei wurden verschiedenen Wärmepumpen-Technologien betrachtet (Luft-Wärmepumpen, Erdsonden-Wärmepumpen, Erdkollektor-Wärmepumpen, Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen). Am meisten Gebäude sind durch Luft-Wärmepumpen versorgbar (65 %). Limitierender Faktor sind gesetzliche Bestimmungen zum Schallschutz. Dabei wurden zum Teil konservative Annahmen getroffen. Beispielsweise wurde für alle Wohngebäude der restriktivste Immissionsgrenzwert nach /BMU-07 17/ für die Gebietskategorie „Reines Wohngebiet“ angewendet, da keine deutschlandweite Datengrundlage zur Differenzierung der Gebietskategorien existieren. Die Anwendung der auf Basis von /FFE-67 22/ weiterentwickelten Modelle im Rahmen von Kommunalen Wärmeplanungen hat gezeigt, dass in der Realität viele der Gebäude in Gebieten mit weniger restriktiven Immissionsgrenzwerten liegen (z.B. „Allgemeines Wohngebiet“) und dass die Höhe des Immissionsgrenzwertes einen großen Einfluss auf die Potenziale hat. Konservative und optimistischere Annahmen gleichen sich zwar teilweise aus. Insgesamt liegt das theoretisch-technische Gesamtpotenzial für Luft-Wärmepumpen und damit für Wärmepumpen insgesamt in Deutschland jedoch vermutlich höher.

/FFE-67 22/ betrachtet nur Wohngebäude, jedoch wurden bei FfE-Potenzialanalysen im Rahmen von Kommunalen Wärmeplanung auch GHD-Gebäude untersucht. Für GHD-Gebäude ist grundsätzlich von höheren Potenzialen für Luft-Wärmepumpen auszugehen, da diese häufiger in Gebietskategorien mit weniger restriktiven Grenzwerten stehen.

/GREIF-01 23/ geht auf Basis der Potenziale und Zahlen nach /IEG-01 22/ bei der Entwicklung eines Zielpfades von 15 Millionen Wärmepumpen in Wohngebäuden in 2045 aus. /IEG-01 22/ beinhaltet auch Nichtwohngebäude und kommt je nach Szenario auf insgesamt 14 bis 17 Millionen Wärmepumpen.



# **Transformationspfade für die Gebäudewärmenachfrage**

## 2 Transformationspfade für die Gebäudewärmenachfrage

In dieser Studie geben drei Szenarien mögliche Rahmenbedingungen für deutschlandweite Projektionen der Gebäudewärmenachfrage bis ins Jahr 2045 vor. Diese werden mit den FfE-Gebäudesektormodellen *PriHM* (Private Haushalte) und *TerM* (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) berechnet /FFE-11 24/, /FFE-179 20/. Im Folgenden wird in Abschnitt 2.1 auf die Storylines hinter den drei Transformationspfaden und in 2.2 auf die Transformationsmodelle sowie die Parametrierung der Szenarien eingegangen. Die Methodik zur kleinräumigen Regionalisierung dieser Ergebnisse auf Gemeinde- und Bezirksebene wird in Kapitel 3 eingeführt und Kapitel 4 beschreibt die Ergebnisse der Modellierungen.

### 2.1 Ausprägungen der Transformationspfade

Im Rahmen dieser Studie wurden die drei Szenarien A, B und C in Abstimmung mit den Übertragungsnetzbetreibern entworfen. Szenario A zielt auf eine verhältnismäßig diversifizierte Wärmebereitstellung ab. Im Zuge dessen erfolgt ein ambitionierter Nah-/Fernwärmeausbau, der Einsatz von Wasserstoffdirektheizungen und die Ausreizung des Biomassepotenzials im Gebäudesektor angelehnt an /BMU-04 21/. Der Hochlauf der Wärmepumpen erfolgt verlangsamt und auch das Tempo der Gebäudehüllensanierung ist

moderat. Im Gegensatz dazu wird in Szenario C dem Energieträger Strom eine tragendere Rolle zugeschrieben. Dort wird ein schneller Wärmepumpenhochlauf durch hohe Sanierungsaktivitäten begleitet. Der Nah-/Fernwärmeausbau erfolgt weniger ambitioniert als in Szenario A. Biomassekessel werden substituiert, um einen Teil des nachhaltig verfügbaren Potenzials in den Industriesektor zu verschieben, und Wasserstoffdirektheizungen werden nicht eingesetzt. Szenario B liegt zwischen den beiden zuvor beschriebenen Szenarien. Im Vergleich zu Szenario C erfolgt die Sanierung und der Hochlauf der Wärmepumpen bei einem identischen Nah-/Fernwärmeausbau verzögert. Zusätzlich kommen neben einem in etwa konstanten Bestand an Biomassekesseln wenige Wasserstoffdirektheizungen zum Einsatz. Tabelle 2-1 zeigt die Zusammenfassung der Storylines der Transformationspfade. In allen drei Szenarien kann das Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2045 erreicht werden /BMWK-16 24/. In Szenario A müssen dazu synthetische Kraftstoffe eingesetzt werden, um bis dahin nicht ersetzte ursprünglich mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizsysteme zu betreiben. Darüber hinaus werden ursprünglich für das Jahr 2030 gesetzte Zwischenziele für den Gebäudesektor ausschließlich in Szenario C erreicht /BMWK-01 22/. Die Sektorziele für 2030 wurden am 26. April 2024 durch eine Reform des Klimaschutzgesetzes aufgehoben. Die

Tabelle 2-1: Übersicht über die Ausprägung der Transformationspfade (\*unter Einsatz synthetischer Brennstoffe)

	Szenario A	Szenario B	Szenario C
<b>Sanierung</b>	niedrig	mittel und verzögert	hoch
<b>Fern- /Nahwärme</b>	hoch	mittel	niedrig bis mittel
<b>Wärmepumpen</b>	langsam	verzögert	schnell
<b>Stromheizungen (ohne Wärmepumpen)</b>	konstant	konstant	konstant
<b>Biomasseheizungen</b>	Potenzial ausreizen	konstant	rückläufig
<b>Wasserstoffdirektheizungen</b>	mehr H <sub>2</sub> -Heizungen	wenige H <sub>2</sub> -Heizungen	keine
<b>Zielerreichung (2030/2045)</b>	<b>Nein/Ja*</b>	<b>Nein/Ja</b>	<b>Ja/Ja</b>

Tabelle 2-2: Entwicklung der spezifischen Wohnfläche je Einwohner

	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Wohnfläche in m<sup>2</sup>/Einwohner</b>	47,0	49,0	50,3	51,8	52,8	53,3

Emissionsziele gelten seitdem sektorübergreifend /BMWK-16 24/.

## 2.2 Modelle und Parametrierung

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die Basisdaten zur Abbildung des Status quo, den Aufbau und die Funktionsweise der verwendeten Transformationsmodule aus *PriHM* und *TerM* und führt die quantitative Ausgestaltung der Parametrierung der Szenarien ein.

Ausgangspunkt der Modellierung ist der Status quo der Gebäudewärmenachfrage im Jahr 2019 laut AGEB-Energiebilanzen (vgl. Abschnitt 1.1) /RWI-01 20/, /ISI-05 24/. Zur detaillierteren Aufschlüsselung der erneuerbaren Energieträger wird zusätzlich auf die „Satellitenbilanz erneuerbare Energien 2019“ /AGEB-04 21/ zurückgegriffen. Um neben den Heiztechnologien Ölkessel, Kohleöfen, Gasheizkessel, Biomassekessel, Nah-/Fernwärme und Wasserstoffheizkessel auch zwischen Wärmepumpen, Stromdirektheizungen und Nachtspeicherheizungen differenzieren zu können, werden Ergebnisse aus Lastprofilanalysen aus dem Projekt *eXtremOS* /FFE-24 21/ herangezogen sowie eine Jahresarbeitszahl von 3,0 angenommen. Die resultierende Raumwärme- und Warmwassernachfrage nach Energieträger und Heiztechnologie für das Jahr 2019 dient den fFE-Gebäudesektormodellen als Eingangsdaten.

In den Modellen *PriHM* und *TerM* bewirken drei Maßnahmenbündel die Verbrauchsänderung bis ins Zieljahr 2045. Diese umfassen die Fortschreibung des Energiebedarfs, Effizienzmaßnahmen sowie die Transformation von mit fossilen Brennstoffen betriebenen Wärmeerzeugern.

### 2.2.1 Fortschreibung des Energiebedarfs

Als Grundlage für die Bedarfsfortschreibung dienen Prognosen für das Wachstum der Bevölkerung sowie der Wohn- bzw. Nettogrundfläche pro Kopf bzw. Erwerbsperson, bei welcher der Neubau berücksichtigt wird /BMU-04 21/, /DESTATIS-33 21/, /BMAS-01 21/, /IWU-02 22/, /BMWI-29 20/. Die Fortschreibung wird äquivalent zu /FFE-38 24/ angenommen.

Die je Stützjahr zu beheizende Fläche in den Haushalten geht aus der Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf, die in Tabelle 2-2 aufgeführt ist, und der Bevölkerungsentwicklung aus Abbildung 2-1 hervor /BMU-04 21/, /DESTATIS-33 21/.

**Bevölkerungsentwicklung**

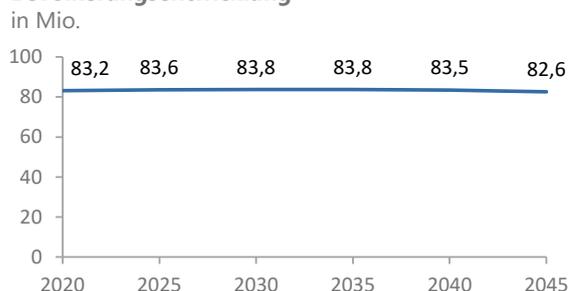


Abbildung 2-1: Entwicklung der Bevölkerung /BMU-04 21/

Für den daraus resultierenden Neubau werden die in Tabelle 2-3 dargestellten Energieeffizienzklassen angenommen. Bis ins Zieljahr 2045 steigen diese an und spiegeln die geringeren Anforderungen an den Wärmekomfort in Nichtwohngebäuden wieder. Aufgrund der rückläufigen Anzahl an Erwerbspersonen (vgl. Abbildung 2-2) und der Annahme einer konstanten Nettogrundfläche pro Erwerbsperson, nimmt die beheizte Fläche in Nichtwohngebäuden über die Zeit ab /BMAS-01 21/, /IWU-02 22/, /BMWI-29 20/.

Tabelle 2-3: Energieeffizienzklassen des Neubaus von Wohn- und Nichtwohngebäuden

	bis 2020	bis 2025	bis 2030	ab 2030
<b>Wohngebäude</b>	kfW 70	kfW 55	kfW 40	Passivhaus
<b>Nichtwohngebäude</b>	kfW 70	kfW 55	kfW 55	kfW 40

**Erwerbspersonen**  
in Mio. | Deutschland



**Nettogrundfläche der Nichtwohngebäude**  
in Mio. m<sup>2</sup> | Deutschland

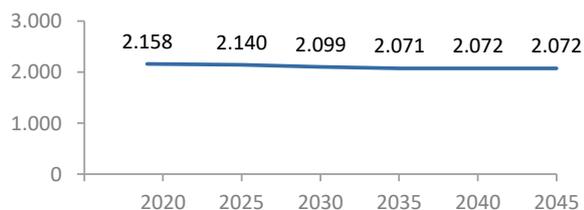


Abbildung 2-2: Entwicklung der Erwerbspersonen und der Nettogrundfläche der Nichtwohngebäude /FFE-17 23/

### 2.2.2 Effizienzmaßnahmen

Umgesetzte Effizienzmaßnahmen sind die szenarioabhängige energetische Sanierung der Gebäudehüllen, die sich auf die Raumwärmebedarfe auswirkt, sowie der Tausch von Bestandteilen der Trinkwarmwasseraufbereitung mit Auswirkungen auf deren Energiebedarf /FFE-53 18/.

Die Parametrierung der Modellierung der energetischen Sanierung setzt sich aus der Sanierungstiefe und der Sanierungsrate zusammen. Der zeitliche Verlauf der Sanierungstiefen, der sich an /FFE-79 21/ orientiert, ist in Tabelle 2-5 dargestellt. Dabei wird zwischen Gebäuden mit und ohne Nah-/Fernwärmeanschluss sowie Gebäuden in pHH und GHD unterschieden. Für den Sektor GHD werden geringere Wärmeanforderungen angenommen. Aufgrund höherer Vorlauftemperaturen wird für an das Fernwärmenetz angeschlossene Gebäude ein niedrigerer

Sanierungsstandard angenommen, da diese eine Sanierung über den Standard kfW 70 hinaus nicht unbedingt notwendig machen. Dies wirkt sich auch auf die Sanierungsraten aus, welche sich zusätzlich zwischen den Szenarien unterscheiden. Tabelle 2-4 zeigt deren Verlauf. Dieser entspricht den in Abschnitt 2.1 beschriebenen und in Tabelle 2-1 zusammengefassten Ausprägungen der Pfade.

Tabelle 2-5: Sanierungstiefen ohne und mit Anschluss an das Fernwärmenetz im Szenario A, B und C

Sanierungstiefe	pHH	GHD	Fernwärmegebiet
<b>Bis 2030</b>	kfW 70	kfW 70	kfW 70
<b>2030 bis 2035</b>	kfW 55	kfW 55	kfW 70
<b>2035 bis 2040</b>	kfW 40	kfW 55	kfW 70
<b>2040 bis 2045</b>	kfW 40	kfW 40	kfW 70

Für die Trinkwarmwasserbereitstellung wird ein Effizienzfaktor von 0,5 %/a basierend auf /FFE-53 18/ angenommen. Hintergrund ist die Annahme eines sinkenden Zapfenergiebedarfs beim Duschen und der Austausch bestehender Warmwasserspeicher durch effizientere Speicher im Zuge des Heizsystemwechsels.

### 2.2.3 Transformation der Heizsysteme

Das Maßnahmenbündel Transformation umfasst insbesondere den Heizungstausch. Der Heizungstausch wird in zwei Schritten modelliert. In einem ersten Schritt wird durch einen exogen vorgegebenen Nah-/Fernwärmeausbau der entsprechende Anteil an Bestandskesseln verdrängt. Im zweiten Schritt wird der Heizwärmebedarf, der durch konventionelle Heizkessel bereitgestellt wird, sukzessive durch klimaneutrale Heiztechnologien ersetzt.

Tabelle 2-4: Sanierungsraten in Gebäuden mit und ohne Fernwärmeanschluss

Sanierungsraten		bis 2025	bis 2030	bis 2035	bis 2045
<b>Standard</b>	Szenario A	1,1 %	1,2 %	1,4 %	1,5 %
	Szenario B	1,1 %	1,2 %	1,5 %	1,7 %
	Szenario C	1,1 %	1,5 %	1,9 %	2,2 %
<b>Fernwärme</b>	A, B, C	0,7 %	0,9 %	1,1 %	1,25 %

Grundlage der Modellierung des Kesseltausches ist die Umrechnung zwischen Endenergieverbrauch und Heizwärmebedarf basierend auf durchschnittlichen Effizienzen bzw. der mittleren Jahresarbeitszahl für Wärmepumpen. Für Kohle-, Öl- und Pellet- bzw. Biomasseheizungen wird eine mittlere Effizienz von 0,9 angenommen, für Gas- und Wasserstoffkessel von 0,92 sowie für Nachtspeicher- und Stromdirektheizungen von 1. Die mittlere Jahresarbeitszahl steigt von 2019 bis 2050 von 3,0 auf 4,0, da bei Wärmepumpen auch in Zukunft von Effizienzgewinnen durch technologischen Fortschritt ausgegangen wird.

Beim exogen vorgegebenen Nah-/Fernwärmeausbau wird zwischen zwei Pfaden unterschieden. In Szenario A erfolgt wie in Abschnitt 2.1 beschrieben ein äußerst starker Ausbau der Nah-/Fernwärme. Im Zieljahr 2045 entspricht dies, unter der Annahme eines durchschnittlichen Wetterjahres von 2010 bis 2020, einer Nachfrage nach 117 TWh Nah- und Fernwärme. Dabei wird jährlich ein gewisser Prozentsatz des Fernwärmepotenzials nach /FFE-51 22/ erschlossen. In Szenario A liegt dieser Prozentsatz bis 2025 bei 0,2 %/a, von 2025 bis 2030 bei 0,5 %/a und nach 2030 bei 0,85 %/a. Ein moderaterer Ausbau wird in Szenario B und C angenommen, in welchen eine Nachfrage von 104 TWh erreicht wird. Dies entspricht einem Neuanschluss des Fernwärmepotenzials von 0,2 %/a bis 2025, 0,4 %/a von 2025 bis 2030 und 0,6 %/a ab 2030. Dennoch liegt auch dieser moderatere Ausbau unter Berücksichtigung des Wetterjahres in der Größenordnung der Langfristszenarien Szenario O45 Strom /ISI-06 24/. Durch den Ausbau der Wärmenetze werden bestehende Heizsysteme entsprechend ihres Anteils an der gesamten bereitgestellten Wärme verdrängt.

Neben den Wärmenetzen werden dezentrale Wärmepumpen, Stromdirekt-, Biomasse- und Wasserstoffdirektheizungen zur Verdrängung fossiler Heiztechnologien, die mit Öl, Kohle oder Gas als Brennstoff betrieben werden, betrachtet. Da zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie bereits die AGE-Bilanzen bis einschließlich 2022 vorlagen, erfolgt die Parametrierung der Szenarien A, B und C bis 2025 weitgehend identisch /RWI-01 23/, /ISI-05 22/. Abweichungen treten lediglich in Szenario A bei Wärmepumpen, Biomasseheizungen und Gasheizungen auf. Ursache hierfür ist die Ausreizung des Biomassepotenzials und die verhältnismäßig geringe Stromnachfrage in diesem Pfad (vgl. Abschnitt 2.1) /BMU-04 21/. Diese Verzögerung in Szenario A bleibt bis ins Jahr 2045 bestehen. Während in Szenario B und C bis dahin mit einer mittleren Kesseltauschrates von 3,85 %/a eine vollständige

Transformation erfolgt, bleiben in Szenario A mit einer durchschnittlichen Tauschrates von 3,46 %/a ursprünglich mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizungen im System. Soll dennoch Klimaneutralität erreicht werden, müssen diese mit synthetischen Brennstoffen betrieben werden.

Die Parametrierung des Kesseltausches hin zu klimaneutralen Technologien unterscheidet sich für fast alle Zieltechnologien (Wärmepumpen, Stromdirekt-, Biomasse- und Wasserstoffdirektheizungen) zwischen den Szenarien. Stromdirektheizungen, die auch Nachtspeicherheizungen umfassen, sind hierbei die Ausnahme. Diese werden nicht explizit ausgetauscht. Dennoch geht ihr Strombedarf durch die Gebäudehüllensanierung zurück. Wie bereits zuvor erwähnt, unterscheiden sich die Annahmen bzgl. des Einsatzes von Biomasseheizungen zwischen den Szenarien. Für Szenario A wird angenommen, dass das Biomassepotenzial angelehnt an den Projektionsbericht 2021 in Deutschland ausgereizt wird /BMU-04 21/. In Szenario B wird mit ihnen identisch zu den Stromdirektheizungen verfahren. In Szenario C wird angenommen, dass bis zum Zieljahr 2045 ca. 70 % der Biomasseheizungen zurückgebaut und vornehmlich durch Wärmepumpen substituiert werden. Wasserstoffdirektheizungen kommen ausschließlich in Szenario A und B zum Einsatz. In Szenario A, in dem vergleichsweise wenig Strom nachgefragt wird, werden sie ab ungefähr 2030 verwendet und ersetzen im Zieljahr 2045 ca. 20 % der Gasheizungen im Status quo, die sich in der Nähe des geplanten Wasserstoffkernnetzes /FNB-01 23/ oder von Industriestandorten nach /FFE-94 22/ befinden (siehe Abschnitt 3.1.2). In Szenario B kommen sie in weniger Regionen zum Einsatz und ersetzen ca. 5 % der Gasheizungen im Status quo. In allen Szenarien wird ein Großteil und der restliche Teil der Transformationsaufgabe durch Wärmepumpen erfüllt. In Szenario C ist ihr Hochlauf besonders schnell und stark ausgeprägt. Das Gegenteil dazu ist Szenario A mit einem verlangsamten Hochlauf und einer verhältnismäßig bedeutenderen Rollen für andere klimaneutrale Heiztechnologien. Wie zuvor und in Abschnitt 2.1 beschrieben, bewegt sich Szenario B zwischen den anderen beiden Szenarien, erreicht aber dennoch im Jahr 2045 das Ziel der vollständigen Transformation des Heizungsbestandes.

Aus der Umsetzung dieser drei Maßnahmenbündel resultiert die jährliche Entwicklung der Raumwärme- und Warmwassernachfrage nach Heiztechnologie, die als Input für die im nachfolgenden Kapitel beschriebene Regionalisierungslogik dient.



**3**

# **Regionalisierung von Status quo und Transformation**

# 3 Regionalisierung von Status quo und Transformation

In Hinblick auf den notwendigen Netzausbau ist eine möglichst kleinräumige Betrachtung der Entwicklung der energieträgerspezifischen Gebäudewärme-Endenergieverbräuche erforderlich. Zentraler Ausgangspunkt ist dabei die Abbildung des regionalen Status quo. Darauf aufbauend kann mithilfe verschiedener Indikatoren je Region, Technologie und Szenario eine zukünftige Entwicklung je Region abgeleitet werden.

Die Zielebene der Regionalisierung sind die Gemeinden mit Gebietsstand 01.01.2019, wobei die Städte Aachen, Berlin, Bremen, Dortmund, Dresden, Duisburg, Düsseldorf, Essen, Frankfurt am Main, Hamburg, Köln, Leipzig, München, Nürnberg und Stuttgart auf Basis von Geodaten der Übertragungsnetzbetreiber in Bezirke unterteilt sind.

In Abschnitt 3.1 wird zunächst die Methodik der Regionalisierung der Endenergieverbräuche beschrieben. Abschnitt 3.2 geht auf die Abschätzung der Wärmepumpenanzahl ein und Abschnitt 3.3 stellt das Vorgehen zur Ermittlung der Bereitstellung von Nah- und Fernwärme dar.

## 3.1 Endenergieverbrauch

Im Regionalisierungsmodell wird zuerst der Endenergieverbrauch im Status quo (Abschnitt 3.1.1) und darauf basierend die zukünftige Entwicklung (Abschnitt 3.1.2) regionalisiert. Jeweils wird im ersten Schritt der regionale Gesamtendenergieverbrauch für Wärmeanwendungen ermittelt und anschließend die Technologiezusammensetzung für die Wärmebereitstellung. Im Folgenden werden die Begriffe Endenergieverbrauch und Wärmebedarf verwendet. Während der Wärmebedarf die Nutzenergie sowie gebäudeinterne Verluste umfasst, beinhaltet der Endenergieverbrauch zusätzlich Verluste für die Umwandlung des Energieträgers in Wärmeenergie. Der Endenergieverbrauch bezieht sich hier ausschließlich auf die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser.

### 3.1.1 Status quo

#### Gesamtendenergieverbrauch

Der Gesamtendenergieverbrauch (Summe der Anwendungen Raumwärme und Warmwasser über alle Technologien) je Region für den Sektor pHH basiert

auf dem FfE-Einzelgebäudemodell *HOUSE* (siehe Infobox) /FFE-16 25/. Die Berechnung der spezifischen Wärmebedarfe je Gebäude berücksichtigt dabei lokale Gebäudetypen und das Baualter der Gebäude ebenso wie regionale Gradtagszahlen. Die Gradtagszahl einer Region (Landkreis) wird dabei in Anlehnung an die Norm VDI 2067 als Jahressumme der Temperaturdifferenz aus Raumtemperatur (Annahme: 20 °C) und Tagesmitteltemperatur für all diejenigen Tage berechnet, deren Tagesmitteltemperatur über der Heizgrenze (Annahme: 15 °C) liegt. Verwendet werden die durchschnittlichen Gradtagszahlen der Wetterjahre 2010 bis 2020. Die spezifischen Wärmebedarfe je Gebäudetyp und Baualter werden mit einem Faktor der Gradtagszahlen des zugehörigen Landkreises zum Durchschnitt der Gradtagszahlen über Deutschland multipliziert. Es findet eine Korrektur der Wohnflächen je Region auf die Ergebnisse der Befragung zum Zensus 2022 /DESTATIS-08 24/ statt, da diese als lückenlosere Quelle angenommen werden als die Wohnflächen aus dem FfE-Einzelgebäudemodell *HOUSE*. Letzteren liegen Gebäudegeometrien aus OpenStreetMap in Kombination mit LoD2-Gebäudehöheninformationen der einzelnen Bundesländer zugrunde /OSMF-01 22/. Der daraus resultierende Gesamtwärmebedarf je Region wird als Indikator verwendet, um den Endenergieverbrauch für Gebäudewärme in Deutschland für pHH zu regionalisieren.

#### FfE-Einzelgebäudemodell *HOUSE*

Auf Basis einer Vielzahl an frei verfügbaren Datenquellen bildet das Modell den Gebäudebestand in Deutschland auf Einzelgebäudeebene ab. Grundlage für die Geodaten der Gebäudegrundrisse ist das OpenStreetMap-Projekt /OSMF-01 22/. Diese werden um verschiedene weitere Parameter ergänzt. Dazu gehören Gebäudehöhe, Baualter, Gebäudetyp, Nutzung und daraus abgeleitet beheizte Fläche, spezifischer Wärmebedarf und Wärmebedarf. Die gebäudescharfen Daten lassen sich auf verschiedene regionale Ebenen aggregieren. /FFE-16 25/

Für den GHD-Sektor dienen die Beschäftigten als Indikator für die Regionalisierung der Gesamtendenergieverbräuche. Zunächst werden die Beschäftigten je Wirtschaftszweig auf Landkreisebene /BA-01 21/ über

die Gesamtzahl der Beschäftigten je Gemeinde auf Gemeindeebene /DESTATIS-03 25/ regionalisiert. Die Regionalisierung der Mantelzahlen findet dann je Wirtschaftszweig statt, da sich die Endenergieverbräuche unterschiedlich auf die Wirtschaftszweige aufteilen.

### Technologiezusammensetzung

Indikator für die regionale Technologiezusammensetzung im Status quo sind die Ergebnisse der Befragungen zum Zensus 2022 /DESTATIS-08 24/. Dabei wurde bei den Eigentümer:innen der Energieträger je Heizung abgefragt. Zur Auswahl standen folgende Antwortmöglichkeiten:

- Gas
- Heizöl
- Holz, Holzpellets
- Biomasse (ohne Holz), Biogas
- Solar-/Geothermie, Wärmepumpen
- Strom (ohne Wärmepumpen)
- Kohle
- Fernwärme (verschiedene Energieträger)

Die Daten liegen auf Gemeindeebene bzw. Rasterebene (Auflösung 100 x 100 Meter) vor. Letztere wurden für die Aufteilung auf Bezirke in den Großstädten verwendet. Aus der Anzahl an Wohnungen, die mit einem bestimmten Energieträger beheizt werden, wurden Technologie-Anteile je Region errechnet. Dabei wurden Wärmenetze nicht berücksichtigt, wenn die Anzahl der Wohnungen für diesen Energieträger je Region unter einem definierten Schwellwert von 10 lag. Für die Technologie Erneuerbare Energien im Modell wurde die Summe der Wohnungen der Zensuskategorien „Holz, Holzpellets“ und „Biomasse (ohne Holz), Biogas“ verwendet, für Wärmepumpen die Kategorie „Solar-/Geothermie, Wärmepumpen“. Daraus ergibt sich eine Unschärfe, da Solarthermie im Modell zu den Erneuerbaren Energien gerechnet wird. Allerdings ist Solarthermie i.d.R. nicht der überwiegende Energieträger, sodass in diese Kategorie v.a. Wärmepumpen fallen sollten. Die Erhebung des Zensus 2022 bezieht sich auf Wohngebäude. Die Technologieanteile wurden in Ermangelung spezifischer Daten auch für den Sektor GHD verwendet. Multipliziert man die Anteile mit den zuvor bestimmten Gesamtendenergieverbräuchen für pHH je Region und aggregiert die Werte je Technologie auf Deutschland, so stimmen die Ergebnisse nicht mit den Zahlen der Bilanz (siehe Abbildung 1-2) überein. Das liegt insbesondere daran, dass im Zensus 2022 nur der „überwiegende Energieträger für die Heizung des Gebäudes“ abgefragt wurde und in die Bilanz auch die Endenergieverbräuche sekundärer Energieträger einfließen. Vor allem der Energieträger Biomasse ist in den Daten des Zensus

2022 dadurch unterrepräsentiert, da in einigen Regionen Deutschlands z.B. über Kachelöfen zugeheizt wird. Da zum Zeitpunkt der Berechnung zu sekundären Energieträgern der Heizung keine regionalen Daten vorlagen und die Ableitung von Indikatoren stark annahmenbehaftet wäre, wurden im Rahmen dieser Studie die überwiegenden Energieträger und damit primären Heizsysteme als Indikator verwendet.

Das bedeutet, dass nicht sowohl die Mantelzahlen auf Deutschlandebene, als auch die vorab bestimmten regionalen Gesamtendenergieverbräuche, als auch der Indikator in Form der regionalen Technologiezusammensetzung auf Basis des Zensus 2022 getroffen werden können. Es wurde daher ein iteratives Modell entwickelt, das diese drei Größen als Input erhält, wobei der Indikator als Freiheitsgrad fungiert, von dem abgewichen werden darf, und die beiden anderen Größen getroffen werden müssen. Außerdem wurde in das Modell die Möglichkeit implementiert, Ober- und Untergrenzen je Technologie und Region festzulegen. Für Fern- und Nahwärme wurde bspw. für bestimmte Regionen eine Obergrenze festgelegt. Diese basiert auf abgeleiteten Endenergieverbräuchen in Wärmenetzen der Allgemeinen Versorgung aus dem Wärmenetzgutachten für den NEP 2023 /FFE-51 22/ in Regionen, für die Zahlen zum Wärmeabsatz spezifischer Wärmenetze recherchiert wurden.

Das Ergebnis des Modells liefert je Sektor und Heizsystem die regionalen Endenergieverbräuche, aber noch keine Unterteilung in die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser. Für die Regionalisierung der Raumwärme-Endenergieverbräuche wird direkt der Output des Modells verwendet, für die Regionalisierung der Warmwasser-Endenergieverbräuche erfolgt noch eine Witterungsbereinigung.

Eine Ausnahme bilden die Warmwasserverbräuche für Strom (ohne Wärmepumpen). Auf Deutschlandebene liegt das Verhältnis von Raumwärme zu Warmwasser für Strom (ohne Wärmepumpen) bei 0,5 zu 1. Für Gas liegt es z.B. bei 4,7 zu 1. Das liegt daran, dass die Trinkwarmwasseraufbereitung häufig auf Strom basiert (z.B. Elektroboiler), auch wenn Strom nicht der primäre Energieträger zur Raumwärmebereitstellung ist. Daher wurde über die Strom-Bestandsheizungen aus dem Zensus 2022 nur derjenige Anteil der Mantelzahlen für Warmwasser-Strom regionalisiert, der dem Verhältnis von Raumwärme zu Warmwasser anderer Energieträger entspricht (0,52 TWh für Wetterjahr 2019). Der Großteil der Mantelzahlen (15,08 TWh für Wetterjahr 2019) wurde über die witterungsbereinigten Gesamtendenergieverbräuche regionalisiert, da für die Verteilung kein technologiespezifischer Indikator existiert. Dadurch wird angenommen, dass in

jeder Kommune Strom zur Warmwasseraufbereitung zum Einsatz kommt ungeachtet der primären Heizsysteme.

### 3.1.2 Zukunft

Wie für den Status quo wird auch für die zukünftige Entwicklung je Szenario zuerst der Gesamtendenergieverbrauch je Region durch Fortschreibung ermittelt und anschließend die Technologiezusammensetzung mithilfe des in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Modells.

#### Gesamtendenergieverbrauch

Ausschlaggebend für die Fortschreibung des Gesamtendenergieverbrauchs je Region ist die Entwicklung der beheizten Flächen, technologiespezifische Effizienzsteigerungen und die Sanierung der Gebäudehüllen. Bei den beiden letztgenannten Parametern wurden keine regionalen Unterschiede betrachtet. Das bedeutet, dass die regionale Entwicklung der Entwicklung auf Deutschlandebene folgt. Die Entwicklung der beheizten Flächen in pHH hingegen folgt der regionalen Wohnflächenentwicklung. Diese basiert wiederum auf der Wohnfläche pro Kopf im Status quo (Summe der Wohnfläche dividiert durch die Bevölkerung innerhalb einer Region nach /DESTATIS-08 24/), der deutschlandweiten Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf /BMU04 21/, /DESTATIS33 21/ und der Bevölkerungsentwicklung je Gemeinde /DESTATIS01 25/, /DESTATIS02 25/, /BBR01 25/. Gibt es einen Zuwachs an Wohnfläche in einer Region zwischen zwei Jahren, so wird diese vereinfacht als Neubau angenommen und mit spezifischen Wärmebedarfen der Neubau-Energieeffizienzklassen des jeweiligen Jahres (siehe Tabelle 2-3) multipliziert. Liegt ein Rückgang der Wohnfläche vor, wird vereinfacht von Abriss ausgegangen. Als spezifischer Wärmebedarf abgerissener Gebäude werden nach /NPRO-01 25/ 200 kWh/m<sup>2</sup> angenommen. Für die Entwicklung der beheizten GHD-Flächen und damit die Fortschreibung der Status-quo-Endenergieverbräuche wird vereinfacht die relative Entwicklung des Wärmebedarfs in pHH auf Basis der Wohnflächenentwicklung verwendet.

#### Technologiezusammensetzung

Wie im Status quo wird die Technologiezusammensetzung je Region auch für zukünftige Jahre auf Basis von regionalen Indikatoren, Ober- und Untergrenzen je Technologie und den zuvor bestimmten Gesamtendenergieverbräuchen sowie den Mantelzahlen je Technologie auf Deutschlandebene ermittelt. Im Folgenden werden die Indikatoren und Ober- und Untergrenzen je Technologie beschrieben. Diese sind für die beiden Sektoren pHH und GHD jeweils gleich.

Der Indikator für die fossilen Energieträger Gas, Öl und Kohle sowie Strom (ohne Wärmepumpen) ist der fortgeschriebene Bestand. Gleichzeitig ist dieser auch die Obergrenze, da absolut kein Zubau dieser Technologien angenommen wird.

Strom für Warmwasser wird analog zum Status quo auch für zukünftige Jahre größtenteils über die witterungsbereinigten Gesamtendenergieverbräuche des jeweiligen Jahres regionalisiert (siehe Abschnitt 3.1.1).

Der Indikator für die Fernwärmeentwicklung basiert auf den Werten des Wärmenetzgutachtens für den NEP 2023 /FFE-51 22/. Die Obergrenze ist wie im Status quo der Wert der Allgemeinen Versorgung in Regionen mit spezifisch recherchierten Wärmenetzen. Es fand dabei eine Zuordnung der Szenarien aus der Vorgängerstudie mit denen der aktuellen Studie statt. Das Szenario „Trend“ der Vorgängerstudie wurde für Szenario B und C verwendet, während für Szenario A das Szenario „Zentral“ verwendet wurde.

Die Regionalisierung der Endenergieverbräuche von Wasserstoffdirektheizungen ist einerseits abhängig vom potenziellen künftigen Angebot an Wasserstoff und andererseits vom potenziellen Bedarf. Das potenzielle Wasserstoff-Angebot wird im Modell folgendermaßen abgebildet: Infrage kommen solche Regionen, die nach den Ergebnissen des Zensus 2022 heute über eine Gasversorgung verfügen und entweder in Reichweite des geplanten Wasserstoff-Kernnetzes (Planungsstand: 12.07.2023) /FNB-01 23/ (Annahme: 15 km Entfernung) oder in der näheren Umgebung eines Industriestandorts mit potenziell künftigen Wasserstoffbedarf (Annahme: 1 km Entfernung) liegen. Die Industriestandorte stammen aus der Studie zur *Stromverbrauchsmodellierung des Industriesektors im Kontext der Dekarbonisierung* für den Netzentwicklungsplan 2023 /FFE-94 22/. Darin wurden zwei Szenarien unterschieden: „Wasserstoff“ und „Elektrifizierung“. Für Szenario A wurde das Szenario „Wasserstoff“ und für Szenario B das Szenario „Elektrifizierung“ gewählt. Der potenzielle Bedarf für Wasserstoffdirektheizungen ist wegen ihrer geringeren Effizienz und Wirtschaftlichkeit gegenüber anderer dezentraler Technologien (siehe Technologiesteckbriefe im Anhang) am ehesten dort zu sehen, wo sowohl die Potenziale für Wärmenetze als auch für Wärmepumpen gering sind. Auf Basis der FfE-Modelle *Wärmepumpen-Ampel* /FFE-67 22/ und *HeatGrid* (Wärmenetzpotenzialmodell) /FFE-17 25/ konnte je Region der Anteil derjenigen Gebäude bestimmt werden, der weder für Wärmepumpen noch für Wärmenetze geeignet ist. Ein szenariospezifischer Schwellwert, ab welchem Anteil ein potenzieller Bedarf an Wasserstoffdirektheizungen besteht, definiert, wie

viele und welche Regionen für die Regionalisierung der Mantelzahlen infrage kommen. Der Indikator für die Wasserstoffregionalisierung ist die Kombination aus Angebot und Bedarf. Als Untergrenze je Region wurde ein Endenergieverbrauch von Wasserstoffdirektheizungen von 500 MWh festgelegt. Das entspricht in etwa dem Endenergieverbrauch von 15 bis 20 Einfamilienhäusern. Darunter wird eine Versorgung mit Wasserstoff als nicht praktikabel betrachtet. Als Obergrenze wird der Gasverbrauch im Status quo vorgegeben, unter der Annahme, dass keine zusätzliche Infrastruktur für Wasserstoff errichtet wird und lediglich bestehende Gasinfrastruktur gegebenenfalls umgerüstet wird. Im Szenario B wird außerdem der Anteil von Wasserstoff am Gesamtendenergieverbrauch der Region gedeckelt. Dadurch soll eine übermäßige Konzentration von Wasserstoffdirektheizungen in einzelnen Regionen vermieden und stattdessen eine möglichst breite Verteilung der begrenzten Mengen realisiert werden.

Für Erneuerbare Energien (Biomasseheizungen und Solarthermie) orientiert sich die Regionalisierung am Bestand im Status quo. Im Szenario A, wo ein Zubau an Biomasseheizungen stattfindet, wird allerdings derjenige Anteil, der über den sanierten Bestand hinausgeht, analog zum Bedarf für Wasserstoffdirektheizungen (siehe vorherige Absatz) gewichtet in Regionen verteilt, die einen vergleichsweise hohen Anteil an Gebäuden ohne Potenzial für Wärmenetze und Wärmepumpen aufweisen. In Szenario B und C, wo Biomasseheizungen saniert bzw. zurückgebaut werden, bildet der Endenergieverbrauch im Status quo die Obergrenze.

Bei den Wärmepumpen wird der Indikator für verschiedene Jahre variiert. In 2020 bis 2022 wird auf Basis des Bestands regionalisiert, da die Befragungen zum Zensus im Jahr 2022 stattgefunden haben. Zwischen 2023 und 2025 wird der Zubau über den Gesamtendenergieverbrauch verteilt, weil es zum Stand der Berechnung keine frei zugängliche Datengrundlage für eine Gewichtung existierte. Ab 2035 wird über das Wärmepumpen-Potenzial auf Basis der *Wärmepumpen-Ampel /FFE-67 22/* regionalisiert und zwischen 2026 bis 2034 ist der Indikator ein Übergang zwischen Gesamtendenergieverbrauch und Wärmepumpen-Potenzial.

Grundsätzlich wird im Modell sichergestellt, dass in allen Regionen in Szenario C mehr Wärmepumpen sind als in Szenario B und dort mehr als in Szenario A. Mit Erneuerbare Energien betriebene Heizsysteme gibt es hingegen in Szenario A am meisten und in Szenario C am wenigsten. Genauso gibt es in allen Regionen in Szenario A mehr mit Wasserstoff betriebene Heizsysteme als in Szenario B.

### 3.2 Wärmepumpenanzahl

Um aus den Endenergieverbräuchen für Wärmepumpen je Region eine Anzahl an Geräten abzuleiten, wird eine Abschätzung zum Strombedarf je Wärmepumpe getroffen. Dieser variiert je Szenario, Sektor und Jahr. Anhand der mittleren beheizten Fläche von pHH- und GHD-Gebäuden sowie deren spezifischer Wärmebedarfe je Szenario und Jahr unter Berücksichtigung der Sanierung werden durchschnittliche Wärmebedarfe je Gebäude ermittelt. Dividiert durch die

Tabelle 3-1: Kennzahlen für Wärmepumpen

	A 2037	B 2037	C 2037	A 2045	B 2045	C 2045
<b>Durchschnittliche Wohnfläche je Wärmepumpe in m<sup>2</sup> (pHH)</b>	195	195	195	195	195	195
<b>Durchschnittliche Fläche je Wärmepumpe in m<sup>2</sup> (GHD)</b>	280	280	280	280	280	280
<b>Spezifischer Wärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup> (pHH)</b>	133	133	130	123	122	117
<b>Spezifischer Wärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup> (GHD)</b>	120	119	116	110	108	101
<b>Jahresarbeitszahl</b>	3,56	3,56	3,56	3,83	3,83	3,83

Jahresarbeitszahl je Jahr erhält man den Strombedarf je Wärmepumpe. Die zur Berechnung verwendeten Kennzahlen sind in Tabelle 3-1 dargestellt und deren Herleitung wird im Folgenden beschrieben.

Die mittlere Wohnfläche für pHH wurde nach /FFE-67 22/ für ein durchschnittlich mit Wärmepumpen versorgbares Wohngebäude in Deutschland abgeleitet. Es wird keine Veränderung der durchschnittlichen Wohnfläche über die Zeit angenommen. Der gewichtete Mittelwert für die Energiebezugsfläche beträgt nach Berechnung auf Basis der *Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude* des Institut Wohnen und Umwelt (IWU) /HOR-02 21/ für GHD-Gebäude 1715 m<sup>2</sup>. Für die Abschätzung der Wärmepumpen-Anzahl wurde jedoch eine niedrigere mittlere beheizte Fläche von 280 m<sup>2</sup> pro Wärmepumpe angesetzt, damit die Gesamtzahl der Wärmepumpen von GHD und pHH vergleichbar bleibt. Das impliziert, dass für die i.d.R. größeren GHD-Gebäude theoretisch mehr als eine Wärmepumpe pro Gebäude zum Einsatz kommt. Das erklärt auch höhere Wärmepumpenanzahlen in GHD im Zieljahr 2045 (siehe Abbildung 4-2) als die heute nach /HOR-02 21/ thermisch relevanten ca. 2,2 Millionen Nichtwohngebäude bzw. abzüglich Industrie etwa 1,5 Millionen GHD-Gebäude.

Im Status quo wird als spezifischer Wärmebedarf für mit Wärmepumpen versorgte Gebäude in pHH 110 kWh/m<sup>2</sup> und in GHD 100 kWh/m<sup>2</sup> angenommen, da der Anteil an Wärmepumpen im Neubau und in besser gedämmten Gebäuden vergleichsweise hoch ist. Mit der Zeit werden immer mehr Wärmepumpen in Bestandsgebäuden eingebaut werden. Aus diesem Grund wird ab 2035 ein durchschnittlicher spezifischer Wärmebedarf von Bestandsgebäuden inklusive szenariospezifischer Sanierung angenommen und zwischen Status quo und 2035 vereinfacht interpoliert. Nach /FFE-67 22/ ergibt sich in pHH ein mittlerer spezifischer Wärmebedarf für mit Wärmepumpen versorgbare Bestandswohngebäude von 155 kWh/m<sup>2</sup>. In GHD basiert die Abschätzung des mittleren spezifischen Wärmebedarfs für Bestandsgebäude auf /HOR-02 21/. Über die Gebäudeanzahl und die mittleren

Energiebezugsflächen je Nichtwohngebäudekategorie (ohne Industriegebäude) ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von 136 kWh/m<sup>2</sup>. Tabelle 3-1 zeigt die resultierenden Werte für die Jahre 2037 und 2045. Die Werte für alle Jahre sind in Tabelle A-1 im Anhang zu finden genauso wie die resultierenden Strombedarfe je Wärmepumpe (siehe Tabelle A-2).

Die in den FfE-Gebäudesektormodellen hinterlegte Jahresarbeitszahl steigt zwischen 2019 und 2050 von 3,0 bis 4,0 an, wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben.

Die Entwicklung der Wärmepumpenanzahl je Szenario ist in Abschnitt 4.2 dargestellt.

### 3.3 Fernwärmebereitstellung

Die Endenergieverbräuche für Nah- und Fernwärme je Region insgesamt werden mit der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Methodik bestimmt. Durch einen Aufschlag von 12 % Verlusten auf die Endenergieverbräuche erhält man die erforderliche Wärmebereitstellung. Der relative Technologie-Mix für die Wärmeerzeugung in Wärmenetzen wird aus dem Wärmenetzgutachten zum NEP 2023 /FFE-51 22/ entnommen. Dabei wird die in Abschnitt 3.1.2 beschriebene Szenario-Zuordnung angewandt („Trend“ für B und C, „Zentral“ für A). In Hinblick auf den Netzausbau sind dabei insbesondere die stromverbrauchenden Technologien Großwärmepumpen und Elektrokessel von Interesse. Für diese wurden auf Basis der Wärmebereitstellung elektrische Leistungen abgeleitet. Bei den Großwärmepumpen wurde die Wärmebereitstellung durch das Produkt aus Volllaststunden und Jahresarbeitszahl dividiert, bei den Elektrokesseln nur durch die Volllaststunden. Für Großwärmepumpen wurden eine Jahresarbeitszahl in Höhe von 3,0 und 2.400 Volllaststunden angenommen. Eine Unterscheidung der Wärmequelle von Großwärmepumpen (z.B. Außenluft oder Flusswasser) fand im Rahmen dieser Studie nicht statt. Für Elektrokessel wurden 800 Volllaststunden angenommen. Die resultierenden elektrischen Leistungen für Deutschland sind in Abschnitt 4.3 dargestellt.



**4**

# **Ergebnisse der Gebäudewärmeregionalisierung**

# 4 Ergebnisse der Gebäudewärmeregionalisierung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, die sich aus den in Kapitel 2 und 3 beschriebenen Methodiken und Parametrierungen ergeben, dargestellt. Dazu wird in 4.1 auf die Entwicklung des Endenergieverbrauchs je Szenario und Technologie eingegangen und in 4.2 die jeweils korrelierende Anzahl an Wärmepumpen thematisiert. Abschließend erfolgt in 4.3 die Beschreibung der Zusammensetzung der Fernwärmebereitstellung je Szenario. Alle Ergebnisse gehen aus der Aggregation der regionalisierten Werte hervor und werden somit mit dem durchschnittlichen Wetterjahr aus den Jahren 2010 bis 2020 dargestellt.

## 4.1 Endenergieverbrauch

Die Entwicklungspfade des Endenergieverbrauchs der Anwendungen Raumwärme und Warmwasser bzw. der Gebäudewärme gehen aus Kapitel 2 hervor. Abbildung 4-1 zeigt die Modellierungsergebnisse dieser Transformation je Szenario kumuliert für pHH und GHD. Die gesamte Gebäudewärmenachfrage nimmt in allen drei Szenarien bis 2045 ab. In Szenario A wird die Gebäudewärmenachfrage von 794 TWh im Jahr 2019 durch die Transformationsmaßnahmen auf

646 TWh im Zieljahr 2045 bzw. um 18,6 % reduziert. In Szenario B sind es entsprechend 21,5 % und in Szenario C 25,9 %. Ein Ausschluss der durch Wärmepumpen bezogenen Umweltwärme, die nicht aktiv als Energieträger bereitgestellt werden muss, verstärkt den Rückgang und den Unterschied zwischen den Szenarien zusätzlich. Ausschlaggebend dafür ist die Gebäudewärme, die durch Wärmepumpen bereitgestellt wird. Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, spielt diese Heiztechnologie, die in allen Szenarien zu signifikanten Anteilen eingesetzt wird, insbesondere in Szenario C eine herausragende Rolle. Dort liegt die Stromnachfrage durch Wärmepumpen im Jahr 2030 bei 54 TWh und im Jahr 2045 bei 117 TWh. In Szenario B liegt diese entsprechend bei 39 TWh bzw. 105 TWh, was den angenommen verzögerten Hochlauf in den 2020er-Jahren widerspiegelt. In Szenario A liegt die Stromnachfrage durch Wärmepumpen im Zieljahr 2045 mit 72 TWh deutlich unter den Werten aus Szenario B und C.

Weitere bedeutende Unterschiede treten bei Wasserstoffdirektheizungen auf. In Szenario A werden 2045 60 TWh der Gebäudewärmenachfrage durch diese Technologie gedeckt. Szenario B erreicht mit 17 TWh

### Gebäudewärme

in TWh | Deutschland | pHH & GHD | Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

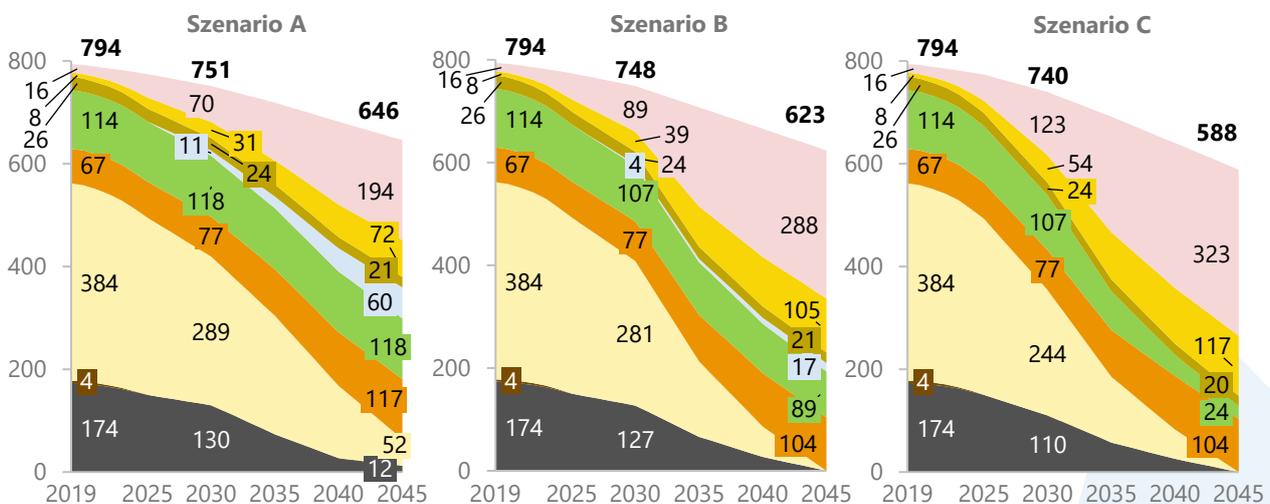


Abbildung 4-1: Entwicklungspfade der Gebäudewärmenachfrage in den Szenarien A, B und C

circa ein Drittel der Nachfrage aus Szenario A. Nah-/Fernwärme wird in Szenario B identisch zu Szenario C ausgebaut, wohingegen in Szenario A mit 117 TWh die Nachfrage im Zieljahr 2045 im Szenariovergleich um 13 TWh höher liegt. Auch die durch Erneuerbare Energien (Biomasse und Solarthermie) gedeckte Gebäudewärmenachfrage unterscheidet sich zwischen den Szenarien. Ausgehend vom Startwert von 114 TWh im Jahr 2019 steigt diese in Szenario A auf 118 TWh im Zieljahr 2045, wohingegen sie in Szenario B auf 89 TWh und in Szenario C noch deutlich stärker auf 24 TWh sinkt. Während in Szenario B und C im Jahr 2045 kein Teil der Gebäudewärme durch Öl, Kohle und Gas gedeckt und das Ziel der vollständigen Transformation erreicht wird, werden in Szenario A weiterhin 12 TWh Öl und 52 TWh Gas nachgefragt, das synthetisch bereitgestellt werden muss, um Klimaneutralität zu erreichen. Ein tieferer Blick auf die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträger, Stützjahr und Sektor auf Bundesebene ermöglichen die Tabellen im Anhang. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projekts durch die Regionalisierungsmethodik aus Kapitel 3 die szenarieneabhängigen Entwicklungspfade der Gebäudewärmenachfrage je Gemeinde bzw. in Großstädten je Bezirk ermittelt.

## 4.2 Wärmepumpenanzahl

Entsprechend der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Methodik ergeben sich die in Abbildung 4-2 dargestellten Wärmepumpenanzahlen je Sektor, Jahr und

Szenario. Insgesamt variiert die Summe der Wärmepumpen über beide Sektoren in 2045 zwischen 10,9 und 18,8 Millionen Wärmepumpen. Das Ziel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, im Jahr 2030 6 Millionen Wärmepumpen zu installieren /BMWK-01 22/, wird nur im Szenario C erreicht. Die Realisierung von 15 Millionen Wärmepumpen im Sektor pHH liegt nach /GREIF-01 23/ im Bereich des deutschlandweiten Potenzials.

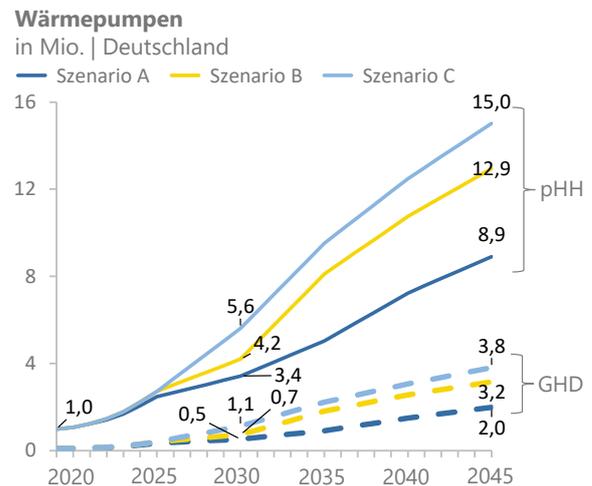


Abbildung 4-2: Anzahl an Wärmepumpen je Szenario, Jahr und Sektor

Abbildung 4-3 zeigt die regionale Verteilung der Wärmepumpenanzahl im Zieljahr 2045 je Szenario. Dabei stechen in allen Szenarien besonders diejenigen Regionen mit hohen Endenergieverbräuchen hervor. In

### Anzahl Wärmepumpen je Region im Jahr 2045

pHH & GHD | Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

0 bis <5.000    5.000 bis <10.000    10.000 bis <15.000    15.000 bis <20.000    20.000 bis 100.056

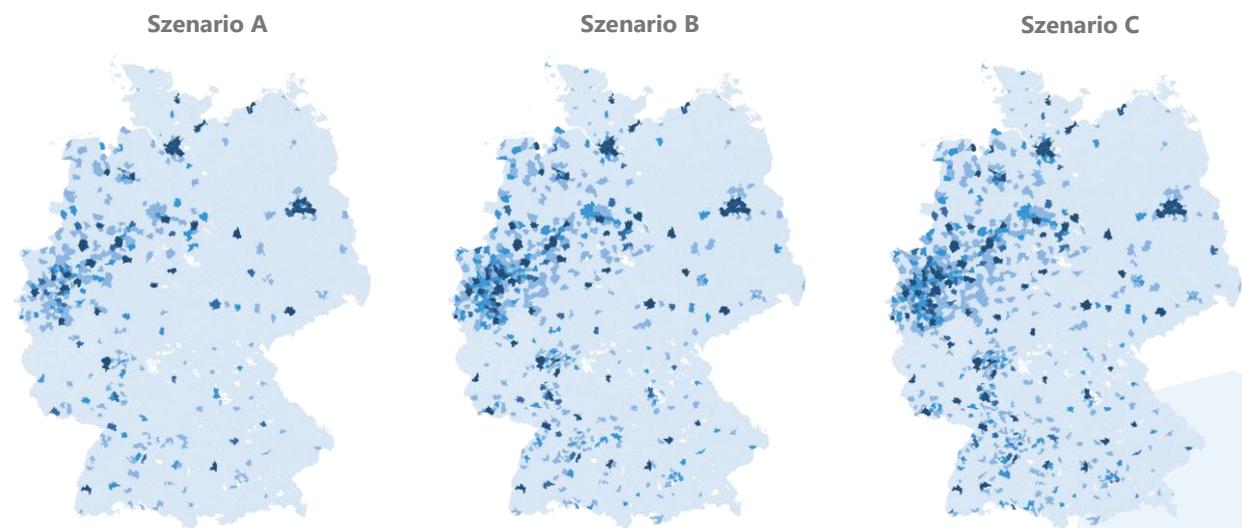


Abbildung 4-3: Regionale Verteilung der Anzahl an Wärmepumpen im Jahr 2045 in den drei Szenarien

Tabelle 4-1: Stromverbrauch und Anzahl für Wärmepumpen je Szenario für 2037 und 2045

	A 2037	B 2037	C 2037	A 2045	B 2045	C 2045
<b>Stromverbrauch pHH in TWh</b>	42,8	66,3	75,6	55,9	80,1	89,2
<b>Stromverbrauch GHD in TWh</b>	10,7	19,7	23,1	16,0	24,8	28,1
<b>Stromverbrauch Gesamt in TWh</b>	53,5	86,0	98,7	71,9	104,9	117,3
<b>Anzahl pHH in Mio.</b>	5,9	9,2	10,7	8,9	12,9	15,0
<b>Anzahl GHD in Mio.</b>	1,1	2,1	2,6	2,0	3,2	3,8
<b>Anzahl Gesamt in Mio.</b>	7,0	11,3	13,3	10,9	16,1	18,8

Szenario A sind zudem durch den Zubau von Biomasseheizungen und mehr Wasserstoffdirektheizungen dort weniger Wärmepumpen verortet, wo Potenziale für Wärmepumpen und Wärmenetze gering sind sowie eine Nähe zum Wasserstoffkernnetz bzw. zu Wasserstoff-Industriestandorten besteht (vgl. Abschnitt 3.1.2). Tabelle 4-1 fasst die Anzahl an Wärmepumpen und den korrelierenden Stromverbrauch je Sektor für die Jahr 2037 und 2045 in den verschiedenen Szenarien zusammen.

### 4.3 Bereitstellung der Fernwärme

Entscheidend für die regionale Stromnachfrage für die Gebäudewärmebereitstellung ist neben den Wärmepumpen derjenige Strom, der zur Bereitstellung von Nah-/Fernwärme bezogen wird. Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben betrifft das einerseits Großwärmepumpen und andererseits Elektrokessel, für die aus den Endenergieverbräuchen eine elektrische Leistung abgeleitet wurde. Die Entwicklung der installierten elektrischen Leistung ist Abbildung 4-4 zu entnehmen. Da in

#### Installierte elektrische Leistung Fernwärmeerzeugung

in GW | Deutschland | pHH & GHD | Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

■ Großwärmepumpe ■ Elektrokessel

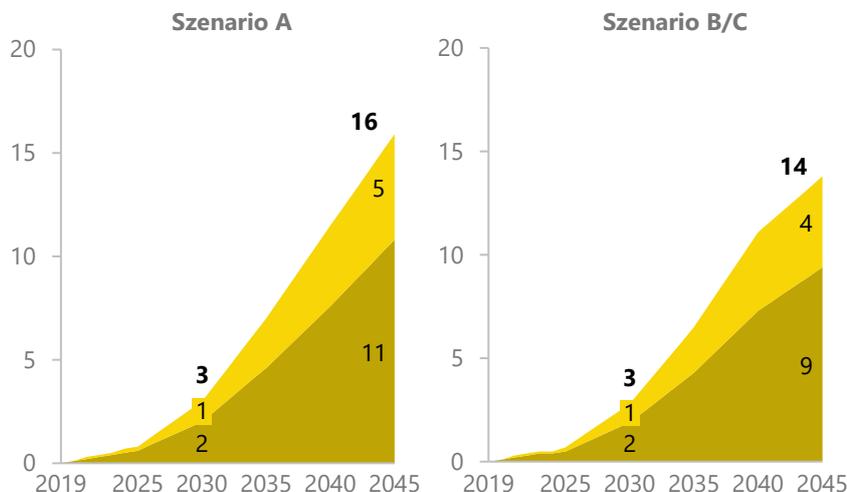


Abbildung 4-4: Installierte elektrische Leistung zur Fernwärmeerzeugung durch Großwärmepumpen und Elektrokessel in den drei Szenarien

Tabelle 4-2: Stromverbrauch und elektrische Leistung von Elektrokessel und Großwärmepumpen in Wärmenetzen je Szenario für 2037 und 2045

	A 2037	B 2037	C 2037	A 2045	B 2045	C 2045
<b>Stromverbrauch Elektrokessel (TWh)</b>	4,7	4,4	4,4	8,6	7,5	7,5
<b>Stromverbrauch Großwärmepumpe (TWh)</b>	7,2	6,8	6,8	12,2	10,6	10,6
<b>Stromverbrauch gesamt (TWh)</b>	11,9	11,2	11,2	20,8	18,1	18,1
<b>Elektrische Leistung Elektrokessel (GW)</b>	5,8	5,5	5,5	10,8	9,4	9,4
<b>Elektrische Leistung Großwärmepumpe (GW)</b>	3	2,8	2,8	5,1	4,4	4,4
<b>Elektrische Leistung gesamt (GW)</b>	8,8	8,3	8,3	15,9	13,8	13,8

Szenario B und C ein identischer Nah-/Fernwärmeausbau angenommen wird (vgl. Abschnitt 2.2) unterscheidet sich die installierte elektrische Leistung in diesem beiden Szenarien nicht. Tabelle 4-2 zeigt den Stromverbrauch und die elektrische Leistung je Szenario in den Jahren 2037 und 2045. Während die Nachfrage an strombasierter Nah-/Fernwärme im Modell basierend auf /PROG-01 21/ vermehrt durch Großwärmepumpen gedeckt wird, ist deren Stromverbrauch und die elektrische Leistung deutlich niedriger als bei Elektrokesseln. Das liegt daran, dass die Wärme bei Großwärmepumpen überwiegend durch Umweltwärme bereitgestellt wird und deren Effizienz somit deutlich höher ist. Weitere Technologien der Fernwärmebereitstellung im Modell sind wie in Abschnitt 1.1 beschrieben Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Bioenergie, Abfall (biogen und fossil), Geothermie, Solarthermie und industrielle Abwärme. Für die Bereitstellung von Fernwärme aus Geothermie fallen auch Stromverbräuche an, die im Rahmen dieser Studie aufgrund ihrer untergeordneten Rolle nicht quantifiziert wurden.

Abbildung 4-5 visualisiert die elektrische Leistung von Großwärmepumpen und Elektrokessel je Region im Szenario A in 2045. Hohe Leistungen finden sich dabei vor allem in städtischen Regionen.

**Elektrische Leistung zur Bereitstellung von Fern-/Nahwärme je Region im Jahr 2045 (Szenario A)**  
in MW | Großwärmepumpen & Elektrokessel | pHH & GHD | Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

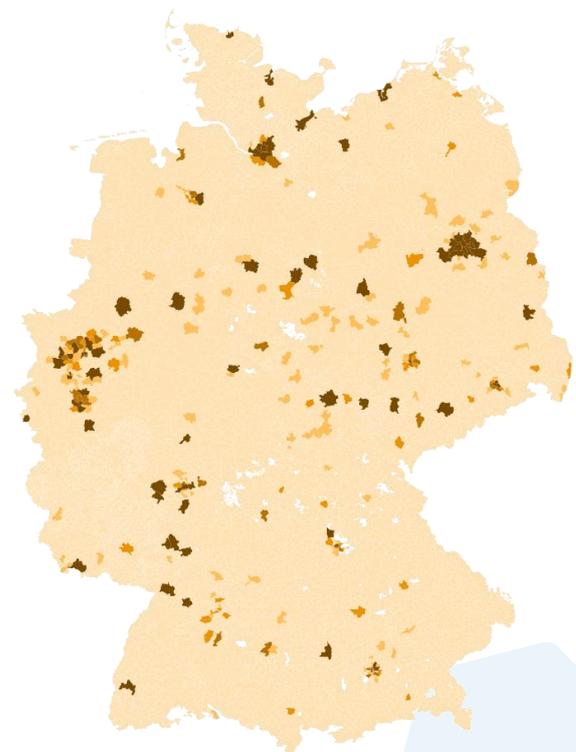


Abbildung 4-5: Elektrische Fernwärme-Leistung (Szenario A)



**5**

# **Exkurs: Klimakälte**

# 5 Exkurs: Klimakälte

Neben einer steigenden Stromnachfrage für die Bereitstellung von Gebäudewärme ist durch Klimaänderungen und sich wandelndes Nutzerverhalten zukünftig auch ein Anstieg von elektrisch bereitgestellter Klimakälte zu erwarten. Repräsentative Befragungen von Mieter:innen und Wohnungseigentümer:innen aus den Jahren 2019 und 2023 zeigen, dass die Bedeutung von Klimaanlage in Wohnungen bereits in den letzten Jahren gestiegen ist /BDEW-23 19/, /BDEW-03 23/. Im Zuge dieser Entwicklung ist es insbesondere von Bedeutung, den möglichen Anstieg der Stromnachfrage zu quantifizieren und abzuschätzen, ob sich dadurch relevante Rückwirkungen auf das Energiesystem ergeben können. Dieser Frage widmet sich der nachfolgende Exkurs.

Studien, in denen die Entwicklung des Klimakältebedarfes untersucht wurde, gehen im Mittel von einer Verdoppelung bis Verdreifachung des korrelierenden Strombedarfes von 2020 bis 2045 bzw. 2050 aus /PROG-01 22/, /KENK-01 19/, /ISI-04 24/. Der Anstieg in den privaten Haushalten ist dabei höher als im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen /ISI-04 24/. Letzterer weist mit einer Stromnachfrage von 7,7 TWh für Klimatisierung in 2023 im Vergleich zu den privaten Haushalten mit 1,3 TWh bereits heute eine höhere

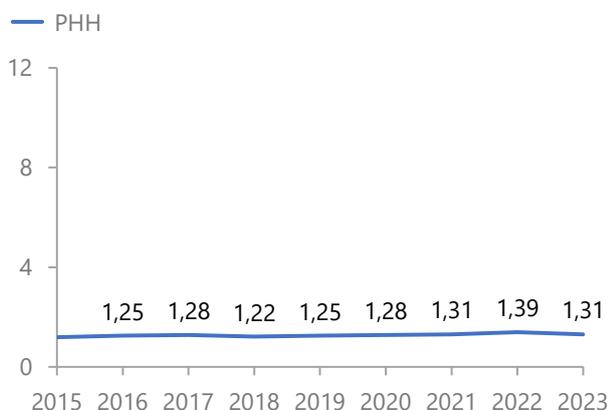
Durchdringung mit Anlagen zur Klimatisierung auf. Dies entspricht 6,4 % der gesamten Stromnachfrage in GHD im Jahr 2023. Der entsprechende Wert im Sektor pHH liegt bei 1,0 % /RWI-01 24/, /ISI-05 24/. Neben der aktiven Kühlung durch Klimaanlage kann der Kühlbedarf auch durch passive Maßnahmen wie z.B. Verschattung oder Begrünung, teils ohne Rückwirkungen auf das Energiesystem, gedeckt werden /UBA-16 23/.

Im Rahmen dieses Exkurses liegt der Fokus auf der möglichen zukünftigen Entwicklung des Strombedarfes durch den Hochlauf von Klimaanlage. Der Einfluss von Klimaänderungen wird dabei, im Einklang mit der Gebäudewärmemodellierung, nicht berücksichtigt. Untersuchungsgegenstand ist insbesondere der Zubau von Klimaanlage in Bestandsgebäuden durch die Änderung des Nutzerverhaltens unter Berücksichtigung des Einflusses durch den zukünftigen Zu- bzw. Rückbau von Wohn- und Nutzflächen.

## 5.1 Historische Entwicklung

Die historische Entwicklung des Strombedarfes für die Klimakältebereitstellung, die in Abbildung 5-1 dargestellt ist, unterscheidet sich zwischen den Sektoren. Während dieser im Sektor pHH von 2015 bis 2023 im

**(a) Strombedarf Klimakälte Sektor pHH**  
in TWh | ohne Witterungsanpassung



**(b) Strombedarf Klimakälte Sektor GHD**  
in TWh | ohne Witterungsanpassung

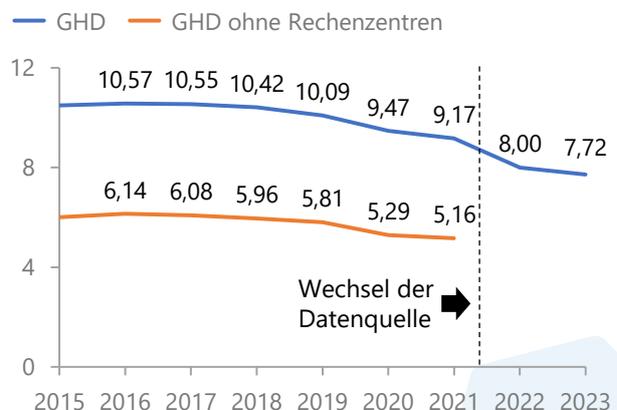


Abbildung 5-1: Historische Entwicklung des Strombedarfes für Klimakälte (a) im Sektor pHH und (b) im Sektor GHD<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Quelle GHD bis einschließlich 2021 /ISI-06 23/, ab 2022 /ISI-05 24/ sowie Quellen pHH /RWI-01 16/, /RWI-01 17/, /RWI-01 18/,

/RWI-01 19/, /RWI-01 20/, /RWI-01 21/, /RWI-01 22/, /RWI-01 23/, /RWI-01 24/.

Mittel gestiegen ist, liegt im Sektor GHD ein kontinuierlicher Rückgang vor. Aus den Haushalten war die Stromnachfrage für Klimaanlage in diesem Zeitraum im Jahr 2022 mit 1,39 TWh am höchsten. Auch wenn der Sommer in diesem Jahr verhältnismäßig warm war, war dies auch im Jahr 2018 mit einem vergleichsweise geringen Stromverbrauch für Klimaanlage von 1,22 TWh der Fall /CCCS-01 21/. Dies zeigt, dass sich der Strombedarf nicht direkt proportional zur Außentemperatur ändert und historisch keine direkte ersichtliche Korrelation zwischen Kühlgradtagen und dem Strombedarf für Klimaanlage bestand /UBA-16 23/.

Der Strombedarf für Klimakälte variiert im Sektor GHD stark zwischen den Anwendungsbereichen. Knapp 60 % bzw. 4,29 TWh der 10,09 TWh entfielen im Jahr 2019 auf Rechenzentren. Weitere Anwendungsbereiche mit Strombedarfen von ca. 1,35 TWh sind Beherbergung, Gaststätten, Heime sowie büroähnliche Betriebe. Ungefähr 0,6 TWh erreichen jeweils die Bereiche Handel und Landwirtschaft /ISI-06 23/. Im weiteren Verlauf wird der Bedarf für Rechenzentren ausgeschlossen.<sup>3</sup> Abbildung 5-1 zeigt dementsprechend die historische Entwicklung des Strombedarfs für Klimakälte im Sektor GHD inklusive und exklusive Rechenzentren. In beiden Fällen liegt, wie zu Beginn dieses Abschnitts beschrieben, ein kontinuierlicher Rückgang vor.

Es wird vermutet, dass diese divergierende historische Entwicklung zwischen den beiden Sektoren auf verschiedene Umstände zurückzuführen ist. Die bereits höhere vorherrschende Abdeckung des Klimatisierungsbedarfes durch Klimaanlage im Sektor GHD steht dem voraussichtlich noch nicht in diesem Maße gedecktem Bedarf im Sektor pHH gegenüber. Weitere Einflussfaktoren sind u.a. sich änderndes Nutzerverhalten als auch Effizienzgewinne durch technologischen Fortschritt bei Klimaanlage /KENK-01 19/, /STAT-06 24/.

## 5.2 Entwicklungspfade

Für die zukünftige Entwicklung des Klimatisierungsbedarfes wird, äquivalent zur am Beginn dieses Kapitels eingeführten Literatur, ein Anstieg angenommen. In /KENK-01 19/ wird dieser Anstieg für den Sektor pHH abhängig vom Szenario mit einer Zunahme der klimatisierten Haushalte von 10 %/a bzw. 20 %/a quantifiziert. Dabei gibt es eine Abhängigkeit vom

energetischen Standard der Gebäude. Ist dieser höher, ist der passive Hitzeschutz stärker ausgeprägt. Darüber hinaus geht eine Marktrecherche für Klimaanlage von einem Absatzanstieg von 5 bis 10 %/a bis 2030 aus /STAT-06 24/.

Daraus abgeleitet werden für diese Studie folgende Annahmen zur Entwicklung des Klimatisierungsbedarfes getroffen:

- Bis 2025 wird, orientiert an der historischen Entwicklung, in beiden Sektoren ein Zuwachs der klimatisierten Fläche von 1 %/a angenommen.
- Die klimatisierte Fläche im Sektor pHH wächst um 10 %/a.
- Die klimatisierte Fläche im Sektor GHD wächst um 5 %/a.

Der Unterschied zwischen den beiden Sektoren wird insbesondere über die aktuell höhere Sättigung im Sektor GHD und den zu erwartenden größeren Nachholeffekt in den Haushalten begründet (vgl. Abschnitt 5.1).

Aufgrund des zu erwartenden Effizienzgewinns durch technologischen Fortschritt bei Klimaanlage, entwickelt sich der Strombedarf für die Klimatisierung nicht direkt proportional zum thermischen Klimatisierungsbedarf. Für den heutigen Bestand an Klimaanlage wird ein SEER<sup>4</sup> (engl. Seasonal energy efficiency ratio/dt. Jahreszeitbedingte Leistungszahl im Kühlbetrieb) von 2,5 angenommen /KENK-01 19/. Für neu einzubauende Klimaanlage wird im Jahr 2020 ein SEER von 6,3 angenommen, welcher bis ins Jahr 2045 auf 8,8 steigt. Laut /EU-16 23/ entspricht dies den Energieeffizienzklassen A++ bzw. ab einem SEER von 8,5 A+++.

Neben der durch die gerade eingeführten Parameter abgebildeten Änderung des Strombedarfes für Klimakälte durch ein sich veränderndes Nutzerverhalten, wird in der Modellierung in den Modellen *PriHM* und *TerM* auch die Kühlbedarfsänderung durch die Entwicklung der Wohn- und Nutzflächen (vgl. Abschnitt 2.2) berücksichtigt.

Aus den zuvor eingeführten Annahmen resultiert die in Abbildung 5-2 dargestellte Entwicklung des Strombedarfes für die Klimakältebereitstellung in den Sektoren pHH und GHD. Der Bedarf der Haushalte steigt von 1,25 TWh im Jahr 2019 um 195 % auf 3,69 TWh

gesamte Kühlperiode repräsentativen Gesamtenergiewirkungsgrad des Geräts und ergibt sich aus dem Bezugs-Jahreskühlenergiebedarf geteilt durch den Jahresstromverbrauch für die Kühlung. /EU-16 23/

<sup>3</sup> Circa ein Viertel des Strombedarfes von Rechenzentren entfällt auf Kühlsysteme /ISI-06 23/.

<sup>4</sup> Definition SEER nach Verordnung (EU) Nr. 626/2011: „Jahreszeitbedingte Leistungszahl im Kühlbetrieb“ bezeichnet den für die

im Jahr 2045. Im Sektor GHD, dessen Bedarf im Jahr 2019 mit 5,42 TWh deutlich höher liegt, steigt die Nachfrage vergleichsweise moderater um 54 % bzw. auf 8,32 TWh.

### Strombedarf der Klimaanlage

in TWh | Deutschland | pHH & GHD |  
Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

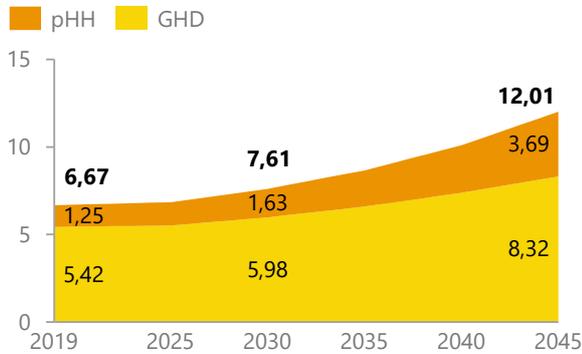


Abbildung 5-2: Entwicklungspfade für den Strombedarf der Klimakälte in den Sektoren pHH und GHD (ohne Rechenzentren)

Auch wenn eine Vielzahl an Indikatoren dafür sprechen, dass die Anzahl an Klimaanlage zukünftig steigt. Sind die Annahmen bezüglich der Entwicklung des entsprechenden Strombedarfes mit deutlich höheren Unsicherheiten behaftet als die Modellierung des zukünftigen Strombedarfes zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser.

## 5.3 Regionalisierung

Die Regionalisierung der Endenergieverbräuche für Klimakälte erfolgt über die potenziell zu kühlenden Flächen je Region und die Kühlgradtage. Für die Flächen werden Wohn- bzw. Nutzflächen dem FfE-Einzelgebäudemodell *HOUSE* entnommen und je Gemeinde bzw. Bezirk aggregiert. Dabei werden für den GHD-Sektor neben unbeheizten Gebäuden auch Sakralbauten und Gewächshäuser ausgeschlossen, die anhand OpenStreetMap-Metadaten als solche identifiziert werden konnten. Die Summe dieser Flächen je Region werden mit einem Faktor der Kühlgradtage des zugehörigen Landkreises zum Durchschnitt der Kühlgradtage über Deutschland multipliziert. Das Ergebnis ist der Indikator für die Regionalisierung. Der Indikator wird gleichermaßen für alle Jahre angewendet. Der Kühlgradtagsfaktor je Landkreis ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

### Faktor Kühlgradtage je Landkreis

Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

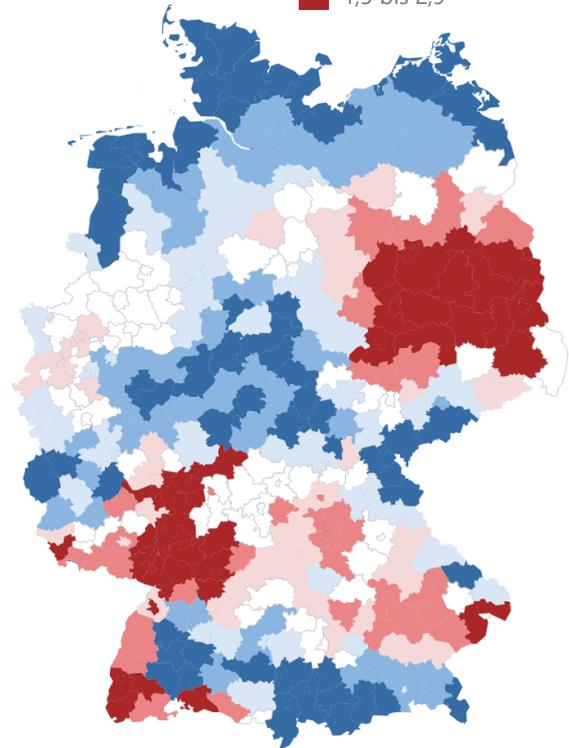
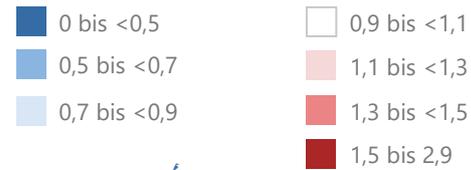


Abbildung 5-3: Faktor der Kühlgradtage je Landkreis zum Durchschnitt der Kühlgradtage über Deutschland

Die Berechnung der Kühlgradtage erfolgt im Modell als Jahressumme der Temperaturdifferenz aus Tagesmittel und Kühlgrenze, sofern die Tagesmitteltemperatur oberhalb der Kühlgrenze liegt. Als Kühlgrenze wurden für mittlere europäische Breiten nach /UBA-17 23/ 22 °C angenommen. Verwendet werden die durchschnittlichen Kühlgradtage der Wetterjahre 2010 bis 2020. Eine alternative Methodik nach /SPI-02 15/ für die Berechnung von Kühlgradtagen, die im Rahmen dieser Modellierung nicht zum Einsatz kam und bei der neben Tagesmittel- auch die Tagesminimal- und Tagesmaximaltemperaturen gewichtet in die Berechnung eingehen, berücksichtigt auch heiße Stunden am Mittag und Nachmittag sowie die nächtliche Abkühlung. Die Ergebnisse der Regionalisierung für das Jahr 2045 sind in Abbildung 5-4 dargestellt.

### Strombedarf für Klimaanlage in 2045 je Region

in MWh | pHH & GHD |

Durchschnittliches Wetterjahr 2010-2020

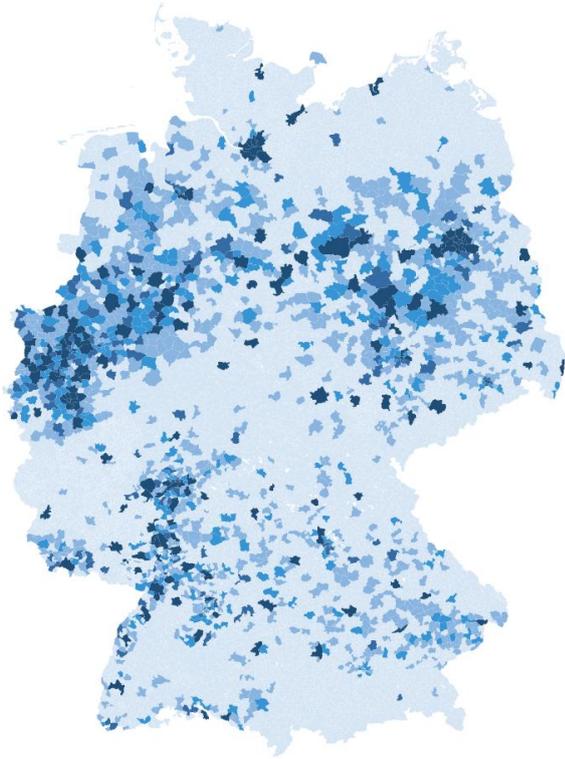


Abbildung 5-4: Regionalisierte Klimakälteverbräuche im Jahr 2045

# Literaturverzeichnis

- AGEB 04 21** Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2019: <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2017.html>; Berlin: AG Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2021.
- AGFW 05 23** Ergebnisse der Preisabfrage im Überblick - Fernwärmepreisübersicht Oktober 2023. Frankfurt am Main: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., 2023.
- BA 01 21** Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftsabteilungen der WZ 2008; Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit, 2021.
- BBR 01 25** Raumordnungsprognose 2040 - Bevölkerungsentwicklung; Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2025.
- BDEW 03 23** Beier, Livia: Wie heizt Deutschland 2023? Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2023.
- BDEW 03 25** Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau - Baugenehmigungen 10-Jahre-Rückblick bis heute: [https://www.bdew.de/media/documents/Baugenehm\\_Neubau\\_Beheizungsstruktur\\_Wohnungen\\_Entw\\_10J\\_dw\\_online\\_o\\_quartalswei\\_voTwhTD.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Baugenehm_Neubau_Beheizungsstruktur_Wohnungen_Entw_10J_dw_online_o_quartalswei_voTwhTD.pdf); Berlin: BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2025.
- BDEW 08 21** BDEW: Wärmewende. In <https://www.bdew.de/presse/pressemappen/waermewende/>. (Abruf am 2024-04-23); Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2021.
- BDEW 08 24** Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes - in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden - Heizung vorhanden - Anteile der genutzten Energieträger: [https://www.bdew.de/media/documents/Wohnungsbestand\\_Beheizungsstruktur\\_Entw\\_ab\\_1998\\_online\\_o\\_dw\\_jaehrlich\\_CMi\\_18122024.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Wohnungsbestand_Beheizungsstruktur_Entw_ab_1998_online_o_dw_jaehrlich_CMi_18122024.pdf); Berlin: BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2024.
- BDEW 23 19** Wie heizt Deutschland 2019? - BDEW-Studie zum Heizungsmarkt. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2019.
- BHKW 01 24** BHKW-Forum e.V.: 3. Mikro-BHKW Übersicht. In <https://www.bhkw-infothek.de/bhkw-anbieter-und-hersteller/mikro-bhkw-ubersicht/>. (Abruf am 2024-04-19); Neudorf: BHKW-Forum e.V., 2024.
- BMAS 01 21** Forschungsbericht 526/3 - Aktualisierte BMAS-Prognose "Digitalisierte Arbeitswelt". Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), 2021.
- BMU 04 21** Projektionsbericht 2021 für Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), 2021.
- BMU 07 17** Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). Ausgefertigt am 1998-8-26, Version vom 2017-6-1; Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2017.
- BMWi 29 20** Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung - Gemäß Artikel 2a der Richtlinie 2018/844/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy performance of buildings directive, EPBD 2018). Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2020.
- BMWK 01 22** Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Berlin: BMWK, 2022.
- BMWK 05 24** BMWK: Informationen vor dem Einbau einer neuen Heizung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024.
- BMWK 06 24** BMWK: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). In <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Dossier/beg.html>. (Abruf am 2024-04-26); Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024.
- BMWK 07 24** BMWK: Auf einen Blick: Die neue Förderung für den Heizungstausch. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024.
- BMWK 16 24** Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). Ausgefertigt am 2019-12-12, Version vom 2024-07-15; Berlin, Deutschland: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024.
- BMWK 18 23** Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) (GEG). Ausgefertigt am 2020-08-08, Version vom 2023-10-16;

Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023.

**BMWK 25 23** Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG). Ausgefertigt am 2023-12-15, Version vom 2023-12-20; Berlin: BMWK, 2023.

**BMWK 26 23** Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM). Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023.

**BZBV 01 23** Scharathow, Roland: vzbv-Studie: Große Preisunterschiede bei Fernwärme - Verbraucherzentrale Bundesverband kritisiert fehlende Vergleichsmöglichkeiten für Verbraucher:innen. In <https://www.vzbv.de/pressemitteilung/vzbv-studie-grosse-preisunterschiede-bei-fernwaerme>. (Abruf am 2024-04-19); Berlin: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2023.

**CCCS 01 21** Muñoz Sabater, J.: ERA5-Land hourly data from 1981 to present: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land> (Abruf 16.06.2021), Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, 2021. DOI: 10.24381/cds.e2161bac

**DBFZ 02 20** Systemlösungen im Wärmesektor - 52 Modellkonzepte für eine klimaneutrale Wärme. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 2020. ISBN: 978-3-946629-59-7.

**DEA 03 23** Technology Data for Individual Heating Plants. In <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-individual-heating-plants>. (Abruf am 2024-04-18); Copenhagen, Denmark: Danish Energy Agency (DEA), 2023.

**DENA 01 24** Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien in Ein- und Zweifamilienhäusern. In <https://www.gebaeudeforum.de/realisieren/erneuerbare-energien/waermeerzeugung-erneuerbare-energien-ezfh/>. (Abruf am 2024-04-18); Berlin: Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), 2024.

**DENA 02 24** Höllen, Arne: Stromdirektheizung - Wärmeerzeugung im Gebäudebestand mit erneuerbaren Energien. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2024.

**DENA 03 24** Höllen, Arne: Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien - Hintergrund-Factsheet. Übersicht zu übergeordneten Anforderungen, Berechnungsgrundlagen und Fördermöglichkeiten. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2024.

**DESTATIS 01 25** Regionaldatenbank - Tabelle 12411-01-01-5: Bevölkerung nach Geschlecht - Stichtag 31.12. - regionale Tiefe: Gemeinden;

Düsseldorf: Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, 2025.

**DESTATIS 02 25** Datenbank des Statistischen Bundesamtes - Tabelle 12421-0003: Vorausberechneter Bevölkerungsstand: Bundesländer, Stichtag, Varianten der Bevölkerungsvorausberechnung; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2025.

**DESTATIS 03 25** Regionaldatenbank - Tabelle 13111-08-02-5-B: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeits- und Wohnort, Ein- und Auspendelnde über Gemeindegrenzen - Stichtag 30.06. - regionale Ebenen; Düsseldorf: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025.

**DESTATIS 08 24** Ergebnisse des Zensus 2022 - Gebäude- und Wohnungszählung: [https://www.zensus2022.de/static/Zensus\\_Veroeffentlichung/Regionaltabelle\\_Gebaeude\\_Wohnungen.xlsx](https://www.zensus2022.de/static/Zensus_Veroeffentlichung/Regionaltabelle_Gebaeude_Wohnungen.xlsx); Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2024.

**DESTATIS 33 21** Bautätigkeit und Wohnungen - Bestand an Wohnungen - 31. Dezember 2020. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021.

**EU 16 23** VERORDNUNGEN DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 626/2011 DER KOMMISSION vom 4. Mai 2011 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Luftkonditionierern in Bezug auf den Energieverbrauch (Verordnung (EU) Nr. 626/2011). Ausgefertigt am 2011-5-4, Version vom 2023-9-30; Brüssel: Europäische Union, 2023.

**FFE 05 25** Stadlbauer, Hans: VALUES Wärme - Geodatenbasierte und automatisierte Identifikation von potenziellen Wärmenetzen. In <https://www.ffe.de/projekte/values-waerme-geodatenbasierte-und-automatisierte-identifikation-von-potenziellen-waermenetzen/>. (Abruf am 2025-4-22); München: FfE, 2025.

**FFE 11 24** Engwerth, Veronika: Modeling Transformation Pathways of European Final Energy Consumption in the Transport and Buildings Sector Using Country Clustering. In: Energy Technology 2024, 2300951. Weinheim: Wiley-VCH GmbH, 2024.

**FFE-16 25** Limmer, Timo et al: HOUSE - Deutschlandweites und geodatenbasiertes Einzelgebäudemodell. In <https://www.ffe.de/tools/house/>. (Abruf am 2025-07-30); München: FfE, 2025.

**FFE 17 23** Kigle, Stephan: Bayernplan Energie 2040 - Wege zur Treibhausgasneutralität - Abschlussbericht. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 2023.

**FFE-17 25** Stadlbauer, Hans et al: HeatGrid - Straßenabschnittsscharfe Potenzialgebiete für

- Wärmenetze. In <https://www.ffe.de/tools/heat-grid/>. (Abruf am 2025-07-30); München: FfE, 2025.
- FFE 179 20** Fiedler, Claudia et al.: Modelling transformation pathways for EU27+3 final energy demand using temporally and spatially resolved sector models. In: Conference Proceedings Current and Future Challenges to Energy Security; 5th AIEE Energy Symposium, virtual conference, December 2020. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2020.
- FFE 24 21** Guminski, Andrej et al.: eXtremOS Summary Report - Modeling Kit and Scenarios for Pathways Towards a Climate Neutral Europe. Munich: FfE, 2021.
- FFE 38 24** Kern, Timo: Energiesystemanalyse - Bayern klimaneutral - Abschlussbericht. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 2024.
- FFE 51 22** Schmid, Tobias: Wärmenetze - Entwicklung der Wärmenetze und deren Wärmeerzeuger in Deutschland. München: FfE, 2022.
- FFE 53 18** Kleinertz, Britta et al.: Energie- und Kosteneinsparpotenziale durch geringinvestive Maßnahmen zur Optimierung bestehender Trinkwassersysteme. In: HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 69 (2018) 59-61. Düsseldorf: VDI Fachmedien GmbH, 2018.
- FFE 53 19** Kleinertz, Britta et al.: Flexibility potential of industrial thermal networks through hybridization. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft, 2019.
- FFE 58 22** Klimaneutrale Wärme München 2035. In <https://www.ffe.de/projekte/klimaneutrale-waerme-muenchen-2035/>. (Abruf am 2022-09-22); München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 2022.
- FFE 67 22** Greif, Simon et al.: Wärmepumpen-Ampel - Räumlich hochaufgelöstes Potenzial für den Einsatz von Wärmepumpen in Deutschland zur Erreichung der Klimaziele. In <https://www.ffe.de/projekte/waermepumpen-ampel/>. (Abruf am 2022-10-27); München: FfE eV, 2022.
- FFE 79 21** Kleinertz, Britta et al.: Klimaneutrale Wärme München 2035 - Ermittlung der Möglichkeiten zur Umsetzung von Lösungspfaden für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München. München & Freiburg: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH & Öko-Institut e.V., 2021.
- FFE 94 22** Jetter, Fabian: Stromverbrauchsmodellierung des Industriesektors im Kontext der Dekarbonisierung. München: FfE, 2022.
- FNB 01 23** Wasserstoff-Kernnetz. In <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>. (Abruf am 2023-11-30); Berlin: FNB Gas, 2023.
- GEFI 01 23** Wärmemasterplan 2.0 - Anlage 3: Technologiesteckbriefe. Leimen: GEF Ingenieur AG, 2023.
- GREIF 01 23** Greif, Simon: Räumlich hoch aufgelöste Analyse des technischen Potenzials von Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung der Wohngebäude in Deutschland. Dissertation. Herausgegeben durch TU München: München, 2023.
- HOR 02 21** Hörner, Michael: Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten. In: Abschlusstagung Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude am 28.4.2021 (online). Institut Wohnen und Umwelt. 2021
- IEG 01 22** Born, Holger et al.: Roadmap oberflächen-nahe Geothermie - Erdwärmepumpen für die Energiewende - Potenziale, Hemmnisse und Handlungsempfehlungen. Bochum: Fraunhofer - Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24406/publica-70>.
- IFEU 01 23** Pehnt, Martin: Heizen mit 65 % erneuerbaren Energien - Begleitende Analysen zur Ausgestaltung der Regelung aus dem Koalitionsvertrag 2021. Heidelberg: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, 2023.
- ISE 01 21** Lämmle, Manuel et al.: Temperaturabsenkung in Wärmepumpen-Heizsystemen mit Radiatoren. In: Berliner Energietage 2021; Berlin: Fraunhofer ISE, 2021.
- ISI 04 24** Brugger, Heike: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Orientierungsszenarien - Modul GHD und Geräte. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2024.
- ISI 05 21** Wietschel, M. et al.: Metastudie Wasserstoff - Auswertung von Energiesystemstudien - Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG, 2021.
- ISI 05 22** Sensfuß, Frank: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Szenarien T45 [Überblickswebinar 15.11.2022]. In: [www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAs-sets/docs/LFS3\\_T45\\_Szenarien\\_15\\_11\\_2022\\_final.pdf](http://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAs-sets/docs/LFS3_T45_Szenarien_15_11_2022_final.pdf) (Abruf am 2022-11-15); Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2022
- ISI 05 24** Rohde, Clemens: Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2021 bis 2023 für die Sektoren Industrie und GHD - Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB). Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für

System- und Innovationsforschung ISI (Fraunhofer ISI), 2024.

- ISI 06 23** Rohde, Clemens: Erhebungen des Endenergieverbrauchs im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für das Jahr 2019 - Endbericht mit Sonderauswertung Digitalisierung. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2023.
- ISI 06 24** Sensfuß, Frank: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - O45 Welten - Gebäudesektor. Heidelberg: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2024.
- IWU 02 22** Hörner, Michael: Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude - Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung von Gebäudehülle und haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2022.
- KEABW 01 23** Technikatalog zur kommunalen Wärmeplanung. In <https://www.keabw.de/waermewende/wissensportal/technikatalog>. (Abruf am 2023-5-24); Karlsruhe: KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW), 2023.
- KENK 01 19** Kenkmann, Tanja; Stieß, Immanuel; Winger, Christian; Birzler-Harder, Barbara; Sunderer, Georg (11. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2019).
- NPRO 01 24** Wirtz, Marco: Wärmenetze im Quartier. In <https://www.npro.energy/main/de/district-heating-cooling/district-heating-networks>. (Abruf am 2024-04-19); Erkelenz: nPro Energy GmbH, 2024.
- NPRO 01 25** Wirtz, Marco: Heizlast und Wärmebedarf von Gebäuden. In <https://www.npro.energy/main/de/load-profiles/heat-load-and-demand>. (Abruf am 2025-3-21); Erkelenz: nPro Energy GmbH, 2025.
- NPRO 02 24** Wirtz, Marco: Kalte Nahwärme. In <https://www.npro.energy/main/de/5gdhc-networks>. (Abruf am 2024-04-19); Erkelenz: nPro Energy GmbH, 2024.
- NPRO 03 24** Wirtz, Marco: Unterschiede zwischen klassischen Wärmenetzen und kalten Nahwärmenetzen. In <https://www.npro.energy/main/de/5gdhc-networks/difference-5gdhc-4gdh> (Abruf am 2024-04-19); Erkelenz: nPro Energy GmbH, 2024.
- OSMF 01 22** OpenStreetMap und Mitwirkende: OpenStreetMap - Deutschland. Daten mit Open-Database-Lizenz veröffentlicht unter: <http://www.openstreetmap.org>. (Abruf am 2022-1-24); Cambridge: OpenStreetMap Foundation, 2022.

- PROG 01 21** Klimaneutrales Deutschland 2045 - Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Berlin: Prognos AG, 2021.
- PROG 01 22** Thamling, Nils: Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045 - Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin, Basel, München, Freiburg, Heidelberg, Dresden: Prognos AG, 2022.
- RWI 01 16** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2014 bis 2015 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Oktober 2016. Essen: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2016.
- RWI 01 17** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2015 und 2016 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Oktober 2017. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2017.
- RWI 01 18** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2016 und 2017 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Oktober 2018. Essen: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2018.
- RWI 01 19** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2018 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - August 2019. Essen: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2019.
- RWI 01 20** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2019 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - August 2020. Essen: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2020.
- RWI 01 21** Schmidt, Christoph et al.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2020 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - August 2021. Essen: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2021.
- RWI 01 22** Frondel, Manuel: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2021 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Juni 2022 - Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2022.
- RWI 01 23** Frondel, Manuel: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2022 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Oktober 2023 -

- Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2023.
- RWI 01 24** Frondel, Manuel: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2023 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland - Endbericht - Oktober 2024 - Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2024.
- SPI 02 15** Spinoni, Jonathan; Vogt, Jürgen; Barbosa, Paolo: European degree - day climatologies and trends for the period 1951 - 2011. In: International Journal of Climatology 35 (1). Mailand: Polytechnic University of Milan, 2015. DOI: 10.1002/joc.3959.
- STAT 06 24** Statista Market Insights - Markt: Haushaltsgeräte - Haushaltsgroßgeräte - Klimaanlage - Region: Deutschland; Hamburg: Statista GmbH, 2024.
- THERM 02 23** Calließ, Sebastian: Mikro-BHKW: Das Minikraftwerk für Strom und Wärme im Eigenheim. In <https://www.thermondo.de/info/rat/erneuerbare-energie/mikro-bhkw/>. (Abruf am 2024-04-19); Berlin: thermondo GmbH, 2023.
- UBA 01 24** Umweltbundesamt: Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. In <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>. (Abruf am 2024-4-23); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2024.
- UBA 03 24** Umweltbundesamt: Wasserstoff – Schlüssel im künftigen Energiesystem. In <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schluesel-im-kuenftigen-energiesystem#Rolle>. (Abruf am 2024-04-26); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2024.
- UBA 11 23** Umweltbundesamt: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Energiesystem. In <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/kraft-waerme-kopplung-kwk-im-energiesystem#KWK>. (Abruf am 2024-04-19); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2023.
- UBA 12 23** Umweltbundesamt (UBA): Pellets: Holzheizung energiesparend einstellen und Alternativen prüfen. In <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/pelletkessel#so-heizen-sie-klimavertraglich-mit-pellets>. (Abruf am 2024-04-19); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2023.
- UBA 13 23** Umweltbundesamt: Heizungstausch: Mehr Klimaschutz mit einer neuen Heizung. In <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizungstausch#was-sie-beim-wechsel-ihrer-heizung-beachten-sollten>. (Abruf am 2024-04-26); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2023.
- UBA 16 23** Indikator-Factsheet: Kühlgradtage - Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie - Indikator-Factsheets zum Handlungsfeld Bauwesen - BAU-I-3. München: Bosch & Partner GmbH i.A. des Umweltbundesamtes, 2023.
- UBA 17 21** Analyse des wirtschaftlichen Potenzials fuer eine effiziente Wärme- Kälteversorgung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2021.
- UBA 17 23** von Andrian-Werburg, Stefan: BAU-I-3: Indikator-Factsheet: Kühlgradtage - Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie - Indikator-Factsheets zum Handlungsfeld Bauwesen. München: Bosch & Partner GmbH i.A. des Umweltbundesamtes, 2023.
- UBA 36 20** Umweltbundesamt (UBA): Status quo der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland - Sachstandspapier. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2020.
- VDE 02 15** Gerhardt, Norman et al.: Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050 - Wärmever-sorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien. Frankfurt am Main: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., 2015
- VDI 04 12** VDI 2067 - Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung . Ausgefertigt am 2000, Version vom 2012-09; Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2012.
- VISS 01 24** Hermann, Philipp: Mini-BHKW erzeugt Wärme und Strom. In <https://www.heizung.de/bhkw/mini-bhkw.html>. (Abruf am 2024-04-19); Allendorf (Eder): Viessmann Climate Solutions SE, 2024.
- WWF 01 23** Breer, Sebastian: Wasserstoff und grüne Gase im Gebäudesektor? Keine gute Lösung. - Policy Paper. Berlin/Hannover: WWF Deutschland/NABU/Deutsche Umwelthilfe e.V./, 2023.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Anteile der Wärmeanwendungen am Endenergieverbrauch.....	8
Abbildung 1-2: Endenergieverbrauch für Raumwärme- und Warmwasser nach Energieträger ...	8
Abbildung 1-3: Entwicklung der Beheizungsstruktur in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden.....	9
Abbildung 1-4: Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau .....	9
Abbildung 2-1: Entwicklung der Bevölkerung .....	16
Abbildung 2-2: Entwicklung Erwerbspersonen und Nettogrundfläche Nichtwohngebäude.....	17
Abbildung 4-1: Entwicklungspfade der Gebäudewärmenachfrage .....	26
Abbildung 4-2: Anzahl an Wärmepumpen je Szenario, Jahr und Sektor .....	27
Abbildung 4-3: Regionale Verteilung der Anzahl an Wärmepumpen im Jahr 2045.....	27
Abbildung 4-4: Installierte elektrische Leistung zur Fernwärmeerzeugung .....	28
Abbildung 4-5: Elektrische Fernwärme-Leistung (Szenario A) .....	29
Abbildung 5-1: Historische Entwicklung des Strombedarfes für Klimakälte .....	31
Abbildung 5-2: Entwicklungspfade für den Strombedarf der Klimakälte .....	33
Abbildung 5-3: Faktor der Kühlgradtage je Landkreis.....	33
Abbildung 5-4: Regionalisierte Klimakälteverbräuche im Jahr 2045 .....	34

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht über die Ausprägung der Transformationspfade .....	15
Tabelle 2-2: Entwicklung der spezifischen Wohnfläche je Einwohner .....	16
Tabelle 2-3: Energieeffizienzklassen des Neubaus von Wohn- und Nichtwohngebäuden .....	16
Tabelle 2-4: Sanierungsraten in Gebäuden mit und ohne Fernwärmeanschluss.....	17
Tabelle 2-5: Sanierungstiefen ohne und mit Anschluss an das Fernwärmenetz .....	17
Tabelle 3-1: Kennzahlen für Wärmepumpen .....	23
Tabelle 4-1: Stromverbrauch und Anzahl für Wärmepumpen für 2037 und 2045.....	28
Tabelle 4-2: Stromverbrauch und elektrische Leistung in Wärmenetzen für 2037 und 2045.....	29
Tabelle A-1: Spezifischer Wärmebedarf für mit Wärmepumpen versorgte Gebäude.....	42
Tabelle A-2: Strombedarf je Wärmepumpe in kWh .....	42
Tabelle A-3: Entwicklung Endenergieverbrauch nach Energieträger Szenario A .....	43
Tabelle A-4: Entwicklung Endenergieverbrauch nach Energieträger in Szenario B .....	43
Tabelle A-5: Entwicklung Endenergieverbrauch nach Energieträger in Szenario C .....	44

# Anhang

## Kennwerte zur Abschätzung der Wärmepumpenanzahl

Die folgenden Tabellen zeigen die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Parameter zur Abschätzung der Wärmepumpenanzahl auf Basis des Stromverbrauchs. Die spezifischen Wärmebedarfe in Tabelle A-1 sind im Status quo niedrig, da Wärmepumpen v.a. im Neubau und in gut gedämmten Gebäuden verbaut werden. Über die Zeit werden Wärmepumpen auch vermehrt Bestandsgebäuden mit höheren spezifischen Wärmebedarfen eingebaut. Ab 2035 sinken die spezifischen Wärmebedarfe wieder aufgrund der zunehmenden Sanierung.

Tabelle A-1: Spezifischer Wärmebedarf für mit Wärmepumpen versorgte Gebäude in kWh/m<sup>2</sup>

Sektor	Szenario	2019	2025	2030	2035	2037	2040	2045
pHH	A	110	120	130	136	133	130	123
	B	110	120	130	136	133	129	122
	C	110	120	130	134	130	124	117
GHD	A	100	110	120	122	120	116	110
	B	100	110	120	122	119	115	106
	C	100	110	120	120	116	111	101

Die in Tabelle A-2 dargestellten Strombedarfe je Wärmepumpe ergeben sich aus den spezifischen Wärmebedarfen aus Tabelle A-1, den beheizten Flächen (pHH: 195 m<sup>2</sup>, GHD: 280 m<sup>2</sup>) sowie den Jahresarbeitszahlen (siehe Abschnitt 3.2).

Tabelle A-2: Strombedarf je Wärmepumpe in kWh

Sektor	Szenario	2019	2025	2030	2035	2037	2040	2045
pHH	A	7.150	7.405	7.613	7.576	7.306	6.901	6.277
	B	7.150	7.405	7.613	7.574	7.287	6.680	6.191
	C	7.150	7.405	7.613	7.447	7.115	6.624	5.935
GHD	A	9.333	9.747	10.090	9.788	9.438	8.910	8.023
	B	9.333	9.747	10.090	9.757	9.384	8.825	7.870
	C	9.333	9.747	10.090	9.565	9.130	8.486	7.385

## Endenergieverbrauch nach Energieträger in den Szenarien

Die nachfolgenden Tabellen wurden mit dem durchschnittlichen Wetterjahr von 2010 bis 2020 berechnet.

Tabelle A-3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Gebäudewärme nach Energieträger in Szenario A

EEV in TWh	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Öl</b>	173,6	149,8	129,9	73,4	26,8	12,2
<b>Kohle</b>	4,4	0	0	0	0	0
<b>Gas</b>	383,9	344,6	289,2	230,3	141,1	52,0
<b>Fern-/Nahwärme</b>	67,2	70,1	77,5	91,0	104,1	116,9
<b>Biomasse</b>	114,4	117,3	118,4	118,7	118,4	117,8
<b>Wasserstoff</b>	0	0	10,5	22,8	45,0	60,1
<b>Strom (ohne Wärmepumpen)</b>	26,1	25,2	24,4	23,2	22,0	20,6
<b>Strom für Wärmepumpen</b>	8,0	21,6	31,3	47,0	63,2	71,8
<b>Umweltwärme (Wärmepumpen)</b>	16,4	45,5	70,0	112,6	181,2	194,3

Tabelle A-4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Gebäudewärme nach Energieträger in Szenario B

EEV in TWh	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Öl</b>	173,6	149,8	126,7	65,8	26,6	0
<b>Kohle</b>	4,4	0	0	0	0	0
<b>Gas</b>	383,9	342,8	281,1	146,6	59,5	0
<b>Fern-/Nahwärme</b>	67,2	70,1	77,5	90,9	104,0	103,6
<b>Biomasse</b>	114,4	110,7	107,3	102,3	96,0	89,3
<b>Wasserstoff</b>	0	0	3,5	6,5	11,9	16,5
<b>Strom (ohne Wärmepumpen)</b>	26,1	25,2	24,4	23,2	21,9	20,7
<b>Strom für Wärmepumpen</b>	8,0	24,0	39,3	79,0	96,3	105,0
<b>Umweltwärme (Wärmepumpen)</b>	16,4	50,8	88,7	192,7	249,4	288,1

Tabelle A-5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Gebäudewärme nach Energieträger in Szenario C

<b>EEV in TWh</b>	<b>2019</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>
<b>Öl</b>	173,6	149,8	110,1	57,4	25,5	0
<b>Kohle</b>	4,4	0	0	0	0	0
<b>Gas</b>	383,9	342,8	244,3	127,9	57,3	0
<b>Fern-/Nahwärme</b>	67,2	70,1	77,5	90,9	103,9	103,5
<b>Biomasse</b>	114,4	110,7	106,5	75,2	41,5	24,2
<b>Wasserstoff</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Strom (ohne Wärmepumpen)</b>	26,1	25,2	24,3	23,0	21,5	29,2
<b>Strom für Wärmepumpen</b>	8,0	24,0	54,0	92,0	108,6	117,3
<b>Umweltwärme (Wärmepumpen)</b>	16,4	50,8	122,9	225,1	282,1	322,9

## Technologiesteckbriefe

Die folgenden Steckbriefe sind nach einem identischen Muster aufgebaut. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden wo möglich einheitliche Quellen verwendet.

Als primäre Quellen für die Steckbriefe (insbesondere für die Kategorie „Kenndaten“) dienen: /KEABW-01 23/, /VDI-04 12/, /FFE-58 22/, /UBA-17 21/, Gesetzestext Gebäudeenergiegesetz (Stand: 16.10.2023), eigene Projekterfahrung

Weitere verwendete Quellen: /GREIF-01 23/, /DEA-03 23/, /VDE-02 15/, /DBFZ-02 20/, /IFEU-01 23/, /GEFI-01 23/, /ISE-01 21/, /DENA-01 24/, /NPRO-01 24/, /NPRO-02 24/, /NPRO-03 24/, /BZBV-01 23/, /AGFW-05 23/, /THERM-02 23/, /BHKW-01 24/, /UBA-36 20/, /UBA-11 23/, /VIESS-01 24/, /DENA-02 24/, /UBA-12 23/, /WWF-01 23/

## Elektro-Wärmepumpen

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Elektro-Wärmepumpen heben mithilfe elektrischer Energie die thermische Energie einer ansonsten zu kalten Wärmequelle (z.B. Umweltwärme) auf ein nutzbares Temperaturniveau an. Die Effizienz von Wärmepumpen wird mittels des COP-Werts beschrieben, welcher die thermische Energie ins Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Leistung setzt. Sie hängt primär von der angestrebten Vorlauftemperatur für die Wärmebereitstellung sowie von der Temperatur der genutzten Wärmequelle ab. Ein möglichst geringer Temperaturunterschied führt zu höheren Wirkungsgraden. Die Effizienz betrachtet über ein ganzes Jahr wird Jahresarbeitszahl (JAZ) genannt.</p> <p>Elektro-Wärmepumpen können unterschiedliche Umweltwärmequellen nutzen. Hierzu zählen z.B. die Luft (Außenluft, Abluft), das Erdreich (Sonden, Kollektoren, ...) und das Grundwasser. Zusätzlich kann eine Unterscheidung hinsichtlich des Trägermediums der Heizwärme getroffen werden. Luft-Luft Wärmepumpen übertragen z.B. die Wärme ohne ein Verteilsystem direkt an die Raumluft.</p> <p>Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung muss der eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energien stammen.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	bis 150 kW (danach häufig als Groß-Wärmepumpe bezeichnet)
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	35 °C – 75 °C
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	3,1-3,4 (Außenluft) 3,3-4,3 (Erdreich) 4,2-5,8 (Grundwasser)
	<b>Nutzungsdauer</b>	18-20 Jahre
	<b>Investitionskosten</b>	1257 €/kW <sub>th</sub> – 2211 €/kW <sub>th</sub> (6-14 kW) 381 €/kW <sub>th</sub> – 1000 €/kW <sub>th</sub> (61-110 kW) + Kosten Wärmequellen-Erschließung
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	2,5 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Abhängig von Strompreis und JAZ
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Eignung und Erschließbarkeit einer entsprechenden Umweltwärmequelle (Luft, Wasser oder Erdreich) hinsichtlich des Platzbedarfes und unter Einhaltung entsprechender Vorgaben (z. B. TA-Lärm, Wasserhaushaltsgesetz, ...)</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Technologisch ausgereiftes und etabliertes Produkt mit grundsätzlicher Eignung für Neubau und Bestand sowie für Ein- als auch größere Mehrfamilienhäuser</li> <li>Hohe Energieeffizienz und geringe Betriebskosten durch Nutzung „kostenloser“ Umweltwärme</li> <li>Viele Umsetzungsmöglichkeiten (Luft, Wasser, Erdreich, Klima-Split-Geräte), welche an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden können</li> <li>Uneingeschränkte Erfüllung der GEG-Vorgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mögliche Umweltauswirkungen durch eingesetzte synthetische Kältemittel (nicht bei natürlichen Kältemitteln wie z.B. Propan), Schallemissionen oder Bohrungen</li> <li>Hohe Investitionskosten bei Erschließung von Erdreich oder Grundwasser als Wärmequelle</li> <li>Effizienz schwankt im jahreszeitlichen Verlauf (insbesondere bei Wärmequelle Außenluft) und ist von individuellen Gebäudegegebenheiten abhängig</li> <li>Sinkende Effizienz bei höherer benötigter Vorlauftemperatur</li> </ul>	
<b>Einsatzgebiet</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entscheidende Rolle bei der Raumheizung (-kühlung) und Warmwasseraufbereitung in Wohn- und Nichtwohngebäuden (Ziel der Bundesregierung: 6 Millionen Wärmepumpen in Deutschland bis 2030)</li> <li>Neben Neubauten und sanierten Gebäuden ist der Einsatz explizit auch in (teil-)/unsanierten Bestandsgebäuden mit geringeren Anpassungen (z.B. selektiver Heizkörperaustausch) und leichten Effizienzeinbußen möglich und sinnvoll</li> </ul>		

## Anschluss an Wärmenetz (Hausübergabestation)

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Unter Wärmenetzen wird die leitungsgebundene Wärmebereitstellung und -verteilung von einem oder mehreren zentralen Erzeugern (z.B. industrielle Abwärme) an Wohn- und Nichtwohngebäude verstanden. Je nach Größe und Ausdehnung des Wärmenetzes wird dabei von Nah- bzw. Fernwärme gesprochen, eine klare Abgrenzung existiert dabei jedoch nicht. Auf Verbraucherseite entfällt in beiden Fällen der Bedarf nach einer dezentralen Wärmeerzeugung. Bindeglied zwischen Wärmenetz und Wärmezentrale in den Gebäuden ist eine Übergabestation zur Regelung von Parametern wie Druck und Temperatur. Unter Berücksichtigung von potenziellen Wärmelieferanten sowie der Dichte der Wärmeabnehmer muss regional über den Neu- bzw. Ausbau eines Wärmenetzes entschieden werden. Dies kann im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung geschehen.</p> <p>Neben der Ausdehnung (Nah- vs. Fernwärme) können Wärmenetze auch hinsichtlich ihres Temperaturniveaus unterschieden werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmnetze der 1. – 4. Generation: Vorlauftemperaturen &gt;70 °C ermöglichen direkte Nutzung zu Heizzwecken</li> <li>• Wärmenetze der 5. Generation (Kalte Wärmenetze): Netz-Vorlauftemperaturen von 5-35 °C; Gebäudeindividuelle Wärmepumpen nutzen dieses bereitgestellte Temperaturniveau als Wärmequelle und heben es auf die benötigten Vorlauftemperaturen an</li> </ul>	<b>Leistungsbereich</b>	bis 500 kW
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	~70 bis max. 200 °C (1. – 4. Generation) 5-35 °C (5. Generation)
	<b>Effizienz</b>	95 % - 100 % bezogen auf Hausübergabestation, Transportverluste im Wärmenetz steigen mit Netzlänge
	<b>Nutzungsdauer</b>	20-30 Jahre
	<b>Investitionskosten</b>	389-433 €/kW <sub>th</sub> 51-99 €/kW <sub>th</sub> (150-500 kW) + ggfs. Anschlussgebühr und Wärmepumpe bei kalten Wärmenetzen
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	3 %/p.a. der Investitionskosten
<b>Energiekosten</b>	Grundpreis + Arbeitspreis, Ø-Mischpreis: 14-19 ct/kWh + ggfs. Antriebsenergie für Wärmepumpen bei kalten Wärmenetzen	
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschlussmöglichkeit an ein bestehendes oder zu errichtendes Wärmenetz</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigender Anteil an erneuerbarer Wärmeproduktion in Fernwärmen</li> <li>• Uneingeschränkte Erfüllung der GEG-Vorgaben</li> <li>• Geringe Investitions- und Wartungskosten auf Verbraucherseite</li> <li>• Reduzierter Platzbedarf inner- und außerhalb des Gebäudes</li> <li>• Ermöglichung der Integration erneuerbarer Energien durch zentrale Erzeugung und leitungsgebundenen Transport auch im urbanen Bereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilweise hohe Verbrauchskosten mit starken regionalen Unterschieden</li> <li>• Abhängigkeit von Wärmeversorger und möglichen Preisschwankungen durch fehlenden Wettbewerb</li> <li>• Fehlende Preistransparenz</li> </ul>	

## Einsatzgebiet

- Versorgung von Wohn- und Nichtwohngebäuden für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung in Gebieten mit sinnvollem Betrieb von Wärmenetzen unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten oder in Gebieten, in denen kaum bis keine Möglichkeiten zur dezentralen und erneuerbaren Gebäudebeheizung vorhanden sind
- Im Zuge der Wärmewende wird von einem steigenden Anteil der leitungsgebundenen Wärmeversorgung ausgegangen

## Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) sind Energieerzeugungssysteme, die gleichzeitig Strom und Wärme in kleinen Maßstäben produzieren. Sie nutzen verschiedene Brennstoffe wie Erdgas, Flüssiggas, Biomasse oder Biogas, um sowohl elektrische als auch thermische Energie zu erzeugen.</p> <p>Für die Objektversorgung sind v. a. Mini-, Mikro- und Nano-KWK Anlagen von Relevanz. Hierzu zählen insbesondere motorische Blockheizkraftwerke mit Verbrennungs- oder Stirlingmotoren. Auch Brennstoffzellen zählen zu den KWK-Anlagen und kommen vorrangig im Wohngebäudebereich zum Einsatz.</p> <p>Herkömmliche Brennstoffzellen wandeln zunächst in einem Reformer Erdgas in Wasserstoff um. Dieser reagiert anschließend mit zugeführtem Sauerstoff aus der Luft in einer umgekehrten Elektrolyse zu Wasser. Es findet eine elektrochemische Reaktion statt, bei der Wärme und Strom entstehen. Dieser Prozess wird auch "kalte Verbrennung" genannt.</p> <p>Es wird zwischen einer strom- (Betriebsweise auf den Strompreis ausgerichtet) und wärmegeführten (Betriebsweise auf Wärmebedarf ausgerichtet) Auslegung der KWK-Anlage unterschieden, je nachdem welche Betriebsweise priorisiert wird. In der Objektversorgung werden KWK-Anlagen meist wärmegeführt betrieben.</p>	<b>Leistungsbereich</b> Nano-KWK: bis 2,5-3 kW <sub>el</sub> Mikro-KWK: bis 10-15 kW <sub>el</sub> Mini-KWK: bis 50 kW <sub>el</sub>	
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Keine Einschränkungen
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	Verbrennungsmotor: $\eta_{el}$ : 25-45 %; $\eta_{Ges}$ : bis 100 % Stirlingmotor: $\eta_{el}$ : 15-25 %; $\eta_{Ges}$ : bis 95 % Brennstoffzelle: $\eta_{el}$ : 34-60 %; $\eta_{Ges}$ : bis 90 %
	<b>Nutzungsdauer</b>	15-20 Jahre; < 60.000 Vollbenutzungsstunden
	<b>Investitionskosten</b>	Erdgas-BHKW (Biogas: +15 %): 2462-7681 €/kWh <sub>th</sub> (2-20 kW <sub>th</sub> ) 2025-2210 €/kWh <sub>th</sub> (50-100 kW <sub>th</sub> )
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	8 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Abhängig von eingesetztem Brennstoff
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung von 65 % erneuerbaren Energien (z. B. Biomasse, Biomethan, grüner oder blauer Wasserstoff), um Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes zu erfüllen; Ganzjährig hoher Bedarf an Strom und Wärme in zu versorgenden Gebäuden (u. a. durch zentrale Warmwasserbereitung)</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Gesamteffizienz durch die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme</li> <li>Reduzierung der Abhängigkeit von zentralen Strom- und Wärmeversorgungssystemen</li> <li>Mögliche Einspeisung überschüssigen Stroms ins Netz und Vergütung durch Einspeisetarife</li> <li>Förderung der Eigenversorgung und potenzielle Einsparungen bei Energiekosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Anschaffungskosten im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen</li> <li>Abhängigkeit von Preisen und Verfügbarkeiten erneuerbarer Energieträger</li> <li>Nutzungskonkurrenz insbesondere um klimaneutral erzeugten Wasserstoff mit anderen Sektoren</li> <li>Wirtschaftlicher Betrieb ist von Stromerzeugung abhängig → Hohe Laufzeiten und damit ein hoher sowie kontinuierlicher Wärmebedarf notwendig</li> <li>Hohe notwendige Laufzeiten werden oft nur im Grundlastbereich erreicht → oftmals zusätzlicher Wärmeerzeuger für Spitzen erforderlich</li> </ul>	

## Einsatzgebiet

- Verschieden große mittelalte und alte Mehrfamilienhäuser, Nicht-Wohngebäude (Krankenhäuser, Hotels, Schwimmbäder) und Gewerbegebäude mit Ganztagsnutzung, großen Wärmebedarfen und hohen Vollbenutzungsstunden
- Brennstoffzellenheizungen aufgrund des höheren elektrischen Wirkungsgrads grundsätzlich auf für EFH und neue/sanierte Gebäude wirtschaftlich sinnvoll (bei Sicherstellung von 65 % EE-Anteil) → Aber: Keine Standardlösung

## Stromdirektheizung

Kurzbeschreibung	Kenndaten (für fest eingebautes Direktheizgerät)	
<p>Stromdirektheizungen erzeugen dezentral Wärme durch die Ausnutzung des elektrischen Widerstands im Gerät. Um Strom in Wärme umzuwandeln, bedient man sich im einfachsten Fall eines widerstandsbehafteten Leiters, den man deshalb auch Heizleiter oder Heizwiderstand nennt. Dabei erwärmt sich der Leiter durch eine Art Reibung bei Anlegen einer Stromquelle. Die so erzeugte Wärme wird dann an ein Wärmeträgermedium wie einen festen Körper, Wasser oder Luft abgegeben. Stromdirektheizungen können sowohl fest integriert als auch portabel aufgestellt werden.</p> <p>Zu den Stromdirektheizungen zählen unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrarotheizungen</li> <li>• Elektroheizkörper</li> <li>• Heizlüfter</li> <li>• Elektrische Flächenheizungen</li> <li>• Elektroboiler und Durchlauferhitzer</li> </ul> <p>Stromdirektheizungen für Raumwärme werden üblicherweise mit einer dezentralen elektrischen Trinkwarmwasserbereitung kombiniert.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Variierung je nach Heizsystem; bis 7 kW (Raumwärme)
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Variierung je nach Heizsystem, i. d. R. direkte Wärmeübergabe an die Raumluft
	<b>Effizienz</b>	Nahezu 100 %
	<b>Nutzungsdauer</b>	22 Jahre; 25-30 Jahre (Raumwärme)
	<b>Investitionskosten</b>	342 €/kW <sub>th</sub> – 575 €/kW <sub>th</sub> (2-7 kW, Raumwärme)
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	1 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Strompreisabhängig
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guter baulicher Wärmeschutz: Neubauten müssen die Anforderung an den baulichen Wärmeschutz gem. §§ 16 und 19 GEG um mindestens 45 % unterschreiten, Bestandsgebäude um 30 % bzw. bei vorhandenen wassergeführten Heizungssystemen ebenfalls um 45 %</li> <li>• Vorhandensein einer ausreichenden elektrischen Anschlussleistung</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfacher Einbau und geringer Platzbedarf</li> <li>• Möglichkeit zu flexiblem Einsatz</li> <li>• Niedrige Investitionskosten</li> <li>• Geringer Wartungsaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Strombedarf, insbesondere im Winter</li> <li>• Hohe Betriebskosten und Abhängigkeit von der Strompreisentwicklung</li> <li>• Schlechte Effizienz im Vergleich zu Elektro-Wärmepumpen</li> <li>• I. d. R. keine kombinierte Raumwärme- und Warmwasserbereitung</li> <li>• Nicht förderfähig (BEG)</li> </ul>	
<b>Einsatzgebiet</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Als Primäres Heizsysteme nur in sehr gut gedämmten Ein- und Zweifamilienhäusern, idealerweise mit Möglichkeit zur Eigenstromnutzung</li> <li>• Ergänzung anderer Heizsysteme als Zusatzwärmeerzeuger (z. B. Heizstab) bzw. Einsatz zur Beheizung einzelner, sporadisch genutzter Gebäudeteile oder zur dezentralen Erzeugung von Warmwasser</li> </ul>		

## Elektrospeicherheizung

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Bei elektrischen Speicherheizungen wird eine thermische Speichermasse durch die Ausnutzung eines elektrischen Widerstands erwärmt, die die Wärme zeitversetzt an den Raum abgibt. Dazu gehören Nachtspeicherheizungen mit Gebläse und Flächenspeicherheizungen.</p> <p>Nachtspeicherheizungen nutzen Zeiten günstiger Stromtarife (Nachtstarif) für die Aufheizung. Der Speicherkern kann Temperaturen von bis zu 650 °C erreichen. Die Wärme wird stetig durch Wärmestrahlung und Konvektion in den Raum abgegeben, wobei die Wärmeabgabe durch ein Gebläse beschleunigt werden kann, um die gewünschte, höhere Temperatur schneller oder überhaupt zu erreichen.</p> <p>Elektrospeicherheizungen eignen sich nur zur Bereitstellung von Raumwärme und werden üblicherweise mit einer dezentralen elektrischen Trinkwarmwasserbereitung kombiniert.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Variierung je nach Heizsystem; bis 7 kW
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Variierung je nach Heizsystem, i. d. R. direkte Wärmeübergabe an die Raumluft
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	Nahezu 100 %
	<b>Nutzungsdauer</b>	22 Jahre
	<b>Investitionskosten</b>	Keine Daten, ähnlich zu Stromdirektheizungen
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	2,5 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Strompreisabhängig
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guter baulicher Wärmeschutz: Neubauten müssen die Anforderung an den baulichen Wärmeschutz gem. §§ 16 und 19 GEG um mindestens 45 % unterschreiten, Bestandsgebäude um 30 % bzw. bei vorhandenen wassergeführten Heizungssystemen ebenfalls um 45 %</li> <li>• Vorhandensein einer ausreichenden elektrischen Anschlussleistung</li> <li>• Günstiger Nachtstromtarif</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von günstigeren Stromtarifen zur Senkung der Betriebskosten</li> <li>• Einfacher Einbau und geringer Platzbedarf</li> <li>• Niedrige Investitionskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmeverluste bei der Speicherung können Effizienz senken</li> <li>• Begrenzte Flexibilität bei Änderungen im Wärmebedarf</li> <li>• Hoher Strombedarf, insbesondere im Winter</li> <li>• Hohe Betriebskosten und Abhängigkeit von der Strompreisentwicklung</li> <li>• Schlechte Effizienz im Vergleich zu Elektro-Wärmepumpen</li> <li>• I. d. R. keine kombinierte Raumwärme- und Warmwasser-Bereitung</li> <li>• Nicht förderfähig (BEG)</li> </ul>	
<b>Einsatzgebiet</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In sehr gut gedämmten Ein- und Zweifamilienhäusern bei vorhandenem Nachtstromtarif, idealerweise mit Möglichkeit zur Eigenstromnutzung</li> </ul>		

## Heizungsanlage zur Nutzung fester Biomasse

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Im Bereich der Gebäudewärme wird Biomasse insbesondere in Form von Holz (Pellets, Scheitholz, Holzhackschnitzel) eingesetzt. Der Einsatz erfolgt in modernen Heizkesseln (v. a. Zentralheizungen, z. T. auch Einzelraumöfen z. B. mit Wasserwärmeübertrager) und (oftmals ineffizienten) Kaminöfen. Letztere fungieren in der Regel als sekundäres Heizsystem.</p> <p>Mit der Verbrennung von fester Biomasse lassen sich hohe Temperaturen erreichen, was ihren Einsatz neben unsanierten Gebäuden auch für die Erzeugung von Prozesswärme interessant macht. Biomasse ist (in unterschiedlichem Maße) speicherbar, die Erzeugung von Wärme damit brennstoffseitig zeitlich steuerbar.</p> <p>Pellet- und Holzhackschnitzelanlagen verfügen in der Regel über eine vollautomatische Beschickung und bieten damit ähnlichen Komfort wie andere Zentralheizungen. Neben dem Kessel wird dafür ein ausreichend großes Brennstofflager und die Beschickungsanlage benötigt. Hackschnitzelanlagen werden verglichen mit Pelletheizungen insbesondere bei höheren Wärmebedarfen eingesetzt.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Dezentral bis ca. 250 kW, auch größerdimensional in zentralen Anlagen
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Bis zu 500 °C (Holz)
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	70 % (Kaminöfen) – 95 % (Pellet-/Hackschnitzelkessel)
	<b>Nutzungsdauer</b>	15 Jahre (VDI); 20 Jahre (KEA)
	<b>Investitionskosten</b>	744 €/kW <sub>th</sub> – 1388 €/kW <sub>th</sub> (10-20 kW) 304 €/kW <sub>th</sub> – 533 €/kW <sub>th</sub> (61-110 kW) + Kosten Lager & Beschickung
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	6 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Abhängig von regionalen Unterschieden sowie der Liefermenge
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung eines automatisch beschickten Biomasseofens mit Wasser als Wärmeträger oder eines Biomassekessels</li> <li>• Regionaler Zugang zu ausreichend nachhaltiger Biomasse</li> <li>• Platz für Lagerung und Anlieferung</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmeerzeugung auf hohem Temperaturniveau möglich</li> <li>• Wegen Lager-/Speicherfähigkeit steuerbare erneuerbare Energie</li> <li>• Nutzung erneuerbarer Ressourcen mit etablierter Technologie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der Verbrennung von Holz können gesundheitsschädliche Stoffe entstehen</li> <li>• Begrenzte Verfügbarkeit regionaler Biomasse aus nachhaltiger Land- und Forstwirtschaft</li> <li>• Aufwändige Anfahr- und Lagerlogistik</li> <li>• Hohe Investitions- und Wartungskosten</li> </ul>	
<b>Einsatzgebiet</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit bleibt der zukünftige Biomasseeinsatz in zahlreichen Zielszenarien zur Dekarbonisierung des Wärmesektors für die dezentrale Erzeugung von Niedertemperaturwärme für Gebäude sowie in der Fernwärmeerzeugung weitgehend konstant, da dieser in anderen Sektoren dringender benötigt wird</li> <li>• Von der energetischen Holznutzung ist aus Klimaschutzgründen abzuraten, insbesondere wenn brennstofffreie Alternativen zur Raumwärmebereitstellung (z. B. Wärmepumpen) zur Verfügung stehen</li> <li>• Einsatz insbesondere in schwer sanierbaren Gebäuden (v. a. Denkmalschutz, schützenswerte Fassaden) und Gebäuden mit hohen Systemtemperaturen (≥ 70 °C) ohne Anbindungsmöglichkeit an ein Wärmenetz sinnvoll</li> </ul>		

## Heizungsanlage zur Nutzung grüner Gase, Öle und Wasserstoff

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Neben dem lokalen Einsatz erneuerbarer Energien und der direkten Nutzung von erneuerbar erzeugtem Strom zur Bereitstellung von Wärme werden auch emissionsarme Gase eine Rolle bei der klimaneutralen Entwicklung im Wärmesektor spielen. Generell kommen hierfür Biogas, biogenes Flüssiggas sowie (grüner und blauer) Wasserstoff und auf Wasserstoff basierende synthetische Energieträger in Betracht. Für die Nutzung dieser Energieträger werden (Gas-) Brennwertkessel bzw. -thermen eingesetzt, welche entweder an das öffentliche Netz oder einen entsprechenden Tank angeschlossen sind. Der Betrieb von Brennwertkesseln mit Wasserstoff verändert die Anforderungen an die Technik, da das Gas reaktiver ist und einen anderen Brennwert hat</p> <p>Der Betreiber einer mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten Heizungsanlage hat gemäß GEG sicherzustellen, dass mindestens 65 Prozent der mit der Anlage bereitgestellten Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate erzeugt wird. Ab 2045 muss dieser Anteil 100 % betragen. Mit deren Verbrennung lassen sich hohe Temperaturen erreichen, was ihren Einsatz neben unsanierten Gebäuden auch für die Erzeugung von Prozesswärme interessant macht.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Nahezu in für alle Leistungen verfügbar, sowohl dezentral als auch zentral
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Keine Einschränkungen
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	Bis zu 100 % (Bei Brennwertnutzung > 100 %)
	<b>Nutzungsdauer</b>	18-20 Jahre
	<b>Investitionskosten</b>	260 €/kW <sub>th</sub> – 520 €/kW <sub>th</sub> (10-20 kW) 125 €/kW <sub>th</sub> – 130 €/kW <sub>th</sub> (61-600 kW) + Kosten für Peripherie (z. B. Tank)
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	2,5-3 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Höhere Kosten aufgrund (begrenzter) Verfügbarkeiten
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichender Zugang zu benötigter Infrastruktur sowie zur ausreichenden und zugleich wirtschaftlichen Bereitstellung der benötigten Energieträger (z. B. Nähe zu Wasserstoffkernnetz oder Biogas-Erzeugern)</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohes Temperaturniveau bei Verbrennungsprozess erreichbar</li> <li>• Nutzung erneuerbarer Ressourcen mit verlässlicher und etablierter Technologie</li> <li>• Geringe Investitionskosten und geringer Platzbedarf für kombinierte Raum- und Trinkwarmwasserbereitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Energieträgerkosten</li> <li>• Hohe Strombedarfe zur Wasserstofferzeugung verringern die Effizienz</li> <li>• Begrenzte allgemeine sowie regionale Verfügbarkeit und Infrastruktur</li> <li>• Nutzungskonkurrenz insbesondere um klimaneutral erzeugten Wasserstoff mit anderen Sektoren</li> <li>• Nicht förderfähig bzw. nur Investitionsmehrkosten für H<sub>2</sub>-Readiness förderfähig (BEG)</li> </ul>	

## Einsatzgebiet

- Die Strategie der Bundesregierung sieht aufgrund der begrenzten Verfügbarkeiten weiterhin eine vorrangige Verwendung wasserstoffbasierter Produkte in den Anwendungen vor, deren Energiebedarf nicht direkt mit Strom gedeckt werden kann, insbesondere bei den Grundstoffen für die Industrie, im Luft- und Seeverkehr und im Schwerlastverkehr an Land. Ein breiter Einsatz von Wasserstoff in der Wärmeversorgung ist demnach nicht vorgesehen
- Einsatz in Gebäuden, welche nicht für andere Heizungstechnologien geeignet sind oder besonders hohe Systemtemperaturen erfordern

## Wärmepumpen-Hybridheizung

Kurzbeschreibung	Kenndaten		
<p>Wärmepumpen-Hybridheizungen kombinieren eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe mit einer Gas-, Bio- oder Flüssiggasbrennstoffheizung, welche über eine gemeinsame Steuerung miteinander verbunden sind. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die Kombination aus einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und einem Gas-Brennwertkessel und damit um eine Kombination aus erneuerbaren Energien und fossilen Energieträgern.</p> <p>Über den sekundären Wärmeerzeuger werden Bedarfsspitzen, z. B. bei niedrigen Außentemperaturen, oder die Trinkwarmwasser-Bereitung gedeckt.</p> <p>Im Folgenden wird eine Wärmepumpen-Hybridheizung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und einem auf fossilen Brennstoffen basierenden sekundären Wärmeerzeuger angenommen. Bei der Kombination einer Wärmepumpe mit einem weiteren Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien (gemäß GEG) sind keine weiteren Vorgaben zu beachten.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Durch sekundären Wärmeerzeuger i. d. R. keine Einschränkungen	
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Durch sekundären Wärmeerzeuger i. d. R. keine Einschränkungen	
	<b>Effizienz (JAZ)</b>	3,1-3,4 (Außenluft) + Effizienz des sekundären Wärmeerzeugers	
	<b>Nutzungsdauer</b>	18-20 Jahre	
	<b>Investitionskosten</b>	1356 €/kW <sub>th</sub> – 1616 €/kW <sub>th</sub> (6-14 kW) 885 €/kW <sub>th</sub> – 1000 €/kW <sub>th</sub> (61-110 kW) + Kosten sekundärer Wärmeerzeuger	
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	2,5 %/p.a. der Investitionskosten + entsprechender Anteil des sekundären Wärmeerzeugers	
	<b>Energiekosten</b>	Strompreisabhängig + Kosten sekundärer Wärmeerzeuger	
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betrieb der Hybridheizung erfolgt bivalent parallel, bivalent teilparallel oder bivalent alternativ mit Vorrang für die Wärmepumpe</li> <li>• Gemeinsame, fernansprechbare Steuerung der Wärmepumpen-Hybridheizung</li> <li>• Auslegung der thermischen Leistung der Wärmepumpe bei bivalent parallelem oder teilparallelem Betrieb auf mindestens 30 Prozent und bei bivalent alternativem Betrieb mindestens 40 Prozent der Gebäudeheizlast → Sicherstellung eines Deckungsanteils der Wärmepumpe von mindestens 65 %</li> </ul>			
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitliche Entkopplung von Heizungswechsel und energetischer Sanierung möglich (Auslegung der Wärmepumpe auf die nach der Sanierung zu deckende Heizlast)</li> <li>• Hohe Energieeffizienz und geringe Betriebskosten durch anteilige Nutzung „kostenloser“ Umweltwärme</li> <li>• Höhere Flexibilität und großes Anwendungsspektrum durch Kombination zweier verschiedener Wärmeerzeuger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur „erneuerbarer Anteil“ förderfähig (BEG)</li> <li>• Komplexere Installation und Bedienung im Vergleich zu einzelnen Heizsystemen</li> <li>• Anteilige Nutzung fossiler Energieträger</li> <li>• Effizienz schwankt im jahreszeitlichen Verlauf und sinkt bei schlechterem energetischen Gebäudezustand und höherer benötigter Vorlauftemperatur</li> <li>• Abschaltung des fossilen Wärmeerzeuger bis spätestens 2045 oder Substitution durch erneuerbare Brennstoffe notwendig</li> </ul>		

## Einsatzgebiet

- Nicht (ausreichend) gedämmte bzw. sanierte Ein- und Mehrfamilienhäuser, in denen eine alleinige Versorgung durch eine Wärmepumpe noch nicht möglich ist → Nach erfolgter Sanierung kann der (fossile) Spitzenlastzeuger abgeschaltet werden

## Solarthermie(-Hybridheizung)

Kurzbeschreibung	Kenndaten	
<p>Solarthermie-Anlagen wandeln Sonnenstrahlung in Wärme um und können zur Trinkwarmwassererwärmung oder zusätzlich zur Heizungsunterstützung verwendet werden. Nur in sehr seltenen Fällen kann über Solarthermie die gesamte Wärmeversorgung eines Gebäudes gedeckt werden.</p> <p>Eine Solarthermie-Hybridheizung, bestehend aus einer solarthermischen Anlage in Kombination mit einem weiteren Wärmeerzeuger, kann zur vollständigen Deckung des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser eingesetzt werden.</p> <p>Bei den Kollektoren wird im Allgemeinen zwischen zwei Systemen, den Flachkollektoren und den Vakuumröhrenkollektoren, unterschieden. Röhrenkollektoren weisen dabei in der Regel einen höheren Ertrag auf und sind mit höheren Investitionskosten verbunden. Sie eignen sich daher vor allem für kleinere Dachflächen.</p> <p>Bei der Kombination einer Solarthermie-Anlage mit einem weiteren Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien (gemäß GEG) sind keine weiteren Vorgaben zu beachten.</p>	<b>Leistungsbereich</b>	Abhängig von sekundärem Wärmeerzeuger und verfügbarer Fläche
	<b>Mögliche Vorlauftemperatur</b>	Solarthermie: Bis zu 120 °C Gesamt: Abhängig von sekundärem Wärmeerzeuger
	<b>Effizienz</b>	Jahresertrag Solarthermie: 400 – 750 kWh/m <sup>2</sup> ; Gesamteffizienz abhängig von sekundärem Wärmeerzeuger
	<b>Nutzungsdauer</b>	18-20 Jahre
	<b>Investitionskosten</b>	757 €/kW <sub>th</sub> – 1100 €/kW <sub>th</sub> (4 kW) 487 €/kW <sub>th</sub> – 801 €/kW <sub>th</sub> (140 kW) + Kosten sekundärer Wärmeerzeuger
	<b>Wartung und Instandsetzung</b>	1,5 %/p.a. der Investitionskosten
	<b>Energiekosten</b>	Keine direkten Kosten für Solarthermie + Kosten sekundärer Wärmeerzeuger
<b>Voraussetzungen für die Eignung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignetes Dach oder freie Fläche für Installation der Solarthermie-Kollektoren</li> <li>• Bei Berücksichtigung der im GEG geforderten Aperturflächen der solarthermischen Anlage muss der sekundäre Wärmeerzeuger (Gas-, Biomasse- oder Flüssigbrennstofffeuerung) gemäß GEG einen Anteil von mindestens 60 Prozent seiner bereitgestellten Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate erzeugen, um insgesamt einen durch erneuerbare Energien erzeugten Wärmeanteil von mindestens 65 % sicherzustellen</li> </ul>		
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Betriebskosten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Nutzung der Solarenergie</li> <li>• Ausgereifte und erprobte Technik</li> <li>• Im Sommer bis zu 100 % Deckungsanteil durch Solarthermie möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungskonkurrenz um Dachflächen mit PV-Anlagen</li> <li>• Fluktuierende und nur geringfügig regelbare Verfügbarkeit der Solarthermie, schwerpunktmäßig mittags in den Sommermonaten (gegenläufig zu Wärmebedarf)</li> <li>• Spätestens 2045 muss der sekundäre Wärmeerzeuger die gesamte bereitgestellte Wärme aus erneuerbaren Energien erzeugen</li> </ul>	
<b>Einsatzgebiet</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typische Einsatzgebiet für Solarthermieanlagen sind Ein- und Zweifamilienhäuser im Neubau und Bestand zur Heizungsunterstützung sowie Trinkwarmwassererwärmung. Der Einsatz ist aber auch für Mehrfamilienhäuser mit entsprechender Dachfläche und Nichtwohngebäude mit entsprechender Warmwassernachfrage geeignet</li> </ul>		

