

Gutachten

---

# Perspektive der Fernwärme

---

Aktualisierung des Gutachtens „Perspektive der Fernwärme - Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik“ aus dem Jahr 2020

Im Auftrag des  
AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. und  
Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU)



## Impressum

### **Autoren**

Nils Thamling, Nora Langreder, Frederik Lettow, Marco Wunsch (Prognos AG)

### **Im Auftrag des**

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. und  
Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU)

### **Abschlussdatum**

Juni 2024

### **Titelfotos**

©AdobeStock-fovito

©SWM

©iStock-senorcampesino

©AdobeStock-visivasnc

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
<b>2 Methodische Vorbemerkungen</b>	<b>5</b>
2.1 Rahmenbedingungen für die Fernwärme	5
2.2 Methodisches Vorgehen	6
2.3 Rahmendaten	8
2.4 Technologiedaten	8
<b>3 Zielbild für den Wärmemarkt</b>	<b>9</b>
3.1 Vorüberlegung	9
3.2 Entwicklung des Wärmemarktes bis 2045	9
3.3 Annahmen zum Ausbaupfad der Fernwärme bis 2045	11
3.4 Entwicklung der Energieträgerstruktur bis 2045	15
<b>4 Investitionen und Förderbedarf</b>	<b>22</b>
<b>5 Vergleiche mit dem Vorgängergutachten</b>	<b>24</b>
<b>6 Fazit</b>	<b>28</b>
<b>7 Anhang 1 – Technologiedaten</b>	<b>29</b>
<b>8 Anhang 2 – ausgewählte Ergebnistabellen</b>	<b>38</b>
<b>Literatur</b>	<b>41</b>

---

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1:	Jährliche Investitionen und jährlicher Fördermittelbedarf bis 2045 in Mrd. Euro/a	3
Tabelle 2:	Seit Veröffentlichung des ersten Gutachtens in 2020 veränderte Rahmenbedingungen und politische Zielsetzungen mit direktem Bezug zur Fernwärme	6
Tabelle 3:	Verwendete Energie- und CO <sub>2</sub> -Preise	8
Tabelle 4:	Anzahl, Einwohner je Stadt und Einwohner gesamt in Landgemeinden, Kleinstädten, Mittelstädten und Großstädten	10
Tabelle 5:	Annahmen zum Ausbau der Fernwärme in den Stadttypen	12
Tabelle 6:	An Fernwärmenetze angeschlossene Gebäude und Wohnungen in den Jahren 2020, 2030 und 2045	12
Tabelle 7:	Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2030	17
Tabelle 8:	Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2045	18
Tabelle 9:	jährliche Investitionen und jährlicher Fördermittelbedarf bis 2045 in Mrd. Euro/a	23
Tabelle 10:	Zielbild der Fernwärme im Vergleich zum Gutachten aus dem Jahr 2020	25
Tabelle 11:	Vergleich der Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2030	26
Tabelle 12:	Investitions- und Förderbedarf im Vergleich zum Gutachten aus dem Jahr 2020 in Mrd. Euro	27
Tabelle 13:	Datenblatt Großwärmepumpen Abwasser (zentral nach Klärwerk)	29
Tabelle 14:	Datenblatt Großwärmepumpen Oberflächenwasser (See, Fluss, Meer)	30
Tabelle 15:	Datenblatt Großwärmepumpen Niedertemperatur-Geothermie (800 bis 2.000 m)	30

Tabelle 16:	Datenblatt Großwärmepumpen Umgebungsluft	30
Tabelle 17:	Datenblatt Solarthermie (Flachkollektoren)	31
Tabelle 18:	Datenblatt Solarthermie (Vakuumröhrenkollektoren)	32
Tabelle 19:	Datenblatt feste Biomasse (Holzhackschnitzel)	32
Tabelle 20:	Datenblatt industrielle Abwärme	33
Tabelle 21:	Datenblatt tiefe Geothermie	34
Tabelle 22:	Datenblatt Elektrodenkessel	35
Tabelle 23:	Kosten der Anbindungsleitung	36
Tabelle 24:	Kosten von Wärmespeichern	36
Tabelle 25:	Datenblatt Blockheizkraftwerk Wasserstoff	37
Tabelle 26:	Objektversorgung	37
Tabelle 27:	Menge der Fernwärmerzeugung aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh	38
Tabelle 28:	Installierte thermische Leistungen zur Fernwärmerzeugung aus Abwärme und erneuerbaren Energien in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in GW	39
Tabelle 29:	Kenndaten und Investitionen der Typ-Netze für das Jahr 2030 im Überblick	39
Tabelle 30:	Kenndaten und Investitionen der Typ-Netze für das Jahr 2045 im Überblick	40

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1:	Menge und Struktur der Fernwärmeerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh	2
Abbildung 2:	Übersicht zum methodischen Vorgehen	7
Abbildung 3:	Durchschnittlicher Endenergieverbrauch für Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung und Prozessenergie in der Industrie nach Stadttypen	11
Abbildung 4:	Durchschnittlicher Fernwärmeverbrauch je Stadttyp mit Fernwärme in den Jahren 2020, 2030, 2045 in GWh/a	13
Abbildung 5:	Gesamter Fernwärmeverbrauch nach Gebäuden und Industrie sowie nach Stadttyp in den Jahren 2020, 2030, 2045 in TWh/a	14
Abbildung 6:	Durchschnittliche Trassenkilometer je Stadttyp und gesamt nach Stadttypen	15
Abbildung 7:	Menge und Struktur der Fernwärmeerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh	19
Abbildung 8:	Installierte thermische Leistung zur Fernwärmeerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in GW	20
Abbildung 9:	Struktur der Fernwärmeerzeugung in Klein-, Mittel- und Großstädten in den Jahren 2030 und 2045	21
Abbildung 10:	Gesamtinvestitionen und Fördermittelbedarf im Zeitraum 2020 bis 2045 in Mrd. Euro	23

## Zusammenfassung

---

Die Fernwärme ist einer der zentralen Schlüssel zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestandes und für die urbane Wärmewende. Dies zeigen unter anderem die "Big 5" Energiesystemstudien aus dem Jahr 2021 und nachfolgende Gutachten wie die aktuellen Langfristszenarien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK 2024) eindrücklich. Allen Gutachten gemein ist, dass der Fernwärme neben einer erhöhten Energieeffizienz und dem Einsatz von erneuerbaren Energien in der Objektversorgung eine Schlüsselrolle zukommt. Dies beinhaltet einen deutlichen Ausbau der Fernwärmenutzung im Gebäudesektor und die gleichzeitige Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung. Hierfür sind umfangreiche Investitionen in technische Maßnahmen notwendig, deren Umsetzung entschlossene politische Weichenstellungen benötigt.

Bereits im Jahr 2020 wurde das Gutachten „Perspektive der Fernwärme - Maßnahmenprogramm 2030: Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik“ veröffentlicht. Mit dem Gutachten wurde gezeigt, wie hoch das Potenzial der Fernwärme im Wärmemarkt ist und mit welchen Optionen Fernwärme zukünftig klimaneutral produziert werden kann. Neben den bis zum Jahr 2030 notwendigen Investitionen und dem möglichen Förderbedarf wurden regulatorische Rahmenbedingungen skizziert, die diesen Prozess unterstützen.

In den etwas mehr als drei Jahren nach Veröffentlichung dieses Gutachtens im November 2020 sind viele, teils einschneidende, politische und gesellschaftliche Veränderungen geschehen. Diese haben unter anderem starke Veränderungen für Energie- und Klimaschutzpolitik mit sich gebracht. Um die Effekte dieser umfangreichen Veränderungen abbilden zu können, haben AGFW und VKU die Prognos AG mit einer Aktualisierung und Erweiterung des Gutachtens aus dem Jahr 2020 beauftragt. Die Zielsetzungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Aktualisierung des Zielbildes für die Fernwärme an den aktuellen Stand der Wissenschaft und an aktuelle Rahmenbedingungen.
- Aktualisierung der notwendigen Investitionen und des Förderbedarfs bis zum Jahr 2030.
- Erstmalige Berechnung der notwendigen Investitionen und des Förderbedarfs bis zum Jahr 2045.

Die Berechnungen dieses Gutachtens quantifizieren folglich den Investitionsbedarf in den Ausbau der Fernwärmenetze und in die Anlagen zu Nutzung erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme in der Fernwärme und liefern eine Abschätzung des Fördermittelbedarfs bis zum Jahr 2045. Für das Jahr 2030 werden Zwischenwerte ausgewiesen, da viele klimapolitische Zielsetzungen auf dieses Jahr fokussieren.

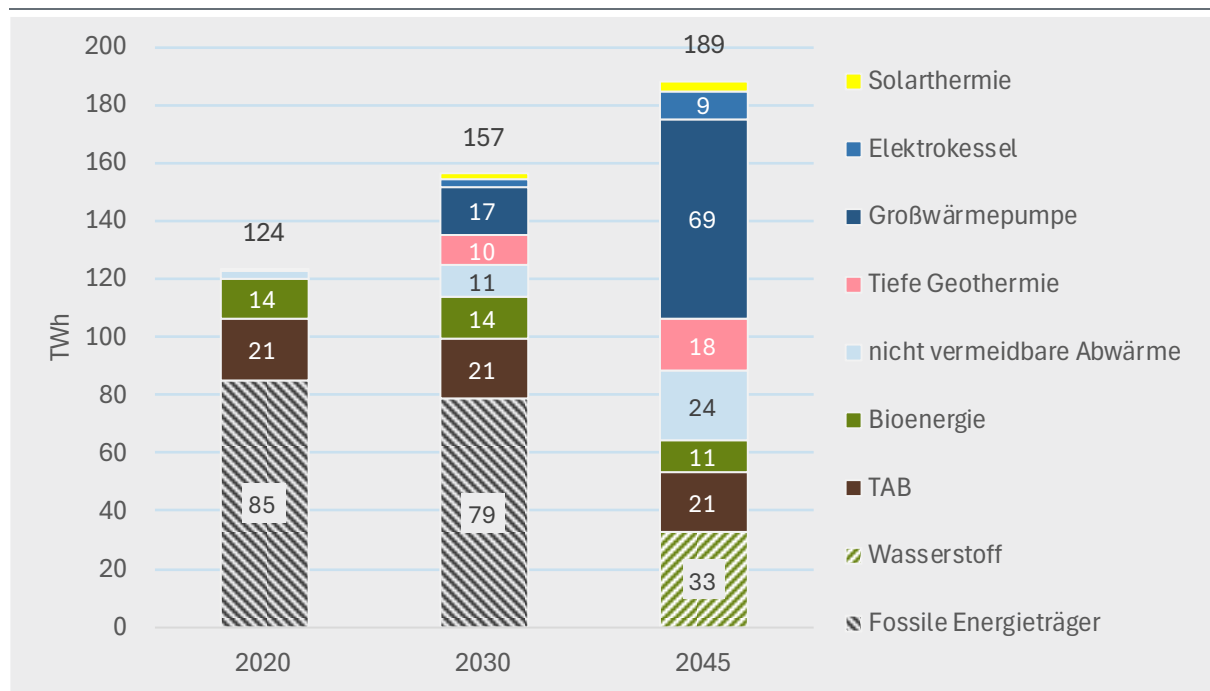
Die Zahl der an die Fernwärme angeschlossenen Wohngebäude steigt von aktuell etwa 1,3 Mio. um 177% auf 3,6 Mio. Wohngebäude im Jahr 2045 an. Dies ist gleichbedeutend mit etwa 14 Mio. Wohneinheiten, die im Jahr 2045 mit Fernwärme versorgt werden und entspricht dem in der Erklärung zum Fernwärmegipfel vom 12. Juni 2023 angestrebten Zielwert. Die Nachfrage nach Fernwärme steigt hierdurch von aktuell knapp 110 TWh um gut 51% auf 166 TWh im Jahr 2045 an. Da im Szenario die energetische Sanierung großer Teile des Gebäudebestandes unterstellt wird, steigt die Fernwärmefachfrage nicht im selben Maße wie die Zahl der angeschlossenen Gebäude.



Für die Bereitstellung von Fernwärme aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme steht ein breiter Technologie-Mix zur Verfügung. Das Potenzial der einzelnen Technologien kann sich von Stadt zu Stadt stark unterscheiden. Dies gilt besonders für unvermeidbare Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen, thermischer Abfallbehandlung, Geothermie und Freiflächen-Solarthermie. Daher wird auch künftig eine große Bandbreite an Erzeugungstechnologien in den Fernwärmenetzen mit entsprechend unterschiedlichen Wärmegestehungskosten zu finden sein.

Im entwickelten Szenario werden Großwärmepumpen bis zum Jahr 2045 zum wichtigsten Wärmeerzeuger in Wärmenetzen. Sie decken 69 TWh Wärmeerzeugung ab (Abbildung 1). Danach folgen Wasserstoff mit 33 TWh und unvermeidbare Abwärme aus industriellen und gewerblichen Quellen mit 24 TWh. Auch die Geothermie verzeichnet nach 2030 ein weiteres Wachstum und trägt in 2045 mit 18 TWh zur Fernwärmeerzeugung bei. Die Wärmeauskopplung aus der thermischen Abfallbehandlung bleibt mit ca. 21 TWh auf einem konstanten Niveau.

**Abbildung 1: Menge und Struktur der Fernwärmeerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh**



Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Bis zum Jahr 2030 sind für den angestrebten Ausbau der Fernwärmenetze, der Wärmespeicher und neuen Erzeugungsanlagen Investitionen von 43,5 Mrd. Euro bzw. jährlich etwa 6,2 Mrd. Euro notwendig (Tabelle 1). Knapp 60 % der Investitionen entfallen auf den Ausbau bzw. die Erweiterung von Wärmenetzen. Die restlichen 40 % sind Investitionen in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Wärme und der Nutzbarmachung von unvermeidbarer Abwärme sowie deren Einbindung in die Wärmenetze. Bis zum Jahr 2045 sind weitere Investitionen in Höhe von gut 74 Mrd. Euro notwendig. Dies entspricht etwa 5 Mrd. Euro jährlich. Der jährliche Bedarf an Investitionskostenzuschüssen und Betriebskostenförderungen liegt bei rund 3,4 Mrd. Euro bis 2030. Nach 2030 steigt der Bedarf geringfügig auf 3,5 Mrd. Euro jährlich.



**Tabelle 1: Jährliche Investitionen und jährlicher Fördermittelbedarf bis 2045 in Mrd. Euro/a**

jährliche Werte in Mrd. Euro	Investitionen		Förderbedarf	
	2020-2030	2030-2045	2020-2030	2030-2045
EE-Anlagen und Abwärme	2,0	2,1	0,8	0,7
Wärmespeicher	0,3	0,2	0,1	0,1
Anschlussleitungen	0,3	0,3	0,1	0,1
Netzausbau/Erweiterung	3,6	2,3	1,4	0,9
Betriebsbeihilfe Erzeugung	0,0	0,0	0,9	1,7
<b>Summe</b>	<b>6,2</b>	<b>5,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Im Vergleich zum vorhergehenden Gutachten aus dem Jahr 2020 mussten der Fernwärmeverbrauch und damit auch der entsprechende Ausbaubedarf an erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme für die Jahre 2030 und 2045 etwas nach unten korrigiert werden. Maßgeblich hierfür ist, dass der Ausbau der Fernwärme in den vergangenen Jahren noch nicht die notwendige Dynamik erreichen konnte, um das vormals angestrebte Ambitionsniveau zu erreichen. Diese verlorenen Jahre wirken sich stärker auf den Fernwärmeverbrauch und Zubau erneuerbarer Energie aus als andere Faktoren, wie bspw. der ambitionierte Anschluss von 100.000 Gebäuden jährlich oder der ambitioniertere Anteil erneuerbarer Energie und Abwärme bis 2030.

Der Investitions- und Fördermittelbedarf hat sich im Vergleich zum letzten Gutachten erhöht. Die wesentliche Ursache liegt in den starken Kostensteigerungen der letzten Jahre, die sowohl den Ausbau der Wärmenetze als auch die Dekarbonisierung betreffen.

Die Diskussionen über die Finanzausstattung der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) führen zu Unsicherheiten bei den Fernwärmunternehmen und bremsen die dringend erforderlichen Investitionen in die Fernwärme aus. Um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 und die Zwischenziele bis 2030 zu erreichen, ist es daher dringend erforderlich, die notwendige Fördermittele Ausstattung von jährlich 3,5 Mrd. Euro zu sichern und frühzeitig eine Nachfolgelösung für die bis September 2028 begrenzte BEW zu schaffen. Denkbar wäre etwa, dass die Fördermittel zukünftig nicht mehr aus dem Haushalt, sondern aus geeigneten Umlagen oder Abgaben auf Energie stammen. Die Beispiele des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zeigen, dass diese Art der Finanzierung eine hohe Verlässlichkeit und Investitionssicherheit schafft.

Neben der Finanzierung gibt es weitere Hindernisse für den Ausbau und die Dekarbonisierung der Fernwärme, die bereits im Gutachten von 2020 ausführlich diskutiert wurden und größtenteils bis heute relevant sind. Dazu gehören Hemmnisse wie § 556c BGB und die darauf basierende Wärmelieferverordnung (WärmeLV) sowie die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Bereitstellung von Flächen.

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

---

Die Fernwärme ist einer der zentralen Schlüssel zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestandes und für die urbane Wärmewende. Um dieser Rolle gerecht zu werden, sind umfangreiche Investitionen in technische Maßnahmen notwendig. Diese reichen von der Umstellung der Wärmeerzeugung auf erneuerbare und klimaneutrale Energieträger sowie (unvermeidbare) Abwärme bis hin zum Ausbau und zur Verdichtung der Fernwärmenetze. Die Umsetzung dieser Maßnahmen benötigt entschlossene politische Weichenstellungen.

Bereits im Jahr 2020 wurde das Gutachten „Perspektive der Fernwärme - Maßnahmenprogramm 2030: Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik“ veröffentlicht. Mit dem Gutachten wurde gezeigt, wie hoch das Potenzial der Fernwärme im Wärmemarkt ist und mit welchen Optionen Fernwärme zukünftig klimaneutral produziert werden kann. Neben den bis zum Jahr 2030 notwendigen Investitionen und dem möglichen Förderbedarf wurden regulatorische Rahmenbedingungen skizziert, die diesen Prozess unterstützen.

Das mit dem Gutachten entwickelte Zielbild für die Fernwärme führte zu einem Fernwärmeverbrauch von 146 TWh im Jahr 2030, der bis zum Jahr 2050 weiter auf 171 TWh anstieg. Für das Jahr 2030 wurde ein Anteil erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme von 45% angestrebt. Um diese Ziele zu erreichen wurde ein Investitionsbedarf von insgesamt 33 Mrd. Euro bis zum Jahr 2030 ermittelt. Der Bedarf an Fördermitteln (Investitionskosten-zuschüsse und Betriebskostenförderung) wurde mit 17,7 Mrd. Euro ermittelt.

In den etwas mehr als drei Jahren nach Veröffentlichung dieses Gutachtens im November 2020 sind viele, teils einschneidende, politische und gesellschaftliche Veränderungen geschehen. Diese haben unter anderem starke Veränderungen für Energie- und Klimaschutzpolitik mit sich gebracht:

- Mit dem Klimaschutzgesetz wurde im Juni 2021 das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 und damit ambitioniertere Ziele für den Klimaschutz vom Bundestag beschlossen. Ebenfalls im Jahr 2021 wurden insgesamt fünf große Energiesystemstudien veröffentlicht. Diese zeigen technologische Wege auf, wie Klimaneutralität in Deutschland bis zum Jahr 2045 erreicht werden kann.
- Infolge der Corona-Pandemie gerieten ab dem Jahr 2020 viele Lieferketten aus dem Takt. Die Folgen waren und sind verschlechterte Verfügbarkeit von Produkten und Preissteigerungen.
- Der Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine seit Februar 2022 hat zu einer schweren Energiekrise geführt. Diese führte zu starken Preisanstiegen in allen gesellschaftlichen Bereichen, unter anderem in der Bauwirtschaft. Gleichzeitig wurde die Energiepolitik stärker auf Versorgungssicherheit und Resilienz ausgerichtet. Insbesondere die Reduktion der Abhängigkeit von Erdgas-Importen hat seitdem massiv an Bedeutung gewonnen.
- Die aktuelle Bundesregierung hat in den ersten 30 Monaten der laufenden Legislaturperiode eine Vielzahl von Politikinstrumenten im Bereich der Energie- und Klimapolitik auf den Weg gebracht, die diese veränderten Rahmenbedingungen aber auch weiterhin die klimapolitischen Ziele für 2030 und 2045 berücksichtigen. Von sehr hoher Bedeutung sind hier beispielsweise die Einführung des Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG), Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie die Bundesförderung effizienter Wärmenetze (BEW) zu nennen.

Um die Effekte dieser umfangreichen Veränderungen abbilden zu können, haben AGFW und VKU die Prognos AG mit einer Aktualisierung und Erweiterung des Gutachtens aus dem Jahr 2020 beauftragt. Die Zielsetzungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Aktualisierung des Zielbildes für die Fernwärme an den aktuellen Stand der Wissenschaft und an aktuelle Rahmenbedingungen. Hierbei Orientierung an den beiden Studien „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (KNDE 2045) (Agora Energiewende 2021) sowie „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung – Roadmap 2040“ (Prognos, TU Dortmund 2020).
- Aktualisierung der notwendigen Investitionen und des Förderbedarfs bis zum Jahr 2030
- Erstmalige Berechnung der notwendigen Investitionen und des Förderbedarfs bis zum Jahr 2045.

---

## 2 Methodische Vorbemerkungen

---

### 2.1 Rahmenbedingungen für die Fernwärme

Seit Veröffentlichung des ersten Gutachtens haben sich wesentliche regulatorische Rahmenbedingungen geändert bzw. wurden neu geschaffen. Diese sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Mit dem Wärmeplanungsgesetz (WPG) wird erstmals ein verbindlicher Emissionsminderungspfad für sämtliche Wärmenetze definiert. Zudem ergeben sich Ziele bezüglich des Netzausbaus aus dem Fernwärmegipfel (Juni 2023) und bezüglich des Ausbaus von Geothermie aus einem Eckpunktepapier aus dem Jahr 2022.

Die vorliegende Aktualisierung des Gutachtens dient unter anderem dazu, diese geänderten Rahmenbedingungen zu berücksichtigen und den zugrunde gelegten Ausbaupfad entsprechend anzupassen. Zwar wurde ein Teil der neuen Ziele bereits mit dem Ausbaupfad aus dem ersten Gutachten erreicht, andere Ziele stellen dagegen ein höheres Ambitionsniveau dar. So wurden im Ausbaupfad des ersten Gutachtens beispielsweise nur 45 % statt 50 % erneuerbare Energien/unvermeidbarer Abwärme in Wärmenetzen bis 2030 im Bundesdurchschnitt erreicht und auch die Neuan schlüsse und der Ausbau von Geothermie blieben hinter den neuen Zielen zurück.

**Tabelle 2: Seit Veröffentlichung des ersten Gutachtens in 2020 veränderte Rahmenbedingungen und politische Zielsetzungen mit direktem Bezug zur Fernwärme**

Zielindikator	Ziel	Zieljahr	Referenz
Fernwärme Neuanschlüsse p. a.	100.000	jährl. (mittelfristig)	Erklärung zum Fernwärmegipfel vom 12. Juni 2023 (BMWK 2023)
Anzahl angeschlossener Gebäude	Faktor 3 ggü. 2023	2045	
<b>Anteil EE/Abwärme in Wärmenetzen</b>			
Bundesdurchschnitt	50%	2030	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze BGBl (2023)
jedes Wärmenetz	30%	2030	
jedes Wärmenetz	80%	2040	
jedes Wärmenetz	100%	2045	
neue Wärmenetze	65%	ab 03/2025	
<b>Anteil Biomasse max. in Großstädten mit mehr als 50km Netzlänge</b>			
neue Wärmenetze	25%	ab 2024	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze BGBl (2023)
Jedes Wärmenetz	15%	2045	
<b>Weitere Rahmenbedingungen</b>			
Erschließung Geothermie	10 TWh	2030	Eckpunkte für eine Erdwärmekampagne Geothermie für die Wärmewende (BMWK 2022)

Quelle: Eigene Zusammenstellung,

© Prognos AG 2024

## 2.2 Methodisches Vorgehen

Im Fokus der Studie stehen Städte bzw. urbane Räume von verschiedener Größe. Zur Bestimmung der für Ausbau und Dekarbonisierung der Fernwärme notwendigen Investitionen wurde eine Kombination aus Top-Down und Bottom-up Ansatz gewählt.

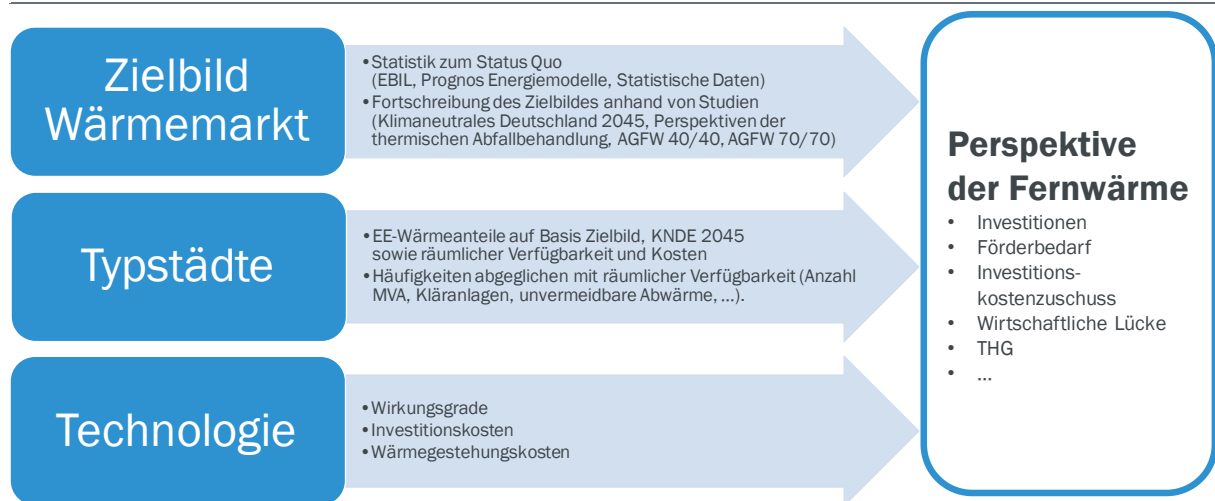
Zunächst wurde der Status Quo der Fernwärmeerzeugung aus vorliegenden Statistiken und Gutachten abgeleitet. Auf Basis des Vorgängergutachtens, der Studie KNDE 2045 (Agora Energiewende 2021), des Gutachtens „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung – Roadmap 2040“ (Prognos, TU Dortmund 2020) sowie geänderter gesetzlicher und politischer Rahmenbedingungen und Zielsetzungen wurde ein Zielbild für die Fernwärmeerzeugung bis zum Jahr 2045 entwickelt. Das Zielbild legt den Umfang der Fernwärmeerzeugung für die Stützjahre 2030 und 2045 fest. Es berücksichtigt neben der Umstellung der Wärmeversorgung des Gebäudebestandes und der Industrie auf erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme auch die Reduktion der Wärmenachfrage von Einzelgebäuden durch die energetische Gebäudesanierung.

Die Fernwärmenetze in Deutschland weisen eine große Vielfalt auf. Zur Bestimmung der zum Erreichen des Zielbildes erforderlichen Investitionen ist daher eine feine aufgelöste Darstellung der

Fernwärmeerzeugung und Verteilung in Deutschland erforderlich. Hierfür wird ein typologischer Ansatz gewählt. Es wurden insgesamt 10 Typstädte bzw. Modellnetze festgelegt, die sich in Bezug auf Einwohnerzahlen, Ausgangslage der Fernwärmeerzeugung, Anteil der Fernwärmeerzeugung am Wärmeverbrauch von Gebäuden und Industrie sowie Verfügbarkeit von lokalen erneuerbaren Wärmepotenzialen unterscheiden. Die Häufigkeit der Typstädte und Verteilung der Fernwärme für den Status Quo wurde entsprechend der Bevölkerungsstatistik und der Fernwärmeerzeugung festgelegt. Für die Stützjahre 2030 und 2045 wurden die Anzahl der Typstädte mit Fernwärme, der Anteil der Fernwärme am Wärmeverbrauch dieser Typstädte sowie die Anteile der verfügbaren Technologien an der Fernwärmeerzeugung so variiert, dass die angestrebte Fernwärmeerzeugung des Zielbildes erreicht werden. Das Ergebnis sind Fernwärmeerzeugungsmengen nach Technologie für die Jahre 2020 (als Ausgangslage), 2030 und 2045.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über das methodische Vorgehen zur Beschreibung des Ausbaufades und zur Ermittlung von Investitionen und des Förderbedarfs.

**Abbildung 2: Übersicht zum methodischen Vorgehen**



Quelle: Eigene Darstellung,

© Prognos AG 2024

## 2.3 Rahmendaten

Tabelle 3 zeigt die verwendeten Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise. Sie wurden aus den Rahmendaten der BMWK Langfristszenarien abgeleitet bzw. berechnet und bilden die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur Bestimmung der Wärmegestehungskosten und einer möglichen wirtschaftlichen Lücke zur Objektversorgung.

**Tabelle 3: Verwendete Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise**

	<b>Einheit</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>
EU-ETS-1	EUR2023/t	22	91	124	150	204	186
Erdgas frei Kraftwerk	Euro2023/MWh	29	59	45	33	33	33
Holzhackschnitzel frei Kraftwerk	Euro2023/MWh	20	22	27	30	32	40
Strompreis frei GWP, Geothermie	Euro2023/MWh	175	188	163	170	174	167
Strompreis frei Elektrokessel	Euro2023/MWh	180	114	133	154	165	166
BEHG & EU-ETS-2	EUR2023/t	0	41	95	150	204	186
Gas Haushalte (inkl. erforderliche EE-Beimischung und ETS-2)	Euro2023/MWh	57	95	107	134	152	216
StromWP Haushalte	Euro2023/MWh	240	255	217	217	228	224

Quelle: Eigene Annahmen

©Prognos AG 2024

## 2.4 Technologiedaten

Zur Bestimmung der Investitionskosten und der Wärmegestehungskosten der verschiedenen erneuerbaren und klimaneutralen Wärmetechnologien sind Technologiedaten erforderlich. Diese werden im Anhang 1 detailliert vorgestellt. Folgende Technologien werden im Gutachten berücksichtigt:

- Großwärmepumpen
- Solarthermie
- Feste Biomasse
- unvermeidbare Abwärme
- Tiefe Geothermie
- Thermische Abfallbehandlung
- Elektrokessel
- Wärmeverteilung und Speicher
- Objektversorgung

---

## 3 Zielbild für den Wärmemarkt

---

### 3.1 Vorüberlegung

Mit den "Big 5" Energiesystemstudien<sup>1</sup> wurden im Jahr 2021 gleich mehrere Gutachten vorgelegt, die mögliche technologische Pfade zur Klimaneutralität Deutschlands bis zum Jahr 2045 aufzeigen. Allen Gutachten gemein ist, dass der Fernwärme neben einer erhöhten Energieeffizienz und dem Einsatz von erneuerbaren Energien in der Objektversorgung eine Schlüsselrolle zukommt. Diese begründet sich dadurch, dass über Wärmenetze lokal verfügbare Potenziale an erneuerbaren Energien, z.B. Tiefengeothermie und unvermeidbare Abwärme, bspw. aus einem Rechenzentrum, besser nutzbar gemacht werden können.

Das in diesem Gutachten genutzte Zielbild lehnt sich stark an das Gutachten KNDE 2045 an. Dies führt zu folgenden übergeordneten Zielsetzungen:

- Deutliche Reduktion der Wärmenachfrage in Gebäuden durch energetische Gebäudesanierungen
- Deutlich steigender Anteil der Fernwärme an der Versorgung von Gebäuden und Industrie
- Vollständige Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung bis zum Jahr 2045

Diese qualitativen Zielsetzungen werden in den kommenden Abschnitten mit konkreten Zahlenwerten hinterlegt.

### 3.2 Entwicklung des Wärmemarktes bis 2045

Die Fortschreibung der Nutzung von Fernwärme erfolgt über einen typologischen Ansatz. Insgesamt werden im Status Quo sowie für die Stützjahre 2030 und 2045 10 Modellnetze dargestellt. Dieser Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche Größenklassen sowie die Verfügbarkeit von lokal begrenzten Potenzialen von erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme näherungsweise abzubilden. Letzteres ist für die Aussagekraft der Ergebnisse von großer Bedeutung, da die technischen Potenziale klimaneutraler Fernwärmeerzeugung je nach Örtlichkeit im unterschiedlichen Umfang vorhanden sind.

Tabelle 4 zeigt die Stadttypen in Anlehnung an die Raumabgrenzung der laufenden Stadtbeobachtung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Mit 26,8 Mio. Einwohnern leben nach dieser Klassifizierung die meisten Menschen in den 81 Großstädten mit mehr als 100.000 Einwohnern. Im Mittel leben dort je Großstadt 331 Tsd. Einwohner. In den 619 Mittelstädten Deutschlands mit bis zu 100 Tsd. Einwohnern leben insgesamt 22,9 Mio. Menschen und in den Kleinstädten mit bis zu 20 Tsd. Einwohnern etwa 22,0 Mio. Menschen. In den Landgemeinden mit bis zu 5 Tsd. Einwohnern leben insgesamt rund 11,8 Mio. Menschen.

<sup>1</sup> Bei den fünf großen Energiesystemstudien handelt es sich um „Klimaneutrales Deutschland 2045“ von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, „Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“ des BDI, die dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“, die „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie den Modell- und Szenarienvergleich „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“ des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Forschung (BMBF) geförderten Kopernikus-Projekts Ariadne.



**Tabelle 4: Anzahl, Einwohner je Stadt und Einwohner gesamt in Landgemeinden, Kleinstädten, Mittelstädten und Großstädten**

Stadttyp	Anzahl	Tsd. Einwohner je Stadt	Mio. Einwohner gesamt
Großstadt, >100 Tsd. EW	81	331	26,8
Mittelstadt, bis 100 Tsd. EW	619	37	22,9
Kleinstadt, bis 20 Tsd. EW	2.230	10	22,0
Landgemeinde, bis 5.000 EW (nicht betrachtet)	8.167	1,4	11,8
<b>Summe</b>	<b>11.097</b>		<b>83,5</b>

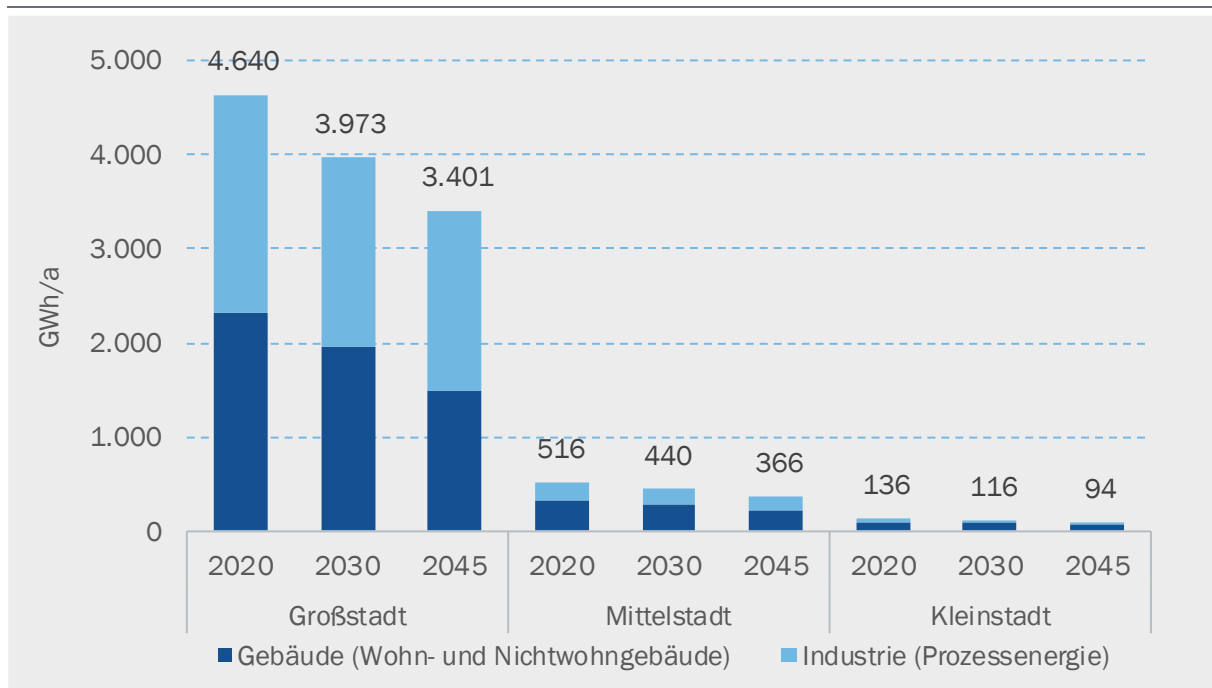
Quelle: (Ache & Waltersbacher 2020)

Die Landgemeinden werden nicht in die Berechnungen mit einbezogen, gleichwohl auch hier Potenziale für kleine Wärmenetze vorhanden sind.

Für den Status quo der Wärmenachfrage in den Stadttypen wurden die Wärmedichten aus den Veröffentlichungen zur „Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung“ (UBA 2021) ausgewertet und als Ausgangsbasis für die Fortschreibung verwendet. Auf diese Weise fließen die unterschiedlichen Verhältnisse von Ein- und Zweifamilienhäusern zu Mehrfamilienhäusern sowie unterschiedliche Wohnflächen pro Einwohner in die Bewertung mit ein. Die Entwicklung der Wärmenachfrage von Gebäuden sowie des Anteils der Fernwärme in den Stadttypen erfolgt in Anlehnung an die Studie KNDE 2045 (Agora Energiewende 2021). Diese ist aktueller als die im Vorgängervorhaben zugrunde gelegten Szenarien zum NECP der Bundesregierung (Prognos 2020). Bei der Industrie wurden die Annahmen aus den Vorgängergutachten beibehalten. Auch wenn es regional unterschiedliche Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung gibt und in den vergangenen 20 Jahren ein Trend zur Urbanisierung zu beobachten war, wird für alle Stadttypen vereinfachend eine identische Entwicklung für die Zukunft unterstellt.

Abbildung 3 kann der Endenergieverbrauch für Wärmeanwendungen in Groß-, Mittel- und Kleinstädten für die Sektoren Gebäude und Industrie entnommen werden. Aufgrund der unterstellten Effizienzgewinne sinkt der Endenergieverbrauch bis 2045 in allen Stadttypen. Der Rückgang des Wärmeverbrauchs fällt dabei in Gebäuden deutlich stärker aus als in der Industrie. In der Großstadt sinkt die gesamte Wärmenachfrage von aktuell gut 4,6 TWh/a bis 2030 auf knapp 4 TWh/a. Bis 2045 erfolgt ein weiterer Rückgang auf etwa 3,4 TWh/a je Großstadt. In den Klein- und Mittelstädten sind die Entwicklungen ähnlich. Im Vergleich zum Gutachten aus 2020 liegen die unterstellten Endenergieverbräuche leicht höher. Dies liegt darin begründet, dass im Szenario KNDE 2045 geringere Effizienzgewinne im Bereich Raumwärme unterstellt, wurden als in den zuletzt verwendeten Szenarien zum NECP.

**Abbildung 3: Durchschnittlicher Endenergieverbrauch für Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung und Prozessenergie in der Industrie nach Stadttypen**



Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

### 3.3 Annahmen zum Ausbaufad der Fernwärme bis 2045

Die Fernwärme kann in urbanen Räumen bei einem entsprechenden Netzausbau bzw. einer entsprechenden Netzverdichtung größere Anteile des Wärmebedarfs als heute decken. Die Annahmen zum Ausbau der Wärmenetze orientieren sich dabei an bestehenden Studien, insbesondere an der Studie KNDE 2045 und zurückliegenden Studien des AGFW (AGFW 2018a). Maßgebliche Treiber hierfür sind die Zahl der neu angeschlossenen Gebäude sowie die gesamte Fernwärmefachfrage. Für diesen Wert wurde mit der Erklärung zum Fernwärmegipfel vom 12. Juni 2023 ein Ziel von 100.000 Neuanschlüssen pro Jahr festgelegt (BMWK 2023). Die Entwicklung des Anteils der Fernwärme am Endenergieverbrauch nach Stadtgröße und Sektor ist in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Annahmen zum Ausbau der Fernwärme in den Stadttypen**

<b>Jahr</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2045</b>
<b>Anteil Gemeinden mit Fernwärme</b>			
Großstadt	95%	97%	100%
Mittelstadt	45%	50%	80%
Kleinstadt	20%	30%	50%
<b>Anteil der Fernwärme am Wärmeverbrauch der Gebäude je Gemeinde</b>			
Großstadt	24%	39%	53%
Mittelstadt	6%	12%	26%
Kleinstadt	2%	5%	12%
<b>Anteil der Fernwärme am Wärmeverbrauch der Industrie je Gemeinde</b>			
Großstadt	24%	26%	27%
Mittelstadt	6%	8%	9%
Kleinstadt	2%	4%	5%

Quelle: (AG Energiebilanzen e.V. 2020; AGFW 2015, 2018a; Agora 2021) und eigene Annahmen

© Prognos AG 2024

Im Jahr 2020 wurden knapp 1,3 Mio. Wohngebäude mit rund 6 Mio. Wohneinheiten über Fernwärme versorgt (BDEW 2023). Dies entspricht etwa 4,8 Wohneinheiten je Gebäude, das mit Fernwärme versorgt wird. Basierend auf dem oben skizzierten Ausbaupfad zeigt Tabelle 6 die resultierenden Anschlussmengen in den Jahren 2030 und 2045. Die Zahl der angeschlossenen Gebäude verdreifacht sich nahezu bis zum Jahr 2045 auf 3,6 Mio. Wohngebäude. Die Zahl der fernwärmeversorgten Wohnungen steigt im gleichen Zeitraum von 6 auf 14 Mio. Wohnungen. Im Zuge des Ausbaus der Fernwärme werden zunehmend auch kleinere Gebäude angeschlossen. Die Zahl der Wohnungen je versorgtem Gebäude sinkt auf 3,8 Wohnungen je Gebäude im Jahr 2045.

**Tabelle 6: An Fernwärmenetze angeschlossene Gebäude und Wohnungen in den Jahren 2020, 2030 und 2045**

	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2045</b>
Mio. Wohngebäude	1,3	2,2	3,6
Mio. Wohnungen	6	10	14
Wohnungen je Wohngebäude	4,8	4,4	3,8

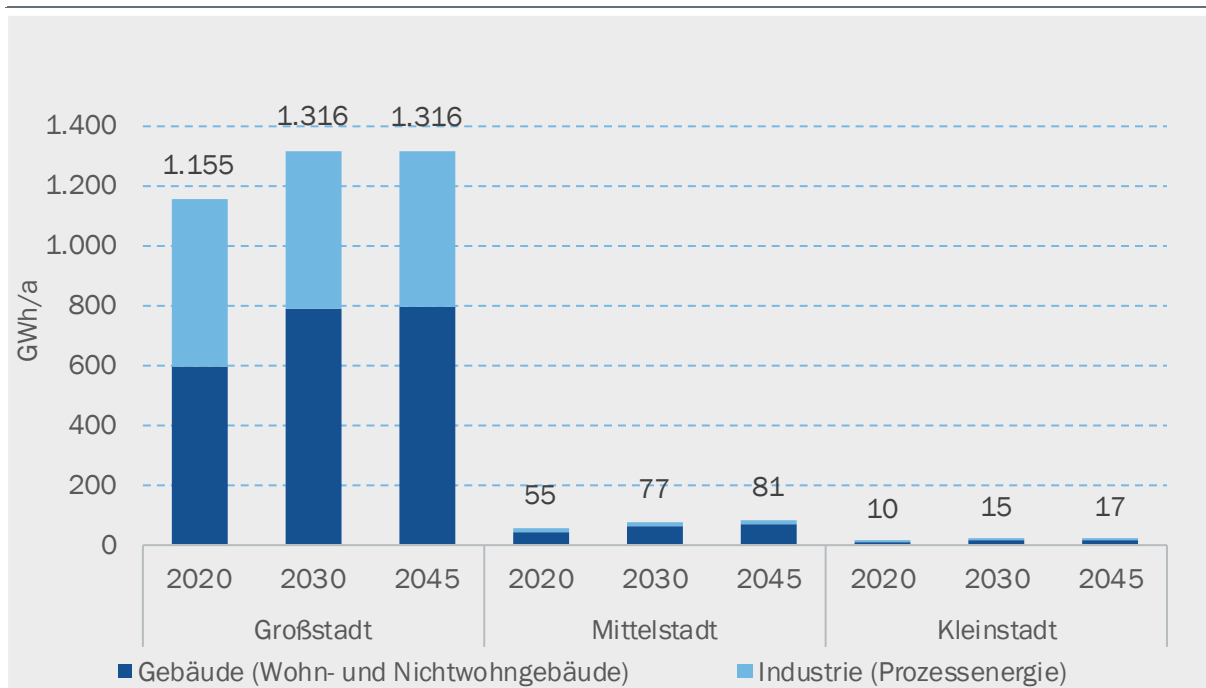
Quelle: Werte für 2020: BDEW (2023). Werte für 2030 und 2045: eigene Berechnungen,

© Prognos AG 2024

Durch die hohe Zahl neu erschlossener Gebäude steigt der Fernwärmeverbrauch in allen Stadttypen bis 2045 trotz insgesamt rückläufiger Wärmenachfrage deutlich an (Abbildung 4). Der absolut höchste Anstieg ist in den Großstädten bis zum Jahr 2030 zu beobachten. Der Fernwärmeverbrauch steigt im Mittel von 1.155 GWh/a im Jahr 2020 um 161 GWh/a (14 %) auf 1.316 GWh/a

im Jahr 2030 je Großstadt. Bis zum Jahr 2045 bleibt der Fernwärmeverbrauch dann konstant. In den Mittelstädten nimmt der Fernwärmeverbrauch zwar absolut weniger, aber relativ deutlich stärker zu. Er steigt um gut 47 % von 55 GWh/a im Jahr 2020 auf 81 GWh/a im Jahr 2045. In den Kleinstädten liegt der Anstieg sogar bei 70 %, wobei der Fernwärmeverbrauch hier mit 10 bis 17 GWh/a in den Gemeinden sehr gering ist. Wie in den Großstädten erfolgt auch in den Mittel- und Kleinstädten der stärkere Anstieg zwischen 2020 und 2030, während der Fernwärmeverbrauch zwischen 2030 und 2045 nur noch leicht ansteigt.

**Abbildung 4: Durchschnittlicher Fernwärmeverbrauch je Stadttyp mit Fernwärme in den Jahren 2020, 2030, 2045 in GWh/a**



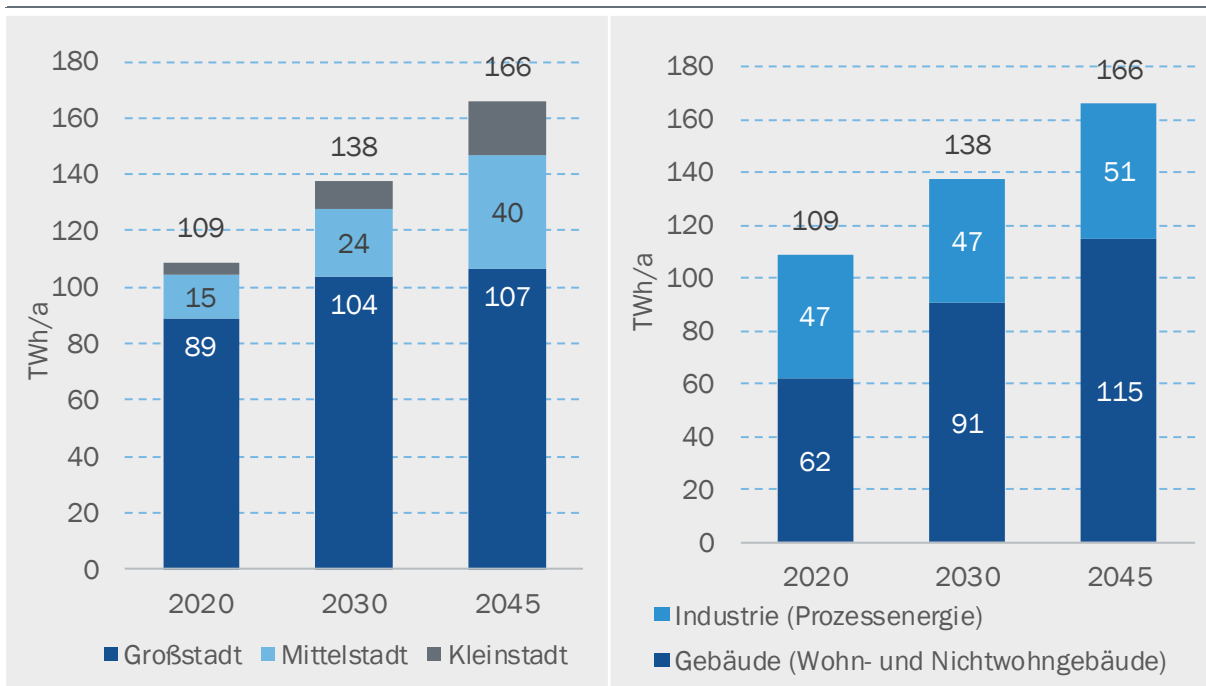
Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Neben dem erhöhten Fernwärmeverbrauch in den Stadttypen steigt entsprechend den Annahmen zum Zielbild auch die Zahl der Städte, die über Fernwärme verfügen (Tabelle 5). Von den Großstädten waren bereits im Jahr 2020 fast alle (95%) an ein Wärmenetz angeschlossen, bis 2045 trifft dies dann auf jede Großstadt zu. Bei den Mittelstädten steigt der Anteil der Städte, die über ein Wärmenetz verfügen, von 45% im Jahr 2020 auf 50% im Jahr 2030 bzw. 80% im Jahr 2045, bei den Kleinstädten von 20% im Jahr 2020 auf 30% im Jahr 2030 bzw. 50% im Jahr 2045. Hieraus ergibt sich in Summe eine deutliche Steigerung des Fernwärmeverbrauchs bis zum Jahr 2045 (Abbildung 5). Im linken Diagramm wird der Verbrauch nach Stadttypen gezeigt. In den Großstädten steigt der Fernwärmeverbrauch von aktuell 89 TWh/a um etwa 17 % auf 104 TWh/a im Jahr 2030. Danach steigt er nur noch leicht auf 107 TWh/a an. In den Mittelstädten ist ein Anstieg von 15 TWh/a auf 24 TWh/a bis zum Jahr 2030 zu beobachten (+ 60 %). Bis 2045 gibt es einen sehr deutlichen Anstieg auf 40 TWh/a – das entspricht mehr als einer Verdoppelung. In den Kleinstädten verdoppelt sich der Fernwärmeverbrauch gegenüber 2020 bis 2030 auf 10 TWh/a, bis 2045 ist fast eine Verdreifachung zu beobachten.

Das rechte Diagramm in Abbildung 5 zeigt, dass der Anstieg des Fernwärmeverbrauchs überwiegend auf die versorgten Wohn- und Nichtwohngebäude zurückgeht. Er steigt von 62 TWh/a im Jahr 2020 auf 91 TWh/a im Jahr 2030 und 115 TWh/a im Jahr 2045. Hier überlagern sich zwei Effekte: Der Fernwärmeabsatz je angeschlossenem Gebäude verringert sich aufgrund der durchgeführten energetischen Gebäudemodernisierungen. Dies wird durch den Anschluss neuer Gebäude an das Fernwärmenetz überkompensiert, sodass der Absatz in Summe steigt. Der Verbrauch durch die Industrie bleibt bis 2030 konstant und steigt leicht um gut 9 % bis 2045.

**Abbildung 5: Gesamter Fernwärmeverbrauch nach Gebäuden und Industrie sowie nach Stadttyp in den Jahren 2020, 2030, 2045 in TWh/a**

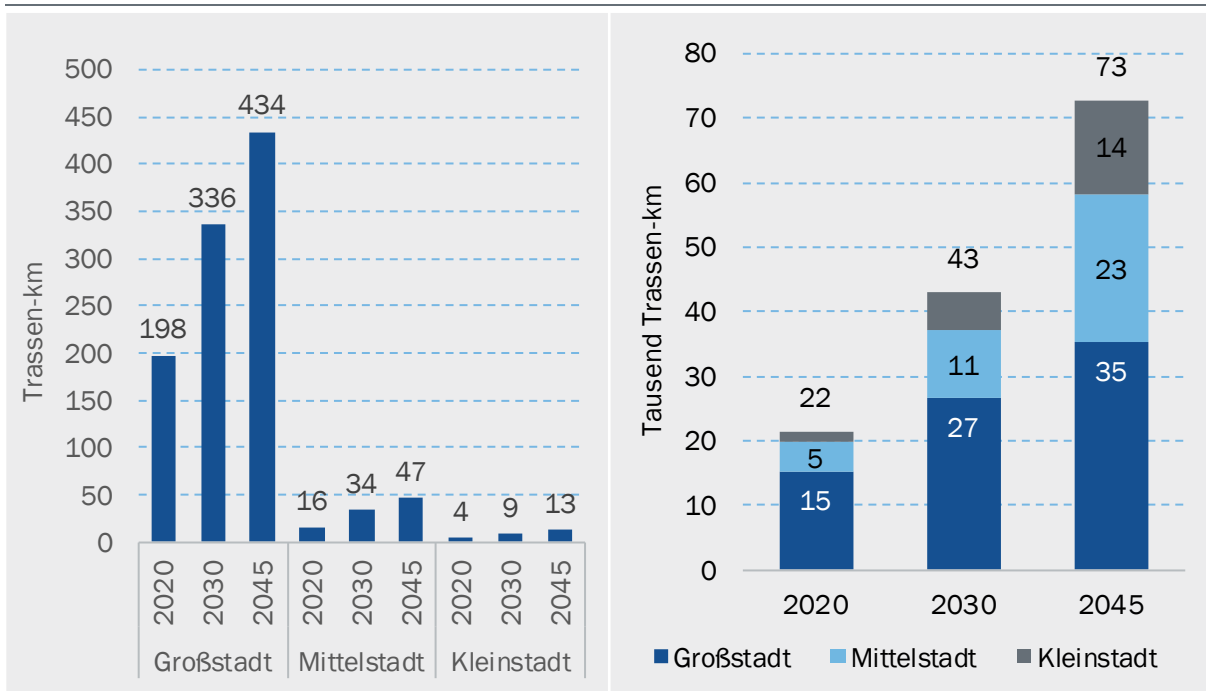


Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Die Abschätzung des benötigten Fernwärmenetzausbaus erfolgt über die Anzahl der angeschlossenen Gebäude und die Trassenlänge je angeschlossenem Gebäude. Laut AGFW Hauptbericht liegt dieser Wert aktuell bei 59 Trassenmeter je Gebäude (AGFW 2022). Die bevorstehenden Netzausbauten werden diesen Wert in mehrfacher Hinsicht ändern. Die angestrebte Netzverdichtung mit gesteigerten Anschlussraten in Gebieten mit Wärmenetzen wirken sich reduzierend aus. Dem gegenüber werden auch Gebiete mit geringeren Wärmedichten erschlossen, was den Kennwert anwachsen lassen dürfte. Im Rahmen der Abschätzung des Netzausbaubedarfs wurde der Wert aufgrund dieser gegenläufigen Effekte daher konstant bei 59 m Trassenlänge je Gebäude belassen. Die Gesamtlänge verdoppelt sich bis 2030 nahezu von aktuell etwa 22 Tsd. Trassenkilometern auf dann 43 Tsd. Trassenkilometern. Im Zeitraum bis zum Jahr 2045 werden dann nochmals 30 Tsd. Trassenkilometern hinzugebaut, sodass die Gesamtlänge im Jahr 2045 bei 73 Tsd. Trassenkilometern liegt.

**Abbildung 6: Durchschnittliche Trassenkilometer je Stadttyp und gesamt nach Stadttypen**



Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

### 3.4 Entwicklung der Energieträgerstruktur bis 2045

Die Anteile der Technologien an der Wärmeerzeugung in den betrachteten zehn Modellnetzen ist in Tabelle 7 für den Betrachtungszeitpunkt 2030 dargestellt. Tabelle 8 zeigt die Wärmeerzeugungsmixe der zehn Modellnetze für das Jahr 2045.

Die Hochrechnung erfolgt anhand der möglichen Anzahl der Netze dieses Typs in Deutschland. Dabei wurden die Häufigkeiten der Technologien mit den lokalen Verfügbarkeiten und Gegebenheiten für die beiden Betrachtungszeitpunkte abgeglichen. Dies erfolgt auf Basis von bestehenden Studien, insbesondere (Blömer et al. 2019; Gerhardt et al. 2019; UBA 2021) für nachfolgende Wärmequellen. Den Annahmen zu den einzelnen Technologien liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- **Unvermeidbare Abwärme:** Unvermeidbare Abwärme ist überwiegend in mittleren und großen Städten verfügbar. In Kleinstädten ist sie auch vereinzelt vorhanden, aber nicht in der Breite. Als unvermeidbare Abwärme wird hier Abwärme mit einem Temperaturniveau verstanden, das ausreichend hoch zur direkten Nutzung für die Fernwärme ist.
- **Freiflächen-Solarthermie:** Die Flächenpotenziale konzentrieren sich überwiegend auf den ländlichen Raum. In kleinen Städten sind daher im Mittel Wärmeanteile von 25 % denkbar. In mittleren und großen Städten sind die Potenziale aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Flächen geringer.

- **Großwärmepumpe:** Sie soll möglichst niederkalorische Wärme nutzen. Hierzu zählen vorwiegend Niedertemperaturabwärme aus Prozessen der Industrie und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), aus Rechenzentren, aus Kläranlagen und Grubenwasser sowie Umweltwärmequellen wie Flusswasser oder Seewasser. Diese Quellen werden verstärkt in mittleren und großen Städten gesehen.
- **Tiefe Geothermie:** Die technischen Potenziale der Geothermie erstrecken sich über große Bereiche. Allerdings sind die spezifischen Investitionen der Technologie im kleinen Leistungsbe- reich sehr hoch, sodass sie unter Kostenaspekten nur in mittleren und großen Städten einge- setzt wird. Das Ziel des BMWK Eckpunktepapiers für eine Erdwärmekampagne (BMWK 2022) wird mit 10 TWh im Jahr 2030 erreicht.
- **Thermische Abfallbehandlung:** Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen (TAB) befin- den sich meist in der Nähe von großen Städten, sodass diese Wärmequelle fast ausschließlich dort genutzt werden kann. Das Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung regelt, dass der Teil der Wärmeauskopplung aus thermischer Abfallbehandlung, der nicht den Kriterien erneuerbar- er Energien entspricht, unvermeidbarer Abwärme gleichgestellt wird. Der Umfang der aus TAB- Anlagen genutzten Wärme wird der Studie „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung – Roadmap 2040“ (Prognos, TU Dortmund 2020) folgend konstant gehalten.
- **Biomasse:** Biomasse wird insbesondere dann eingesetzt, wenn keine ausreichend hohen Po- tenziale anderer erneuerbarer Energien vorhanden sind. Außerdem wird Biomasse zunehmend zur Abdeckung von Spitzenlasten eingesetzt; insbesondere dann, wenn außer Wärmepumpen keine weiteren regelbaren Wärmequellen vorhanden sind. Die in Tabelle 4 und 5 gewählten Anteile der Biomasse an der Fernwärmeerzeugung sind vereinbar mit der Begrenzung nach WPG. Sie enthalten keinen biogenen Anteil, der bei der TAB einbezogen wird.
- **Wasserstoff:** Hinsichtlich der Verfügbarkeit von Wasserstoff wird davon ausgegangen, dass die- ser in großen und mittleren Städten aufgrund großer industrieller und energiewirtschaftlicher Nachfrager gegeben ist. Dem hingegen kann bei kleinen Städten aktuell nicht von einem ver- lässlichen Zugang zum Wasserstoffverteilnetz ausgegangen werden.

Die Anteile der Fernwärmeerzeugung auf Basis von erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme wurden so gewählt, dass im Mittel über die verschiedenen Modellnetze bis 2030 ein klimaneutraler Erzeugungsanteil von 50 % erreicht wird. Dies entspricht der Anforderung des WPG. Entsprechend der vorgenommenen Hochrechnung dieser Modellnetze auf Gesamtdeutschland entspricht dies 78 TWh. Im Vergleich zum Jahr 2020 ist das ein Zuwachs von klimafreundlicher Fernwärme von etwa 39 TWh.



**Tabelle 7: Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2030**

<b>Modellnetz</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Typstadt	Klein	Klein	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Groß	Groß	Groß	Groß
Anzahl in DE	335	335	115	115	50	30	20	30	19	10
Solar	25%	5%	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomasse	-	40%	-	-	30%	10%	10%	10%	10%	-
Großwärmepumpen	20%	-	45%	15%	5%	5%	15%	5%	10%	-
Unvermeidbare Abwärme	-	-	-	25%	-	-	20%	-	10%	-
Tiefe Geothermie	-	-	-	-	10%	-	-	-	10%	45%
TAB	-	-	-	-	-	35%	-	35%	15%	-
Elektrokessel	5%	-	5%	5%	-	-	2%	2%	-	-
Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fossil befeuerte Anlagen	50%	55%	50%	55%	55%	50%	53%	48%	45%	55%
<b>Summe EE und Abwärme</b>	<b>50%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>	<b>45%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>	<b>47%</b>	<b>52%</b>	<b>55%</b>	<b>45%</b>

Quelle: Eigene Annahmen

© Prognos AG 2024

Für das Jahr 2045 liegt der Anteil der auf Basis von erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme erzeugten Fernwärme in allen Städten bei 100 % und erfüllt damit die Zielsetzung des WPG sowie des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Fossile Brennstoffe werden nicht mehr eingesetzt. Ein Teil der aktuell noch auf Erdgas basierenden Erzeugungsanlagen werden auf Wasserstoff umgestellt. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um KWK-Anlagen. Die Hochrechnung führt zu einer Fernwärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme von 189 TWh. Im Vergleich zum Jahr 2030 ist das ein Zuwachs von klimafreundlicher Fernwärme von etwa 42 TWh.

**Tabelle 8: Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2045**

<b>Modellnetz</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Typstadt	Klein	Klein	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Groß	Groß	Groß	Groß
Anzahl in DE	558	558	208	208	50	30	20	30	21	10
Solar	25%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomasse	20%	30%	-	5%	30%	-	-	-	10%	-
Großwärmepumpen	50%	55%	65%	30%	35%	32%	30%	40%	27%	10%
Unvermeidbare Abwärme	-	-	-	60%	-	15%	40%	-	-	-
Tiefe Geothermie	-	-	-	-	30%	-	-	-	25%	60%
TAB	-	-	-	-	-	33%	-	35%	14%	-
Elektrokessel	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Wasserstoff	-	-	30%	-	-	15%	25%	20%	20%	25%
Fossil befeuerte Anlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe EE und Abwärme</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

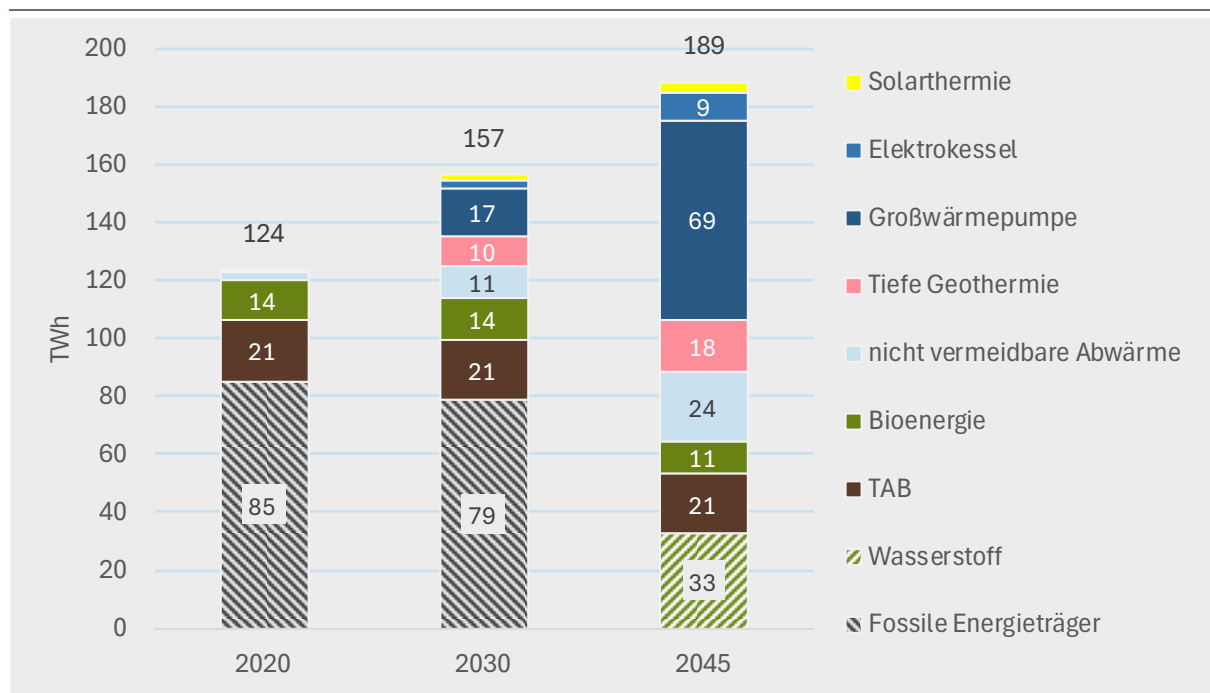
Quelle: Eigene Annahmen

© Prognos AG 2024

Abbildung 7 und Tabelle 27 im Datenanhang zeigen die aus der Hochrechnung resultierenden Mengen und Strukturen der Fernwärmeerzeugung aus unvermeidbarer Abwärme und erneuerbaren Energien für die Jahre 2020, 2030 und 2045. Bis zum Jahr 2030 ist der Ausbaupfad vom beginnenden Ausbau der Fernwärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und von der unvermeidbaren Abwärme bei gleichzeitig moderatem Rückgang der Fernwärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern geprägt. Die Fernwärmeerzeugung steigt bis 2030 auf 157 TWh an. Der Zuwachs gegenüber dem Jahr 2020 resultiert ausschließlich aus dem Zubau von Fernwärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme um 78 TWh. Die größten Zuwächse verzeichnen Großwärmepumpen, unvermeidbare Abwärme und Geothermie. Der Anstieg der Fernwärmeerzeugung aus Geothermie auf 10 TWh im Jahr 2030 entspricht dem Ziel der Bundesregierung (siehe Abschnitt 3.1). Die Menge der Wärmeerzeugung aus Biomasse und Abwärme aus der Abfallbehandlung bleibt bis zum Jahr 2030 auf etwa gleichbleibendem Niveau. Die Menge der Fernwärme aus fossilen Energieträgern geht um 6 TWh zurück.

Nach 2030 wird die Nutzung der erneuerbaren Energien und unvermeidbaren Abwärme weiter vorangetrieben. Gleichzeitig geht die Fernwärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern auf null zurück und wird etwa zur Hälfte durch Wasserstoff ersetzt. Im Jahr 2045 werden 33 TWh Fernwärme aus Wasserstoff erzeugt. Die wichtigsten Wärmeerzeuger sind Großwärmepumpen mit einer Wärmeerzeugung von 69 TWh, was einen Anteil an der gesamten Erzeugung von 37 % entspricht. Danach folgen Wasserstoff mit 33 TWh und unvermeidbare Abwärme aus industriellen und gewerblichen Quellen mit 24 TWh. Auch die Geothermie verzeichnet nach 2030 ein weiteres Wachstum und trägt in 2045 18 TWh zur Fernwärmeerzeugung bei. Die Nutzung von Biomasse geht mit 11 TWh geringfügig zurück. Die Wärmeauskopplung aus der TAB bleibt mit ca. 21 TWh auf einem konstanten Niveau.

**Abbildung 7: Menge und Struktur der Fernwärmeerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh**

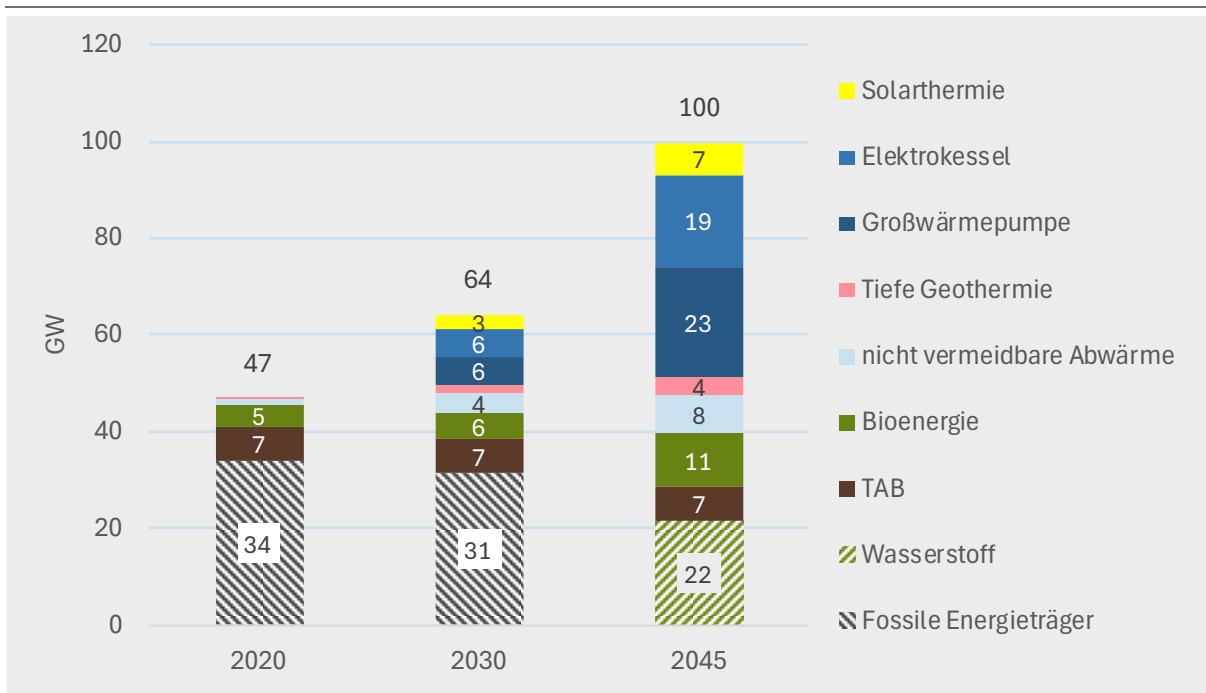


Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Die notwendigen Investitionen werden über die zu installierenden Leistungen bestimmt. Abbildung 8 und Tabelle 28 im Datenanhang zeigen den Verlauf der installierten Erzeugungsleistung für die Jahre 2020, 2030 und 2045. Die zugrunde gelegten Vollbenutzungsstunden können Anhang 1 entnommen werden. Insgesamt steigt die installierte Erzeugungsleistung von geschätzten 47 GW thermisch auf 100 GW thermisch im Jahr 2045 an. Die mittleren Vollbenutzungsstunden gehen von etwa 2.650 h/a im Jahr 2020 leicht auf gut 2.450 h/a im Jahr 2030 zurück. Bis zum Jahr 2045 setzt sich diese Entwicklung fort und die Vollbenutzungsstunden sinken im Mittel auf etwa 1.900 h/a.

**Abbildung 8: Installierte thermische Leistung zur Fernwärmerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in GW**



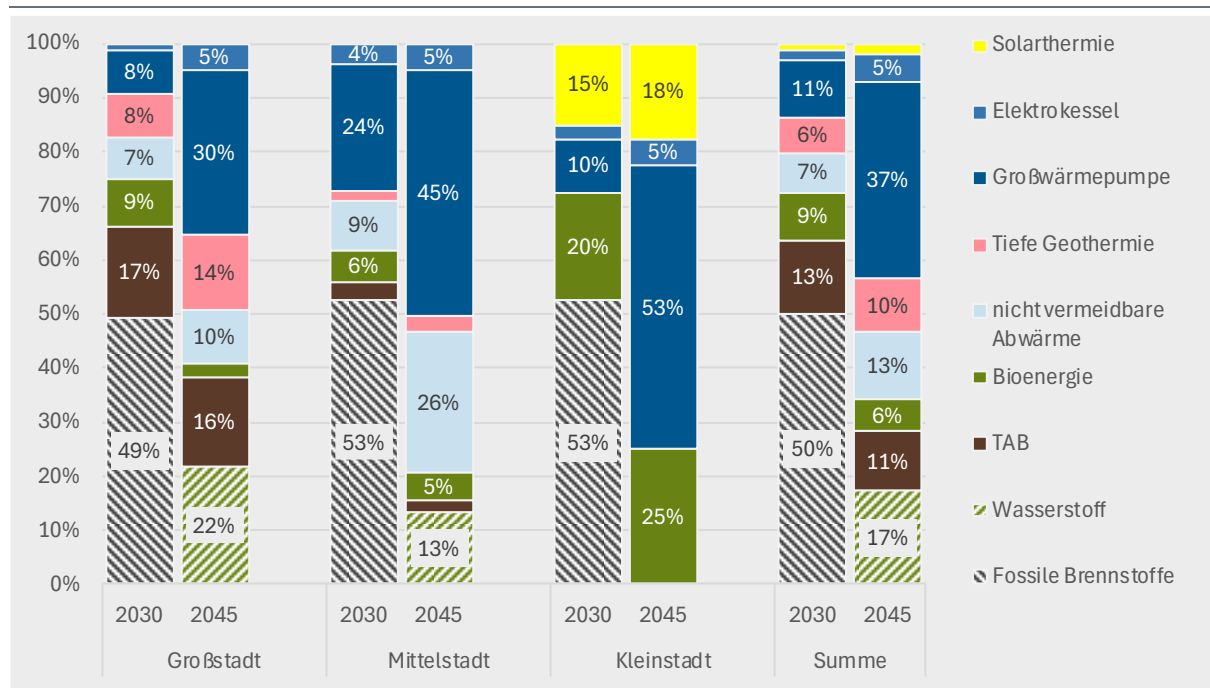
TAB: Feuerungswärmeleistung in GW  
 Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Aufgrund der Einschätzungen zur lokalen Verfügbarkeit der erneuerbaren Wärmepotenziale und der unvermeidbaren Abwärme ergeben sich für die Stadttypen deutlich unterschiedliche Wärmeerzeugungsstrukturen. Abbildung 9 zeigt die prozentuale Zusammensetzung für die Summenwerte der Wärmeerzeugung aus unvermeidbarer Abwärme und erneuerbaren Energien für die drei Stadttypen.

In den Großstädten zeigt sich ein breiter Mix an Technologien aus unvermeidbarer Abwärme und erneuerbaren Energien. Im Jahr 2030 spielt neben den fossilen Brennstoffen die thermische Abfallbehandlung die größte Rolle in der Fernwärmeerzeugung, sie macht etwa 17 % der Erzeugung aus. Bioenergie, Geothermie, Großwärmepumpen und unvermeidbare Abwärme kommen auf ähnliche Anteile zwischen 7 % und 9 % an der gesamten Fernwärmeerzeugung. Bis 2045 ändert sich dieses Bild dahingehend, dass die Großwärmepumpen deutlich an Bedeutung gewinnen und im Jahr 2045 mit knapp einem Drittel den größten Anteil an der gesamten Fernwärmeerzeugung stellen. An zweiter Stelle folgt die Fernwärmeerzeugung aus Wasserstoff, die auf 22 % im Jahr 2045 kommt. Danach folgt die thermische Abfallbehandlung, die Tiefe Geothermie und unvermeidbare Abwärme jeweils mit Anteilen von 16 %, 14 % bzw. 10 %. Der Anteil von Elektrokesseln steigt auf 5 %, dagegen sinkt der Anteil der Bioenergie deutlich. Die Freiflächen-Solarthermie spielt aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit in Großstädten auch bis 2045 keine Rolle.

**Abbildung 9: Struktur der Fernwärmeerzeugung in Klein-, Mittel- und Großstädten in den Jahren 2030 und 2045**



Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

In den Mittelstädten ergibt sich ein deutlich anderes Bild. Hier kommen Großwärmepumpen bereits im Jahr 2030 auf fast ein Viertel der gesamten Fernwärmeerzeugung und stellen damit nach der fossilen Erzeugung die bedeutendste Wärmequelle dar. Bis 2045 steigt der Anteil sogar auf fast die Hälfte der gesamten Fernwärmeerzeugung. Auch die unvermeidbare Abwärme spielt in den Mittelstädten eine größere Rolle als in den Großstädten, sie kommt auf 9 % im Jahr 2030 und 26 % im Jahr 2045. Zusammen decken Großwärmepumpen und unvermeidbare Abwärme damit ein Drittel des Wärmebedarfs im Jahr 2030 ab und fast drei Viertel im Jahr 2045. Weitere Wärmequellen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Wasserstoff wird zwar als weniger bedeutend als in Großstädten gesehen, kommt aber auf einen Anteil von immerhin 13 % bis 2045. Die Anteile der Bioenergie und thermischen Abfallbehandlung sinken leicht von 6 % bzw. 3 % im Jahr 2030, auf 5 % bzw. etwa 2 % im Jahr 2045. Elektrokessel machen im Jahr 2030 anders als in den Großstädten bereits einen Anteil von 4 % an der Fernwärmeerzeugung aus, dieser steigert sich dann nur noch moderat auf 5 % bis 2045. Geothermie spielt eine geringere Rolle als in den Großstädten mit Anteilen von 2 % im Jahr 2030 und 3 % im Jahr 2045. Auch in den Mittelstädten wird bis 2045 aufgrund der fehlenden Flächen kein nennenswertes Potenzial für die Freiflächen-Solarthermie gesehen.

In den Kleinstädten ergibt sich nochmals eine deutlich andere Struktur. Aufgrund der guten Verfügbarkeit von Freiflächen stammt bereits etwa 15 % der Fernwärme aus Solarthermie. Großwärmepumpen kommen auf einen Anteil von 10 % an der gesamten Fernwärmeerzeugung im Jahr 2030. Aufgrund der oben genannten Restriktionen hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Potenziale stehen in den Kleinstädten dagegen kaum bzw. keine Potenziale von Geothermie, (industrieller) Abwärme und Abfall zur Verfügung. Daher hat die Biomasse hier einen Anteil von 20 % an der erzeugten Fernwärme im Jahr 2030. Bis 2045 nimmt auch in den Kleinstädten die Bedeutung

der Großwärmepumpen stark zu, sodass sie auf einen Anteil von über 50 % an der Fernwärmeerzeugung im Jahr 2045 kommen. Der Anteil der Freiflächen-Solarthermie steigt leicht von 15 % auf 18 % bis 2045, ebenso steigen die Anteile von Bioenergie und Elektrokesseln auf 25 % bzw. 5 %. Wasserstoff spielt aufgrund der in Kleinstädten nicht gewährleisteten Verfügbarkeit hier keine Rolle.

---

## 4 Investitionen und Förderbedarf

---

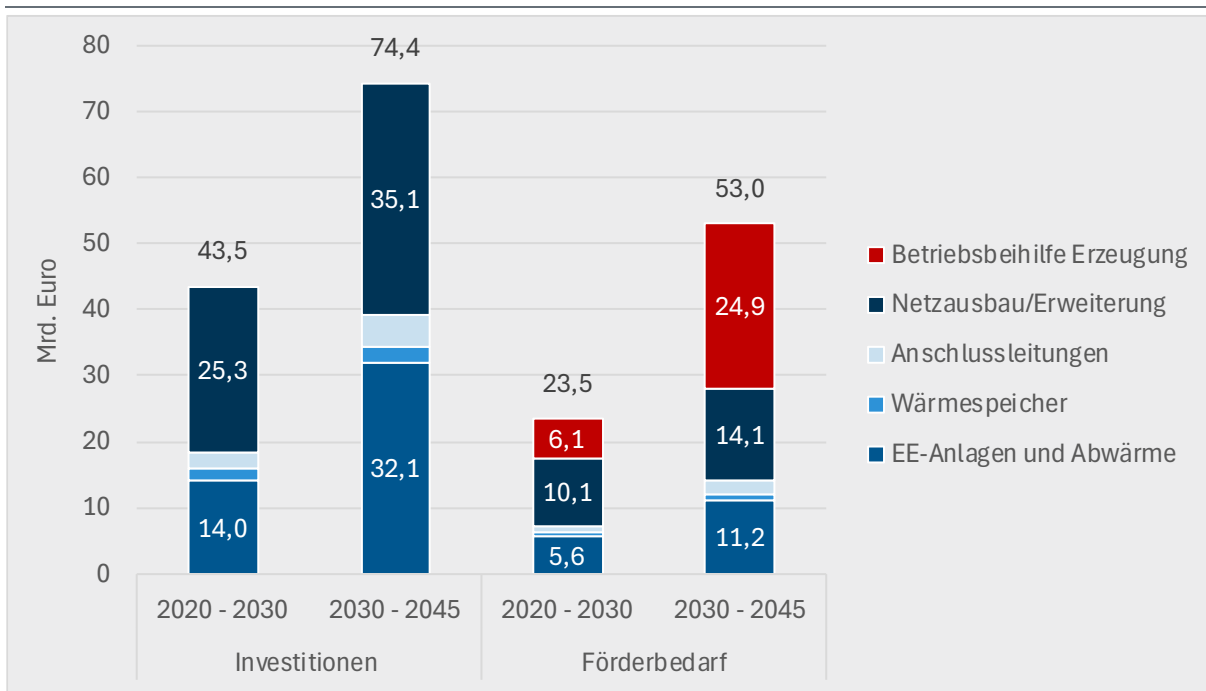
Anhand der Erzeugungsstruktur und des Ausbaubedarfs der Wärmenetze wurden die Investitionen berechnet und ein Förderbedarf an Investitionskostenzuschüssen abgeschätzt. Der Förderbedarf wurde unter der Annahme einer dauerhaften Fortführung der Förderung des Fernwärmeausbaus durch Investitionszuschüsse in Höhe von 40 %, wie aktuell in der BEW, abgeschätzt. Die Berechnung der Investitionen und der Investitionskostenzuschüsse wurden für die Stützjahre 2030 und 2045 durchgeführt.

Darüber hinaus wurden die Wärmegestehungskosten der Fernwärme berechnet und den Wärmegestehungskosten einer typischen Objektversorgung gegenübergestellt. Für die Objektversorgung wurde angenommen, dass diese mit 80 % überwiegend auf Basis einer Wärmepumpe erfolgt. Die restlichen 20 % werden über Erdgas bzw. perspektivisch Biomethan und Wasserstoff versorgt. Durch den Abgleich der Wärmegestehungskosten wird die wirtschaftliche Lücke und damit der Förderbedarf einer Fernwärmeversorgung aus Perspektive der Kunden bestimmt. Die Lücke ist stark abhängig von der künftigen Gestaltung des Systems von Abgaben, Umlagen und Steuern auf Energieträger sowie vom ETS-2-Preis<sup>2</sup>. Die Ableitung einer wirtschaftlichen Lücke erfolgt daher unter der Prämisse, dass das aktuelle System unverändert beibehalten wird – wohl wissend, dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Anpassungen geben wird, die heute noch nicht absehbar sind. Diese Lücke lässt sich beispielsweise über gezielte Betriebskostenbeihilfen schließen, wie sie aktuell in der BEW für Großwärmepumpen und Solarthermieanlagen gewährt wird.

Für den angestrebten Ausbau der Fernwärmenetze, der Wärmespeicher und neuen Erzeugungsanlagen sind bis zum Jahr 2030 in Summe Investitionen von 43,5 Mrd. Euro notwendig (Tabelle 12), pro Jahr also im Mittel 6,2 Mrd. Euro (Tabelle 9). Mit 25,3 Mrd. Euro entfällt knapp 60 % der Investitionen auf den Ausbau bzw. die Erweiterung von Wärmenetzen. Gut 14 Mrd. Euro entfallen auf Investitionen in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Wärme und der Nutzbarmachung von unvermeidbarer Abwärme. Eng verbunden mit diesen Anlagen sind weitere Investitionen in Höhe von etwa 2,4 Mrd. Euro zum Anschluss dieser neuen Wärmequellen an bestehende Netze. Es wird davon ausgegangen, dass in jedem Wärmenetz zukünftig Wärmespeicher errichtet werden. Damit ist eine bessere Integration der zunehmend wetter- und strompreisabhängig erzeugten Wärme möglich. Zudem wird eine flexiblere Fahrweise der bestehenden KWK-Anlagen im Strommarkt ermöglicht. Bis 2030 fallen Investitionen in Wärmespeicher in Höhe von etwa 1,9 Mrd. Euro an.

<sup>2</sup> Preis des zweiten europäischen Emissionshandels

**Abbildung 10: Gesamtinvestitionen und Fördermittelbedarf im Zeitraum 2020 bis 2045 in Mrd. Euro**



Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

**Tabelle 9: jährliche Investitionen und jährlicher Fördermittelbedarf bis 2045 in Mrd. Euro/a**

jährliche Werte in Mrd. Euro	Investitionen		Förderbedarf	
	2020-2030	2030-2045	2020-2030	2030-2045
EE-Anlagen und Abwärme	2,0	2,1	0,8	0,7
Wärmespeicher	0,3	0,2	0,1	0,1
Anschlussleitungen	0,3	0,3	0,1	0,1
Netzausbau/Erweiterung	3,6	2,3	1,4	0,9
Betriebsbeihilfe Erzeugung	0,0	0,0	0,9	1,7
<b>Summe</b>	<b>6,2</b>	<b>5,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Im Zeitraum bis zum Jahr 2045 sind dann weitere Investitionen in Höhe von 74,4 Mrd. Euro notwendig. Hiervon entfallen 35,1 Mrd. Euro auf die Errichtung von neuen Wärmenetzen sowie dem Ausbau von bestehenden Wärmenetzen. Mit 32,1 Mrd. Euro entfällt ein etwas niedrigerer Investitionsbetrag auf Wärmeerzeugungsanlagen. Die übrigen Investitionen in Höhe von 7,2 Mrd.



Euro entfallen auf den Bau von Anschlussleitungen und Wärmespeicher. Die jährlichen Investitionen gehen ab 2030 auf knapp 5 Mrd. Euro zurück.

Der Förderbedarf wird mit den oben getroffenen Annahmen mit 3,4 Mrd. Euro/a bis zum Jahr 2030 abgeschätzt. Hiervon entfallen 2,5 Mrd. Euro auf Investitionskostenzuschüsse und 0,9 Mrd. Euro/a auf Betriebsbeihilfen zur Schließung der wirtschaftlichen Lücke zur Objektversorgung. Nach 2030 sinkt der Bedarf an Investitionskostenzuschüssen auf 1,9 Mrd. Euro/a. Mit oben genannten Einschränkungen liegt die Abschätzung des Bedarfs an Betriebskostenbeihilfen nach 2030 im Mittel bei 1,7 Mrd. Euro/a. Dieser Anstieg liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die geförderte Wärmemenge von Jahr zu Jahr zunimmt. Dies wiegt stärker als die Reduktion der wirtschaftlichen Lücke zur Objektversorgung.

---

## 5 Vergleiche mit dem Vorgängergutachten

---

Die Aktualisierung des Gutachtens führt zu einer anderen Entwicklung des Fernwärmeverbrauchs, anderen Anteilen erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme, einem veränderten Ausbau der Wärmenetze und einer Änderung des Investitions- bzw. Förderbedarfs. Aus der Verwendung aktualisierter Studien und Annahmen ergeben sich in den Bereichen unterschiedliche, teils gegensätzliche Entwicklungen, die nachfolgend im Sinne der besseren Nachvollziehbarkeit eingeordnet werden.

Tabelle 10 zeigt einen Vergleich der Zielbilder der Fernwärme aus beiden Gutachten. Der Fernwärmeverbrauch im Jahr 2030 liegt in der aktuellen Fassung um 8 TWh niedriger als in dem Gutachten vor 4 Jahren. Hintergrund des geänderten Fernwärmeverbrauchs ist der Wechsel von der Energieerferenzprognose 2014 auf KNDE 2045 aus dem Jahr 2021 als aktuellstes Basisszenario. Der geringere Wert begründet sich insbesondere darin, dass der Ausbau in den vergangenen Jahren noch nicht die notwendige Dynamik erreicht hat, um den Zielwert aus dem vorangegangenen Basisszenario zu erreichen. Das Ambitionsniveau musste entsprechend angepasst werden. Zu erkennen ist dies u. a. beim Vergleich der Tabellen „Annahmen zum Ausbau der Fernwärme in den Typstädten“. In der vorliegenden, aktualisierten Studie fallen sowohl der Anteil der Gemeinden mit Fernwärme als auch der Anteil der Fernwärme am Wärmeverbrauch der Gebäude/Industrie je Gemeinde geringer aus. Mit dem Wechsel des Basisszenarios geht allerdings auch ein allgemeiner Anstieg des durchschnittlichen Endenergieverbrauchs für Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung und Prozessenergie in der Industrie einher. Dieser wirkt dem sinkenden Fernwärmeverbrauch zwar entgegen, kann die Reduktion allerdings nicht kompensieren.

Für den Anteil von erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme liegen die Zielwerte, dem WPG folgend, bei 50 % im Jahr 2030. Dieser Wert liegt höher als noch im Gutachten aus dem Jahr 2020 abgebildet. Die Anteile erneuerbarer Fernwärmeerzeugung und Nutzung von unvermeidbarer Abwärme wurden seinerzeit so gewählt, dass bis 2030 ein klimaneutraler Erzeugungsanteil von 45 % erreicht wird. Im Gegensatz zur Aktualisierung ist in diesem Wert allerdings nur der erneuerbare Anteil aus TAB enthalten. Mit dem WPG wird nun auch der nicht erneuerbare Anteil aus TAB der unvermeidbaren Abwärme gleichgestellt und fließt somit in den Zielwert ein. Obwohl das Ambitionsniveau bis 2030 um fünf Prozentpunkte gestiegen ist, reduziert sich der prognostizierte, absolute Netto-Zubau für Fernwärme aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme bis zum

Jahr 2030 leicht von 43 TWh/a auf 39 TWh/a. Das gestiegene Ambitionsniveau als relative Zielgröße bezogen auf den Fernwärmeverbrauch reicht demnach nicht aus, um die verlorenen Jahre und damit den insgesamt geringeren Fernwärmeverbrauch zu kompensieren. Für das Jahr 2045/2050 wurden mit diesem Gutachten erstmals auch detaillierten Berechnungen erstellt. Ein Abgleich mit der Vorgängerstudie ist daher nicht möglich.

**Tabelle 10: Zielbild der Fernwärme im Vergleich zum Gutachten aus dem Jahr 2020**

<b>Jahr des Gutachtens</b>		<b>2020</b>	<b>2024</b>
<b>Fernwärmeverbrauch</b>			
2030	TWh/a	146	138
2050 / 2045	TWh/a	171	166
<b>Anteil EE und unvermeidbare Abwärme</b>			
2030		45% <sup>3</sup>	50% <sup>4</sup>
2050 /2045		n.B.	100%
<b>Netto-Zubau EE und unvermeidbare Abwärme</b>			
2020 bis 2030	TWh/a	43	39
2030 bis 2050/2045	TWh/a	n.B.	111

Quelle: Eigene Annahmen

© Prognos AG 2024

Einen Abgleich der Prozentanteile erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen für das Jahr 2030 zeigt Tabelle 11. Gezeigt wird jeweils oben der Wert aus dem aktuellen Gutachten sowie unten der Wert aus dem Gutachten aus dem Jahr 2020. Aufgrund der vollständigen Berücksichtigung der Abwärme aus TAB ergeben sich hier die größten Steigerungen. Weiterhin wurde die Verfügbarkeit von Freiflächen-Solarthermie in Groß- und Mittelstädten deutlich schlechter eingeschätzt und diese daher ausschließlich in Kleinen Modellnetzen eingesetzt. Die Anteile für die tiefe Geothermie wurden an die Eckpunkte für eine Erdwärmekampagne Geothermie für die Wärmewende des BMWK aus dem Jahr 2022 angepasst. Sie liegen nun höher.

<sup>3</sup> Nur Anteil der Abwärme aus der thermischen Behandlung der erneuerbaren Abfallfraktion wird in den Zielwert einbezogen

<sup>4</sup> Die gesamte Abwärme aus der thermischen Abfallbehandlung wird in den Zielwert einbezogen

**Tabelle 11: Vergleich der Prozentanteile erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme in den zehn Modellnetzen im Jahr 2030**

Modellnetz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Typstadt	Klein	Klein	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Groß	Groß	Groß	Groß
Solar	25% 25%	5% 5%	5%	5%	5%		2%	2%	2%	
Biomasse		40% 40%			30% 30%	10% 10%	10% 10%	10% 15%	10% 10%	
Großwärme-Pumpen	20% 15%		45% 35%	15% 20%	5%	5% 10%	15% 15%	5% 5%	10% 10%	5%
Unvermeidbare Abwärme				25% 15%			20% 20%		10% 5%	
Tiefe Geothermie					10% 10%				10% 5%	45% 35%
TAB						35% 20%		35% 25%	15% 10%	
Elektrokessel	5% 10%		5%	5%	5%		2%	2% 2%		
Wasserstoff										
<b>Summe EE und Abwärme</b>	50% 50%	45% 45%	50% 40%	45% 40%	45% 50%	50% 40%	47% 47%	52% 49%	55% 42%	45% 40%

Quelle: Eigene Annahmen

© Prognos AG 2024

Hinweis: Die obere Werte stammen aus dem aktuellen Gutachten. Die unteren Werte aus dem Gutachten aus dem Jahr 2020

Bezogen auf den Wärmenetzausbau zeigt sich, dass dieser gemessen an den gesamten Trassenkilometern im aktualisierten Gutachten bis 2030 etwas geringer, bis 2045 allerdings höher ausfällt. Hintergrund ist hier im Wesentlichen ein Wechsel der Annahme zur Trassenlänge je angeschlossenen Gebäude. Im Gutachten aus 2020 wurde eine durchschnittliche Trassenlänge von 58 m angenommen, welche bis 2050 auf 50 m sinkt. In der Aktualisierung wurde allerdings der aktuelle Wert von 59 m verwendet und aufgrund gegenläufiger Phänomene beim Wärmenetzausbau als konstant angenommen. Dieser Wechsel führt dazu, dass bis 2045 der Bedarf des Wärmenetzausbaus bezogen auf die Trassenkilometer trotz eines geringeren Fernwärmeverbrauchs steigt.

In Tabelle 12 werden die Investitions- und Förderbedarfe aus beiden Gutachten gegenübergestellt. Die Investitionen in die Fernwärme haben sich deutlich erhöht. Insbesondere die Konkretisierung der Zielsetzung für jährlich 100 Tsd. neue Fernwärmeanschlüsse in der Erklärung zum Fernwärmegipfel 2023 haben den Bedarf zum Wärmenetzausbau und folglich der notwendigen Investitionen erhöht. Sie liege nun bei 25,3 Mrd. Euro statt 16,0 Mrd. Die Investitionen in neue Fernwärmeerzeugungsanlagen liegen mit 18,3 Mrd. Euro nur gut 8% über dem Wert aus dem Gutachten aus dem Jahr 2020. Parallel dazu haben die allgemeinen Kostensteigerungen der letzten Jahre zu einer Erhöhung der Investitionen geführt. Erwartbare Konsequenz des gestiegenen Investitionsbedarfs ist ein ebenfalls gestiegener Bedarf an Förderungen. Dieser steigt von 17,7 Mrd. Euro auf 23,5 Mrd. Euro bis zum Jahr 2030.

**Tabelle 12: Investitions- und Förderbedarf im Vergleich zum Gutachten aus dem Jahr 2020 in Mrd. Euro**

<b>Jahr des Gutachtens</b>	<b>2020</b>	<b>2024</b>
<b>Zeitraum 2020 bis 2030</b>		
Investitionen	33,0	43,5
davon Wärmeerzeugung	16,9	18,3
davon Wärmenetze	16,0	25,3
Förderung	17,7	23,5
davon Investitionszuschüsse	13,2	17,4
davon Schließung wirtschaftliche Lücke	4,6	6,1

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

## 6 Fazit

---

Das vorliegende Gutachten bestätigt das Potenzial der Fernwärme für den klimaneutralen Wärme- markt und zeigt auf, mit welchen Optionen Fernwärme zukünftig klimaneutral produziert werden kann. Die Berechnungen orientieren sich dabei an den Ergebnissen der Studien KNDE 2045 sowie für den Umfang der aus TAB-Anlagen genutzten Wärme an „Perspektiven der thermischen Abfall- behandlung – Roadmap 2040“.

Die mit dem WPG und dem Fernwärmegipfel 2023 festgelegten Zielsetzungen unterscheiden sich nur geringfügig vom Ambitionsniveau der Studie aus dem Jahr 2020 - der unterstellte Fernwärme- verbrauch und der daraus resultierende Bedarf erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Ab- wärme liegen leicht unterhalb des Niveaus der Studie aus dem Jahr 2020. Hier macht der Wechsel auf das aktuellere KNDE 2045 als Basis-Szenario deutlich, dass in den vergangenen Jahren weni- ger Investitionen getätigt werden konnten als erforderlich gewesen wäre. Die Fernwärme konnte nicht so stark ausgebaut und dekarbonisiert werden, wie nach dem Vorgängergutachten notwendig gewesen wäre.

Die Ergebnisse machen weiterhin sichtbar, dass sich die gestiegenen Baukosten auch bei den für die Fernwärme anstehenden Investitionen deutlich auswirken. Die notwendigen Investitionen sum- mieren sich bis zum Jahr 2030 auf rund 43,5 Mrd. Euro bzw. jährlich etwa 6,2 Mrd. Euro. Knapp 60 % der Investitionen entfallen auf den Ausbau bzw. die Erweiterung von Wärmenetzen. Die rest- lichen 40 % entfallen auf Investitionen in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Wärme und auf die Nutzbarmachung von unvermeidbarer Abwärme sowie deren Einbindung in die Wärmenetze.

Damit einher geht auch ein gesteigener Bedarf an Fördermitteln. Im Mittel sind bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus jährlich rund 3,5 Mrd. Euro Fördermittel in der BEW notwendig, um die notwen- digen Investitionen stemmen zu können. Dieser Wert liegt deutlich über den bislang zugesicherten Haushaltsmitteln. Hier besteht somit dringender Handlungsbedarf.

Die Diskussionen um die Mittelausstattung der BEW sorgen für Unsicherheit bei den Fernwärme- unternehmen und hemmen daher dringend erforderliche Investitionen in die Fernwärme. Mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 sowie die Zwischenziele in 2030 ist daher dringend geboten, die notwendigen Fördermittelausstattung zu sichern und frühzeitig eine Folge- lösung für die bis September 2028 begrenzte BEW zu schaffen. Idealerweise stammen die Fördermittel hier- für künftig nicht mehr aus dem Bundeshaushalt, sondern aus geeigneten Umlagen oder Abgaben auf Energie. Die Beispiele des KWKG und des EEG zeigen, dass diese Art der Finanzierung eine hohe Verlässlichkeit bietet und für Investitionssicherheit sorgt.

Neben der Finanzierung existieren weitere Hemmnisse für den Aus- und Umbau der Fernwärme. Diese wurden ausführlich im Gutachten aus dem Jahr 2020 diskutiert und haben größtenteils bis heute Gültigkeit. Größtes Gewicht haben aus heutiger Perspektive § 556c BGB und die darauf ba- sierende WärmeLV sowie die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie die Flächenbereitstellung.

## 7 Anhang 1 – Technologiedaten

### 7.1.1 Großwärmepumpen

In vielen Szenarien für die künftige Fernwärmeerzeugung spielen Wärmepumpen zur Nutzung verschiedener Niedertemperatur-Wärmequellen eine bedeutende Rolle. Großwärmepumpen sind besonders in skandinavischen Fernwärmesystemen schon seit vielen Jahren etabliert, mehr als 100 Aggregate mit jeweils mehr als 1 MW thermischer Leistung sind bereits in Betrieb (David, 2016). In Deutschland ist aktuell eine mittlere zweistellige Zahl an Anlagen mit einer Leistung von insgesamt unter 100 MW in Betrieb, weitere Anlagen mit insgesamt etwa 600 MW Leistung sind in Bau oder in Planung (Agora Energiewende, Fraunhofer IEG (2023)). Über Wärmepumpen können verschiedene Niedertemperatur-Wärmequellen genutzt werden, etwa Oberflächengewässer (Flüsse, Seen, Meer), Abwasser, Grundwasser, Umgebungsluft oder oberflächennahe und mitteltiefe Geothermie. Auch niederkalorische Abwärmeströme aus Industrie und Gewerbe kommen als Wärmequellen in Betracht. Die energetische Effizienz der Wärmepumpen hängt vom erforderlichen Temperaturhub (zur Nutztemperatur im Fernwärmenetz) ab, daher ist eine Absenkung der Temperaturen im Fernwärmesystem grundsätzlich für die Effizienz von Wärmepumpen vorteilhaft. Die technische Entwicklung im Bereich der Wärmepumpen schreitet fort, dies betrifft u. a. den Ersatz klimaschädlicher Kältemittel wie auch Technologien zur Erreichung höherer Systemtemperaturen.

Die Kosten sind in den folgenden Tabellen dargestellt und basieren auf dem Jahr 2022. Für den Ausbaupfad 2030 bis 2045 wird von einer Kostenminderung von 10 % und einer Steigerung der Effizienz (Jahresarbeitszahl) von 8 % ausgegangen. Aufgrund der flächendeckenden und ganzjährigen Verfügbarkeit bei geringen Temperaturschwankungen wird davon ausgegangen, dass insbesondere Abwasser als Wärmequelle eine große Rolle beim Roll-out von Großwärmepumpen spielen wird. Das Potenzial der Nutzung des Abwassers als Wärmequelle wird auf bis zu 34 TWh geschätzt (Agora Energiewende und Fraunhofer IEG, 2023). Da die Kosten der Abwasser Wärmepumpe zudem zwischen den Kosten der Wärmepumpen mit anderen Wärmequellen liegen, werden die Investitionsbedarfe in dieser Studie vereinfachend anhand der Kosten der Abwasser Wärmepumpe als Durchschnitt berechnet.

**Tabelle 13: Datenblatt Großwärmepumpen Abwasser (zentral nach Klärwerk)**

<b>Großwärmepumpen Abwasser</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1	10	50
Investitionskosten	EUR/kW	1.230	670	256
Betriebsjahre	A	20	20	20
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	30,8	16,8	6,4
Jahresarbeitszahl		3,0	3,0	3,0
typische VBH	h/a	3.000	3.000	3.000

Quelle: AGFW (2023a), Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023); ifeu, Prognos et al. (2024)

**Tabelle 14: Datenblatt Großwärmepumpen Oberflächenwasser (See, Fluss, Meer)**

<b>Großwärmepumpen Wasser</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1	10	50
Investitionskosten	EUR/kW	1.600	897	256
Betriebsjahre	A	20	20	20
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	40	22,4	6,4
Jahresarbeitszahl		2,7	2,7	2,7
typische VBH	h/a	3.000	3.000	3.000

Quelle: AGFW (2023a); Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023); ifeu, Prognos et al. (2024)

**Tabelle 15: Datenblatt Großwärmepumpen Niedertemperatur-Geothermie (800 bis 2.000 m)**

<b>Großwärmepumpen Geothermie</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1		10
Investitionskosten	EUR/kW	2600		2200
Betriebsjahre	A	25		25
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	65		55
Jahresarbeitszahl		4,0		4,0
typische VBH	h/a	3.000		3.000

Quelle: AGFW (2023a); Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023); ifeu, Prognos et al. (2024)

**Tabelle 16: Datenblatt Großwärmepumpen Umgebungsluft**

<b>Großwärmepumpen Luft</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1		10
Investitionskosten	EUR/kW	1.010		700
Betriebsjahre	A	20		20
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	25,3		18
Jahresarbeitszahl		2,8		2,8
typische VBH	h/a	3.000		3.000

Quelle: AGFW (2023a); Agora Energiewende und Fraunhofer IEG (2023); ifeu, Prognos et al. (2024)

### 7.1.2 Solarthermie

Zur Bereitstellung von Wärme für Raumheizung und Warmwasser bietet auch die Solarthermie als direkte Nutzung der Solarenergie eine interessante Option. In Deutschland wird der Markt der Solarthermie bisher weitgehend von kleinen Anlagen geprägt, die auf dezentralen Gebäudedächern montiert sind und nur wenige Quadratmeter Kollektorfläche umfassen. Die Wärmegestehungskosten bei solarthermischen Anlagen sind sehr stark abhängig von der Größe der Anlagen und der Art der Installation. Großflächige Anlagen, die auf Freiflächen installiert sind, erzielen unter anderem aufgrund der einfacheren Montageart drei- bis viermal niedrigere Wärmegestehungskosten als dezentrale Dachanlagen (Mauthner & Herkel 2016).

Bisher wurden in Deutschland dennoch vorrangig dezentrale Dach-Solarthermieanlagen ausgebaut. Im Jahr 2022 waren rund 50 Solarthermieanlagen auf Freiflächen in Betrieb und etwa 50 weitere in Bau oder Planung (BSW 2022). In Dänemark sind bereits zahlreiche derartige Anlagen mit thermischen Leistungen bis zu etwa 100 MW im Einsatz und können Wärme zu wettbewerbsfähigen Preisen gegenüber fossiler Wärmeerzeugung bereitstellen. Typische dänische Anlagen haben eine Kollektorfläche von etwa 10.000 m<sup>2</sup>, die bisher größte Anlage in Silkeborg weist mehr als 156.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche auf. Die bisher größte geplante Anlage in Deutschland soll in Leipzig entstehen mit einer Spitzenleistung von 41 MW und einer Kollektorfläche von 65.000 m<sup>2</sup> (Ritter Energie, 2024).

Aufgrund der Saisonalität und je nach Größe des Wärmenetzes können mit Tagesspeichern solare Deckungsraten von 15 % bis 20 % des Wärmebedarfs und mit Saisonspeichern von bis zu 40 % des Wärmebedarfs über Solarthermie abgedeckt werden (Gerhardt et al. 2019). Das technische Potenzial von Solarthermie beträgt rund 80 TWh (UBA 2021).

Die Kosten sind in den folgenden Tabellen dargestellt. Für den Ausbaupfad 2030 bis 2045 wird von einer Kostendegression von 4 % ausgegangen. Die Grundstückskosten sind in den Kosten nicht enthalten, da sie in Abhängigkeit des Ortes stark schwanken. Diese nehmen in Städten mit zunehmender Siedlungsdichte zu.

**Tabelle 17: Datenblatt Solarthermie (Flachkollektoren)**

<b>Solarthermie (Flachkollektoren)</b>	<b>Einheit</b>			
Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	500	10.000	100.000
Leistung	kW	350	7.000	70.000
Investitionskosten	EUR/ m <sup>2</sup>	389	318	295
Investitionskosten	EUR/kW	555	454	421
Betriebsjahre	A	25	25	25
Betriebskosten	EUR/kW/a	5,37	4,25	5
Ertrag je qm	kWh/ m <sup>2</sup> /a	400	400	400
typische VBH	h/a	571	571	571

Quelle: AGFW (2021a); ifeu, Prognos et al. (2024); VBH ergeben sich aus spezifischer Leistung und spezifischem Wärmeertrag je qm.



**Tabelle 18: Datenblatt Solarthermie (Vakuumröhrenkollektoren)**

<b>Solarthermie (Vakuumröhrenkollektoren)</b>	<b>Einheit</b>			
Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	500	10.000	100.000
Leistung	kW	350	7.000	70.000
Investitionskosten	EUR/ m <sup>2</sup>	566	424	365
Investitionskosten	EUR/kW	808	606	522
Betriebsjahre	A	25	25	25
Betriebskosten	EUR/kW/a	6,72	5,04	4,34
Ertrag je qm	kWh/ m <sup>2</sup> /a	500	500	500
typische VBH	h/a	714	714	714

Quelle: AGFW (2021a); ifeu, Prognos et al. (2024) ; VBH ergeben sich aus spezifischer Leistung und spezifischem Wärmeertrag je qm.

### 7.1.3 Biomasse

Biomasse<sup>5</sup> stellt eine in Deutschland weit verbreitete erneuerbare Wärmequelle dar. Bisher beruhen nahezu 90 % der erneuerbaren Wärmeerzeugung auf Biomasse. Auch im Bereich der Fernwärme ist Biomasse bisher mit Abstand der wichtigste Energieträger unter den erneuerbaren Energiequellen. Die besondere Eigenschaft ist bei der Biomasse die Speicherbarkeit des Brennstoffes und somit dessen Eignung, auch Wärme auf einem ausreichend hohen Temperaturniveau für die Spitzenlast zur Verfügung zu stellen. Weiterhin eignet sich Biomasse auch für die Bereitstellung hoher Nutzttemperaturen.

Der erforderliche Ausbau der erneuerbaren Wärme kann sich jedoch nicht weiter im Wesentlichen nur auf Biomasse stützen. Biomasse ist ein knappes und von vielen Seiten nachgefragtes Gut. Das regional verfügbare Biomassepotenzial ist eingeschränkt. Im nachfolgenden Datenblatt beschränkt sich die Betrachtung auf den Brennstoff Holzhackschnitzel. Andere biogene Energieträger wie etwa Stroh oder Biomethan werden hier kostenseitig nicht berücksichtigt.

Es wird davon ausgegangen, dass Biomasseanlagen zunehmend zur Deckung der Spitzenlast eingesetzt werden. Daher wird eine Minderung der Vollbenutzungsstunden von 2.500 h/a bis 2030 auf 1.000 h/a bis 2045 angenommen.

**Tabelle 19: Datenblatt feste Biomasse (Holzhackschnitzel)**

<b>Feste Biomasse</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1	10	50
Investitionskosten	EUR/kW	801	589	353

<sup>5</sup> Mit Biomasse sind hier unterschiedliche durch Pflanzen oder Tiere erzeugte beziehungsweise anfallende organische Rohstoffe gemeint. Als Energieträger werden beispielsweise Holzpellets, Holzhackschnitzel, Stroh, Getreidepflanzen, Biomethan oder Klärschwämme genutzt.

Betriebsjahre	A	25	25	25
Variable Betriebskosten (ohne Strom)	EUR/MWh	1,2	1,2	0,6
Fixe Betriebskosten	EUR/kW	37,9	37,9	23,6
Wirkungsgrad	%	90	90	90
typische VBH	h/a	2.500	2.500	2.500

Quelle: Grosse et al. (2017); DEA (2020); ifeu, Prognos et al. (2024)

#### 7.1.4 Unvermeidbare Abwärme

In vielen Industriebetrieben, insbesondere in der Chemieindustrie, Metallherzeugung und der Zementherstellung, fällt Abwärme auf hohem Temperaturniveau an, die für die Nutzung als Fernwärme geeignet ist. Das Gesamtpotenzial über 50 °C liegt bei rund 43 TWh, der Großteil davon fällt über 95 °C an (ifeu et al. 2017). Das verfügbare Potenzial von industrieller Abwärme ist stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig und unterscheidet sich stark in Temperaturniveau und Vollbenutzungsstunden.

Es gibt in Deutschland bereits einige realisierte Projekte, bei denen industrielle Abwärme in der Fernwärme genutzt wird. Das größte Projekt wurde in Hamburg realisiert, bei dem die Abwärme aus der Kupferherstellung von Aurubis mit rund 50 MW thermischer Leistung für die Fernwärme genutzt wird. Die Kosten von realisierten Projekten weisen eine relativ große Bandbreite auf und hängen von den Bedingungen des Industriebetriebes und der angrenzenden Abnehmerstruktur ab.

**Tabelle 20: Datenblatt industrielle Abwärme**

<b>Industrielle Abwärme</b>	<b>Einheit</b>			
Thermische Leistung	MW	1	10	50
Investitionskosten	EUR/kW	648	471	501
Betriebsjahre	A	20	20	20
Fixe Betriebskosten	EUR/MW/a	33	24	25
Jahresarbeitszahl*		9,5	9,5	9,5
typische VBH	h/a	3.000	3.000	3.000

Quelle: Dena (2018); Blömer et al. (2019)

#### 7.1.5 Tiefe Geothermie

Als tiefe Geothermie wird die Nutzung von Erdwärme ab einer Tiefe von über 400 m bezeichnet. Die Temperatur im Erdreich nimmt um etwa 3 °C je 100 m Bohrtiefe zu (mittlerer geothermischer Gradient). Damit lassen sich bei entsprechender Bohrtiefe Temperaturen erzielen, die eine direkte Nutzung der Erdwärme zu Heizzwecken ohne den Einsatz von Wärmepumpen ermöglichen. Thermalwassertemperaturen von 75 bis 100 °C sind ab etwa 2 km Tiefe zu erwarten. Die Wärmeenergie kann bei der tiefen Geothermie entweder durch die Förderung von im Untergrund vorhandenem

Tiefenwasser (hydrothermale Systeme) oder über künstlich erzeugte Wärmetauscher (petrothermale Systeme) entzogen werden. In der Praxis spielen petrothermale Systeme in Deutschland bisher keine Rolle.

Bei den hydrothermalen Systemen wird das Thermalwasser über eine Produktionsbohrung durch eine Tiefpumpe an die Oberfläche gefördert und dort über einen Wärmeübertrager ausgekühlt. Das abgekühlte Thermalwasser wird anschließend über die Injektionsbohrung wieder in den Untergrund zurückgeleitet. Die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der tiefen Geothermie hängt maßgeblich von der Beschaffenheit des Untergrundes und der zu versorgenden Wärmelast ab. Gute geologische Voraussetzungen für die Nutzung der tiefen hydrothermalen Geothermie liegen in Deutschland insbesondere im süddeutschen Molassebecken, dem Oberrheingraben und dem Norddeutschen Becken vor (Gerhardt et al. 2019). In einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes (Sandrock et al. 2020) wurden die technischen Angebots- und Bereitstellungspotenziale für eine Wärmeversorgung auf Basis der tiefen Geothermie in Deutschland analysiert. Je nach Randbedingungen und unter Berücksichtigung einer erforderlichen räumlichen Mindestwärmedichte auf der Abnahmeseite wurde in der im Jahr 2020 veröffentlichten Untersuchung ein technisches Bereitstellungspotenzial zwischen 45 und 118 TWh/a ermittelt.

Die Anlagenleistungen ausgeführter Geothermieanlagen in Deutschland liegen zwischen 1 und 38 MW<sub>th</sub>, im Mittel bei etwa 8-10 MW<sub>th</sub>. Für die Nutzung der tiefen Geothermie sind somit aufgrund der wirtschaftlich erforderlichen Mindestleistung in der Regel größere Wärmenetze zur Nutzung der Wärme nötig. Zudem besteht bei der Investition in tiefe Geothermie ein nicht unerhebliches Fündigkeitsrisiko. Damit stellt der hohe Bedarf an Risikokapital für die Bohrungen eine große Herausforderung dar.

Die Kosten sind in der folgenden Tabelle exemplarisch für eine 10 MW Anlage dargestellt. Die Kosten von realisierten Projekten streuen jedoch relativ stark und sind insbesondere abhängig vom Fündigkeitsrisiko, welche in Norddeutschland höher sind als im süddeutschen Molassebecken.

**Tabelle 21: Datenblatt tiefe Geothermie**

<b>Tiefe Geothermie</b>	<b>Einheit</b>	
Thermische Leistung	MW	10
Investitionskosten	EUR/kW	2.700
Betriebsjahre	A	25
Fixe Betriebskosten	EUR/kW	40
Jahresarbeitszahl*		30
typische VBH	h/a	5.000

Quelle: AGFW (2023b); ifeu, Prognos et al. (2024)

### 7.1.6 Thermische Abfallbehandlung

Die Abwärme aus der thermischen Behandlung von Abfällen fällt ganzjährig an und ist direkt für die Nutzung in Wärmenetzen geeignet. Das Potenzial der Wärmeerzeugung auf Abfall beträgt rund 25 TWh. Davon werden heute bereits etwa 21,5 TWh in der Fernwärme genutzt (BDEW 2023). Das

Abfallaufkommen zur energetischen Verwertung in den ca. 100 TAB-Anlagen beträgt aktuell rund 25 Mio. t, etwa die Hälfte davon ist erneuerbar. Die Entwicklung der Abfallmengen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Hier wird in Anlehnung an Prognos (2020b) davon ausgegangen, dass die für thermische Verwertung verfügbaren Abfallmengen konstant bleiben. Die Energie aus anderen Anlagentypen, die Abfälle energetisch verwerten, wie Industriekraftwerken, bleibt hier unberücksichtigt, da sie nicht der Fernwärmelieferung dient.

### 7.1.7 Elektrokessel

In Elektrokesseln bzw. Power-to-Heat-Anlagen wird Strom mit einem hohen Wirkungsgrad in Wärme umgewandelt. Für den Betrieb von Power-to-Heat-Anlagen kann in Stunden mit besonders hoher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die den Bedarf übersteigt, dieser erneuerbarer Überschussstrom genutzt werden, insbesondere aus Windenergieanlagen in den nördlichen Bundesländern. Kann der Strom nicht genutzt werden, müssen die erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen abgegelt werden und die erneuerbare Stromerzeugung geht verloren.

In der Fernwärmeerzeugung werden elektrische Widerstandskessel oder Elektrodenkessel eingesetzt. Typischerweise werden elektrische Widerstandskessel für kleine und mittlere Anwendungen bis zu 15 MW eingesetzt. Die Elektrodenkessel liegen im Bereich zwischen 10 und 150 MW.

Die Kosten sind in der folgenden Tabelle dargestellt und beinhalten auch die Kosten für den Trafo und die Einbindung. Zur Vereinfachung werden mit durchschnittlichen erwarteten Kosten für Elektrodenkesseln gerechnet. Da die Technologie gut etabliert ist, wurde keine Kostendegression unterstellt.

**Tabelle 22: Datenblatt Elektrodenkessel**

<b>Elektrodenkessel</b>	<b>Einheit</b>	
Thermische Leistung	MW	10
Investitionskosten	EUR/kW	250
Betriebsjahre	A	20
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	0,6
Nutzungsgrad		99 %
typische VBH	h/a	500

Quelle: EEB Enerko (2017); Experteneinschätzung

### 7.1.8 Wärmeverteilung und Speicher

Da die meisten erneuerbaren Wärmequellen lokal anfallen, ist für die Nutzung in der Fernwärme in vielen Fällen eine Anbindungsleitung notwendig. Die Kosten für die Anbindungsleitungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die transportierbare Leistung und somit die Nennleistung der Wärmeleitung ist abhängig von der Temperaturspreizung des Mediums. Außerdem ist das Verlegen von Leitungen im Stadtbereich aufgrund der notwendigen Tiefbauarbeiten deutlich teurer als das Verlegen im unbefestigten Gelände.

**Tabelle 23: Kosten der Anbindungsleitung**

<b>Anbindungsleitung</b>	<b>Einheit</b>	<b>1 MW</b>	<b>10 MW</b>	<b>50 MW</b>
<b>Temp. 110/70 °C (KMR)</b>		<b>DN 100</b>	<b>DN 250</b>	<b>DN 450</b>
Stadtbereich / befestigtes Gelände	EUR/m	1.428	2.448	3.573
Neubaugebiet / unbefestigtes Gelände	EUR/m	924	1.613	2.353
<b>Temp. 70/40 °C (PMR bei DN 125, sonst KMR)</b>		<b>DN 125</b>	<b>DN 300</b>	<b>DN 500</b>
Stadtbereich / befestigtes Gelände	EUR/m	1.326	2.565	3.858
Neubaugebiet / unbefestigtes Gelände	EUR/m	794	1.750	2.641

KMR = Kunststoffmantelrohr  
 PMR = polymeres Mediumrohr  
 Quelle: ifeu, Prognos et al. (2024); AGFW (2021b); eigene Berechnungen

Neben den Anbindungsleitungen findet bis 2030 auch ein Ausbau des Fernwärmenetzes an sich statt. Für die Netzerweiterung wurden pauschal die Kosten von 1.180 Euro/m angesetzt. Dies entspricht dem Mittelwert aus Stadtgebiet und Neubaugebiet für die Kategorie (Temp. 110/70) mit einer Anbindungsleistung von 1 MW:

Als Großwärmespeicher oder Saisonspeicher für Fernwärmenetze kommen verschiedene Typen zum Einsatz. Neben den typischen Tankspeichern können auch Erdbeckenspeicher eingesetzt werden, welche aus einem künstlich angelegten Teich bestehen, der abgedeckt wird. Außerdem können Aquifer, unterirdische wasserführende Gesteinsschichten, die mit Bohrungen erschlossen werden, als Wärmespeicher genutzt werden.

Die Kosten für verschiedene Speichertypen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Kosten für Aquifer und Erdbeckenspeicher enthalten Grundstückskosten im sub-urbanen Raum von 7,50 Euro/m<sup>2</sup>.

**Tabelle 24: Kosten von Wärmespeichern**

<b>Speichertyp</b>	<b>Einheit</b>	<b>Größe</b>	
Tankspeicher Druck	EUR/m <sup>3</sup>	1.000 m <sup>3</sup>	1.178
Tankspeicher drucklos	EUR/m <sup>3</sup>	10.000 m <sup>3</sup>	471
Saisonspeicher Erdbecken	EUR/m <sup>3</sup>	50.000 m <sup>3</sup>	73
Saisonspeicher Erdbecken	EUR/m <sup>3</sup>	100.000 m <sup>3</sup>	58
Saisonspeicher Aquifer (400 m)	EUR/m <sup>3</sup>	100.000 m <sup>3</sup>	32
Saisonspeicher Aquifer (700 m)	EUR/m <sup>3</sup>	100.000 m <sup>3</sup>	47

Quelle: Grosse et al. (2017); Mauthner & Herkel (2016)

In die Berechnung des Investitionsbedarfs bis 2030 sind lediglich Tagesspeicher und keine Saisonspeicher einbezogen.

### 7.1.9 Blockheizkraftwerk Wasserstoff

Die Nutzung von Wasserstoff könnte ab 2030 vor allem in Blockheizkraftwerken erfolgen. Wie hoch die Kosten für Wasserstoff BHKWs sein werden, ist aktuell noch unsicher. Hier wird davon ausgegangen, dass Wasserstoff-BHKWs etwa 10 % höhere (Investitions- und fixe sowie variable Betriebs-) Kosten aufweisen werden als konventionelle, mit Erdgas betriebene KWKs, abgesehen von den Brennstoffkosten. Aktuelle Kosten von konventionellen Erdgas BHKWs (BHKW Consult, 2023) wurden daher mit einem Aufschlag von 10% versehen (siehe Tabelle 22).

**Tabelle 25: Datenblatt Blockheizkraftwerk Wasserstoff**

<b>Blockheizkraftwerk H<sub>2</sub></b>	<b>Einheit</b>		
Elektrische Leistung	MW	1	10
Thermische Leistung	MW	1,06	9,15
Investitionskosten	EUR/kW	1.449	1.152
Betriebsjahre	A	15	15
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	23	9,6
Variable Betriebskosten	EUR/MWh/a	13,3	8,2
Wirkungsgrad thermisch		48%	47%
Wirkungsgrad elektrisch		42%	43%
typische VBH (2030-45)	h/a	1500	1500

Quelle: BHKW-Consult (2023)

### 7.1.10 Objektversorgung

Als Referenz werden Kosten für die dezentrale Objektversorgung durch Luft-Wasser-Wärmepumpen und Gaskessel verwendet, die im folgenden Datenblatt dargestellt werden. In den Kosten sind geringinvestive Maßnahmen (bspw. hydraulischer Abgleich, Austausch einzelner Heizkörper) enthalten.

**Tabelle 26: Objektversorgung**

<b>Objektversorgung</b>	<b>Einheit</b>	<b>Gaskessel</b>	<b>WP-Luft</b>
Thermische Leistung	kW	50	50
Investitionskosten	EUR/kW	329	1.861
Betriebsjahre	A	25	25
Fixe Betriebskosten	EUR/kW/a	5	16
Nutzungsgrad/Jahresarbeitszahl		99%	3
typische VBH	h/a	1.800	1.800

Quelle: ifeu, Prognos et al. (2024)

## 8 Anhang 2 – ausgewählte Ergebnistabellen

Tabelle 27 zeigt die Fernwärmerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 differenziert nach Energieträgern. Sie bildet die Datengrundlage für Abbildung 7

**Tabelle 27: Menge der Fernwärmerzeugung aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in TWh**

	2020	2030	2045
Solarthermie	0	2	4
Bioenergie	14	14	11
Großwärmepumpe	0	17	69
nicht vermeidbare Abwärme	3	11	24
Tiefe Geothermie	1	10	18
TAB	21	21	21
Elektrokessel	0	3	9
Wasserstoff	0	0	33
Fossile Energieträger	85	79	0
<b>Summe</b>	<b>124</b>	<b>157</b>	<b>189</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Tabelle 28 zeigt die thermische Leistung zur Fernwärmerzeugung in den Jahren 2020, 2030 und 2045 differenziert nach Energieträgern. Sie ist die Datengrundlage für Abbildung 8.

**Tabelle 28: Installierte thermische Leistungen zur Fernwärmerzeugung aus Abwärme und erneuerbaren Energien in den Jahren 2020, 2030 und 2045 in GW**

	2020	2030	2045
Solarthermie	0	3	7
Bioenergie	5	6	11
Großwärmepumpe	0	6	23
nicht vermeidbare Abwärme	1	4	8
Tiefe Geothermie	0	2	4
TAB	7	7	7
Elektrokessel	0	6	19
Wasserstoff	0	0	22
Fossile Energieträger	34	31	0
<b>Summe</b>	<b>47</b>	<b>64</b>	<b>100</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

Tabelle 29 stellt einige Kenndaten sowie die notwendigen Investitionen für alle 10 Typ-Netze bis zum Jahr 2030 dar. Tabelle 30 zeigt die Daten für das Jahr 2045.

Die Werte werden am Beispiel von Typ-Netz 7 für das Jahr 2030 erläutert (Tabelle 29). Dieses Netz liegt in einer Großstadt und hat im Jahr 2030 eine Länge von 347 km. Der Fernwärmeabsatz liegt bei 1.496 TWh/a wovon 45 % bzw. 673 TWh aus industrieller Abwärme und erneuerbaren Energien gedeckt werden (vgl. Tabelle 7). Bis zum Jahr 2030 liegen die Investitionen in neue EE-Wärmeanlagen bei 300 Mio. Euro. Für die Einbindung der neuen EE-Wärme-Anlagen in die Wärmenetze werden weitere 5 Mio. Euro benötigt. Für Wärmespeicher werden 18 Mio. Euro benötigt. Ein weiterer großer Investitionsblock liegt mit 162 Mio. Euro beim Wärmeverteilnetz.

**Tabelle 29: Kenndaten und Investitionen der Typ-Netze für das Jahr 2030 im Überblick**

Modellnetz		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Typstadt		Klein	Kein	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Groß	Groß	Groß	Groß
Anzahl in DE		335	335	115	115	50	30	20	30	19	10
<b>Kenndaten Fernwärme je Netz im Jahr 2030</b>											
EE-Wärme	GWh/a	8	8	44	39	39	44	703	778	823	673
Foss. Wärme	GWh/a	8	9	44	48	48	44	793	718	673	823
Netzlänge	km	9	9	34	34	34	34	347	347	347	347
<b>Investitionen je Netz in Mio. Euro bis zum Jahr 2030</b>											
EE-Anlagen		5	2	11	12	10	2	80	41	129	300



<b>Modellnetz</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Wärme- speicher	0	0	1	1	1	1	18	18	18	18
Einbindung	2	0	2	4	2	1	21	2	20	5
<b>Wärmenetz</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>162</b>	<b>162</b>	<b>188</b>	<b>162</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

**Tabelle 30: Kenndaten und Investitionen der Typ-Netze für das Jahr 2045 im Überblick**

<b>Modellnetz</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Typstadt		Klein	Kein	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Groß	Groß	Groß	Groß
Anzahl in DE		558	558	208	208	50	30	20	30	21	10
<b>Kenndaten Fernwärme je Netz im Jahr 2045</b>											
EE-Wärme	GWh/a	20	20	92	92	92	92	1.496	1.496	1.496	1.496
Foss. Wärme	GWh/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Netzlänge	km	13	13	47	47	47	47	445	445	445	445
<b>Investitionen je Netz in Mio. Euro im Zeitraum 2030 bis 2045</b>											
EE-Anlagen		8	9	28	19	33	15	87	64	220	189
Wärme- speicher		0	0	1	1	1	1	18	18	18	18
Einbindung		2	1	3	6	2	5	23	5	10	9
<b>Wärmenetz</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>115</b>	<b>115</b>	<b>154</b>	<b>115</b>

Quelle: Eigene Berechnungen

© Prognos AG 2024

## Literatur

---

Ache, P., & Waltersbacher, M. (2020). Datenbestand und Datenbedarf von Wohnbauland in Deutschland.

AG Energiebilanzen e.V. (2020). Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2018.

AGFW (2018a). 40/40 Strategie. Unser Konzept für die Wärmewende.

AGFW (2021a). Praxisleitfaden Solarthermie. 1. Auflage 2021.

AGFW (2021b). Praxishilfe Fernwärmeleitungsbau – Verlegesysteme und Kosten.

AGFW (2022). AGFW Hauptbericht 2022. <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>. letzter Abruf am 25.06.2024

AGFW (2023a). Praxisleitfaden Großwärmepumpen. 2. Auflage 2023.

AGFW (2023b). Praxisleitfaden Geothermie. 1. Auflage 2023.

Agora Energiewende (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045. Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.

Agora Energiewende, Fraunhofer IEG (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie. [https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11\\_DE\\_Large\\_Scale\\_Heatpumps/A-EW\\_293\\_Rollout\\_Grosswaermepumpen\\_WEB.pdf](https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_DE_Large_Scale_Heatpumps/A-EW_293_Rollout_Grosswaermepumpen_WEB.pdf).

BDEW (2023). Wie heizt Deutschland 2023? BDEW-Studie zum Heizungsmarkt. <https://www.bdew.de/media/documents/231221-BDEW-WHD2023.pdf>. Letzter Abruf am 11.03.2024.

BGBl (2023). Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. [https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/waermeplanung/wpg-bgbl.pdf;jsessionid=579109DB4C310F21A30C92E815D43708.live891?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/waermeplanung/wpg-bgbl.pdf;jsessionid=579109DB4C310F21A30C92E815D43708.live891?__blob=publicationFile&v=2). letzter Abruf am 11.03.2024.

BHKW-Consult (2023). BHKW-Kenndatenbank, Stand 2023.

Blömer et al. (2019). EnEff : Wärme - netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). Kombinierte räumlich-zeitliche Modellierung von Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Deutschland. [https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Schlussbericht\\_EnEffWärme-NENIA.pdf](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Schlussbericht_EnEffWärme-NENIA.pdf).

David, A. (2016). Large Heat Pumps in District Heating Systems. En+Eff 22nd International Trade Fair and Congress Frankfurt. Siemens Power Engineering, 6(5), 260–264.

EEB Enerko (2017). Potenziale der Sektorkopplung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in Sachsen-Anhalt. Endbericht. [https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht\\_PtH\\_web.pdf](https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht_PtH_web.pdf).

Gerhardt et al. (2019). Entwicklung der Gebäudewärme und Rückkopplung mit dem Energiesystem -95 % THG- Klimaszenarien Teilbericht im Rahmen des Projektes : Sektorkopplung mit dem Fokus Fernwärme mit hohen Anteilen konventioneller KWK-Erzeugung und Rückkopplung.

Grosse et al. (2017). Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU. In Publications Office of the European Union (Vol. EUR28859, Issue EUR28859). <https://doi.org/10.2760/24422>

ifeu et al. (2017). Wärmenetzsysteme 4.0 Endbericht – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmernetzen“ <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf>. Letzter Abruf am 15.06.2024

ifeu; Prognos, et al. (2024): Leitfaden und Technikkatalog Wärmeplanung, Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche, Stand März 2024 [nicht veröffentlicht].

Mauthner, F., & Herkel, S. (2016). Solar Thermal Applications in Urban Environments.

Prognos, TU Dortmund (2020). Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040

Sandrock et al. (2020). Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefe-  
o-thermischer Ressourcen. [https://www.environment.gov.za/sites/default/files/reports/environmentoutlook\\_chapter11.pdf](https://www.environment.gov.za/sites/default/files/reports/environmentoutlook_chapter11.pdf).

UBA (2021). Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung.